

Aurinkoenergian varastointiratkaisun kehittäminen

Markus Asikainen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), paperikoneteknologian tutkinto-ohjelma

Kunnossapito

Tekijä(t) Asikainen, Markus	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 61	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Aurinkoenergian varastointiratkaisun kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma paperikoneteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen Marjukka, Konttinen Jukka		
Toimeksiantaja(t) Tikkanostot Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Elementtiasennus- ja nostoalan yrityksen Tikkanostot Oy:n perustaja Markku Mertsalmi on jo vuodesta 2006 kehittänyt maalämpöakkuja ja siihen liittyvää lämmitysjärjestelmää. Uuden lämmitysjärjestelmän tarkoituksena on toteuttaa yrityksen huoltohallin lämmitysenergiatehokkaasti. Kesällä aurinkoenergiaa ladataan maalämpöakkuun ja talvella varastoitunutta lämpöenergiaa käytetään hyväksi huoltohallin lämmityksessä. Usean vuoden kehityksen jälkeen Tikkanostot Oy:n huoltohallin lämmitys toteutetaan maalämpöakulla, maalämpöpumpulla ja aurinkokeräimillä.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ja luoda selkeä kuvaus lämmitysjärjestelmästä ja selvittää lämmitysjärjestelmän tehokkuus ja kustannukset. Opinnäytetyössä kuului lisäksi vertailla tutkittava lämmitysjärjestelmä muihin maalämpöratkaisuihin ja pohtia mahdollisia kehitysideoita. Opinnäytetyössä luotiin kaksi lämmitysprosessin toimintaa kuvaavaa kuviota sekä PI-kaavio. Mittauksien perusteella laskettiin lämmitysjärjestelmän lämmöntuotannot ja maalämpöpumpun hyötysuhde.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, että huoltohallin lämmityskustannukset ovat alhaiset, ja että maalämpöpumppu järjestelmässä toimii paremmalla hyötysuhteella kuin muut vertailussa olleet maalämpöpumput. Lämmitysjärjestelmän kohtuullisen korkean alkuinvestoinnin johdosta takaisinmaksuaika on pisin vertailukohteista. Opinnäytetyön perusteella kuitenkin todettiin, että aurinkoenergian varastoiminen maalämpöakkuun on kannattavaa niin taloudellisesti kuin myös ympäristön näkökulmasta varsinkin, jos verrataan tavallisimpiin lämmitysmuotoihin, esimerkiksi suoraan sähkölämmitykseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Aurinkoenergia, maalämpö, lämpöenergian varastointi,		
Muut tiedot		

Author(s) Asikainen Markus	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 61	Permission for web publication: x
Title of publication Developing a solar energy storage solution		
Degree programme Degree Programme in Paper Machine Technology		
Supervisor(s) Nuutinen, Marjukka; Konttinen, Jukka		
Assigned by Tikkanostot Oy		
Abstract <p>Markku Mertsalmi the founder of prefab installation and crane company Tikkanostot Oy has been developing a geothermal heat storage and a relating heat system since 2006. The purpose of the new heating system is to heat up the maintenance building more energy efficiently. In the summer solar energy is charged into the geothermal heat storage and during the winter, the stored heat energy is used for heating the maintenance building. After several years of development the maintenance building is heated with geothermal heat storage, ground-source heat pump and solar collectors.</p> <p>The purpose of the thesis was to develop and create a clear description of the heating system and to determine the efficiency and costs of the system. The thesis included a comparison between the heating system of Tikkanostot Oy and other geothermal heat solutions. In addition possible development ideas were considered. The thesis also included two block diagrams of the heating process and a PI diagram. Based on the theory and the measurements the heat production of the system and the efficiency of the ground source heat pump were calculated.</p> <p>As a result of the thesis, it was found that the heating costs of the maintenance building are low and that the efficiency of the geothermal heat pump in the system is better than the other ground source heat pumps in the comparison. Due to the high initial investment of the heating system, the repayment time is the longest from the reference points. However, based on the thesis it was found that storing solar energy in a geothermal heat storage is profitable from both the economic point of view and the environmental point of view. Especially if compared to more conventional heating methods for example direct heating.</p>		
Keywords/tags (subjects) Solar energy, geothermal energy, heat storage		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	5
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	6
1.3	Tutkimusasetelma	6
2	Lämpöpumput.....	8
2.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate.....	8
2.2	Lämpökerroin	9
2.3	Lämpöpumpun kylmäaineet	12
2.4	Lämpöpumpputyypit.....	12
2.4.1	Ilmalämpöpumppu	12
2.4.2	Maalämpöpumppu	14
3	Maalämpö	15
3.1	Maalämpö Suomessa	15
3.2	Maalämpöjärjestelmän asennus.....	16
3.3	Maalämmön keruujärjestelmät.....	17
3.3.1	Vaakaputkisto pintamaassa.....	17
3.3.2	Lämpökaivo.....	18
3.3.3	Lämmönkeruupiiri vesistössä	19
4	Aurinkoenergia.....	20
4.1	Aurinkoenergia Suomessa.....	21
4.2	Auringon säteily.....	22
4.3	Aurinkolämpöjärjestelmät	24
4.3.1	Nestekeräimet	25
4.3.2	Ilmakeräimet.....	28
4.3.3	Suurkeräimet	29
5	Lämpöenergian varastointi	29
5.1	Varastoinnin nykytila.....	29

	2
5.2 Lämpöenergian varastointiratkaisut	30
5.2.1 Tuntuvan lämmön varastointi	31
5.2.2 Latenttilämpöön perustuva lämmön varastointi	33
5.2.3 Termokemiallinen lämmön varastointi	33
5.3 Helenin pilottiprojekti Sakarinmäen koulukeskuksessa.....	34
6 Huoltohallin lämmitysjärjestelmä	35
6.1 Lämmitysjärjestelmän kehitys.....	36
6.2 Uusiutuvan energian lämmitysratkaisu.....	36
6.3 Maalämpöakku	39
6.4 Maalämpöpumppu.....	40
6.5 Aurinkokeräimet.....	42
6.5.1 Tyhjiöputkikeräimet.....	42
6.5.2 Vesiputkikeräimet.....	44
6.6 Kustannuslaskelmat.....	45
7 Tulosten tarkastelu.....	47
7.1 Maalämpöjärjestelmien vertailu	47
7.2 Kehitysidea	49
8 Johtopäätökset ja pohdinta	51
8.1 Luotettavuus.....	52
8.2 Työn suoritus	53
Lähteet.....	55
Liitteet	58
Liite 1. Mittaukset talvi 2016-2017	58
Liite 2. Mittaukset kesä 2015 ja 2017	59
Liite 3. Maalämpöjärjestelmän kustannusarvio	60
Liite 4. Maalämpöjärjestelmän PI-kaavio.....	61

Kuviot

Kuvio 1. Lämpöpumpun toimintaperiaate	9
Kuvio 2. Keruu- ja luovutuslämpötilat.....	10
Kuvio 3. Ilmalämpöpumppu lämmitysratkaisuna	13
Kuvio 4. Vasemmalla ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo ja oikealla maanpinnan lämpötilan vuotuinen keskiarvo vertailukaudelta 1971–2000	16
Kuvio 5. Vaakaputkisto	18
Kuvio 6. Lämpökaivo	19
Kuvio 7. Vesistöön asennettava keruupiiri.....	20
Kuvio 8. Aurinkokeräimen suuntaus	23
Kuvio 9. Aurinkojärjestelmän laitteisto.....	25
Kuvio 10. Tasokeräimen rakenne	26
Kuvio 11. Tyhjiöputkikeräimen lasiputken poikkileikkaus	27
Kuvio 12. Heat pipe eli lämpöputki	28
Kuvio 13. Termokemialinen lämpövarasto, ammoniakkiin perustuva	34
Kuvio 14. Maalämpöakun lataus	37
Kuvio 15. Lämmitysjakso	38
Kuvio 16. Kuva maalämpöakusta ylhäältäpäin	39

Taulukot

Taulukko 1. Maalämpöpumpun SPF-lukuja	11
Taulukko 2. Vuosittainen aurinkoenergian saantimahdollisuus vaakatasossa Suomessa ja eri puolella maailmaa	21
Taulukko 3. Säteilyenergiat paikkakunnittain	23
Taulukko 5. Suuntauksen korjauskertoimet paikkakunnalle Jyväskylä	24
Taulukko 6. Kivi- ja maalajien lämpöominaisuuksia.....	32
Taulukko 7. Maalämpöakun vastaanottama lämpömäärä	40
Taulukko 8. Auringon säteilyenergia vaakapinnalle Jyväskylässä.....	43
Taulukko 9. Lämmöntuotanto lämmitysjaksojen mukaan.....	43

Taulukko 10. Auringon säteilyn määrä peltikaton pintaan latauskaudella.....	44
Taulukko 11. Vesiputkikeräinten lämmöntuotanto	45
Taulukko 12. Lämmitysjärjestelmän alkuinvestointi.....	45
Taulukko 13. Lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika verrattuna suoraan sähkölämmitykseen.....	46
Taulukko 14. Maalämpöakun lämpöhäviöt	51

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Suomessa uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta on kasvanut odotettua nopeammin ja vuoden 2020 vähimmäistavoite, 38 prosenttia, ylittyi jo vuonna 2014. Kehityksen oletetaan jatkavan kasvua ja vuonna 2020 uusiutuvan energian osuuden arvioidaan olevan 42 prosenttia. Lämpöpumppujen osuus uusiutuvista energianlähteistä oli 3,1 prosenttia vuonna 2015. Lämpöpumppujen suosio on ollut tasaisesti kasvussa. Tämä on havaittavissa työ- ja elinkeinoministeriön vuoden 2020 arviossa, jossa arvioidaan lämpöpumppujen primäärienergian nousevan 8 TWh:iin, kun vuonna 2005 se oli 2 TWh. (Huttunen 2017, 118.) Maalämpöpumppuja on käytetty Suomessa 1970-luvun puolivälistä lähtien. Niiden käyttö ja suosio alkoi kasvamaan merkittävästi 1990-luvun loppupuolella. Maalämpöpumppujen myynnin kasvu on ollut keskimäärin 20–30 prosenttia vuodessa. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 11.) Maalämpöpumppuja oli vuoden 2016 lopussa asennettu Suomeen yli 110 000 kappaletta (Sulpu tilastot 2016).

Elementtiasennus- ja nostoalan yrityksen Tikkanostot Oy:n perustaja Markku Mertsalmi on jo vuodesta 2006 kehittänyt maalämpöakkuja ja siihen liittyvää lämmitysjärjestelmää. Uuden lämmitysjärjestelmän tarkoituksena on toteuttaa yrityksen huoltohallin lämmitys energiatehokkaasti. Usean vuoden kehityksen jälkeen Tikkanostot Oy:n tontille on rakennettu maalämpöakku ja hallin katolle aurinkokeräimiä. Tällä hetkellä lämmitysjärjestelmällä lämmitetään Tikkanostot Oy:n huoltohalli.

Olen itse ollut mukana kehittämässä maalämpöakkuja usean vuoden, mikä toimi motiivina saada järjestelmästä vielä parempi ja tehokkaampi kokonaisuus. Mielenkiintoista nähdä, mitkä ovat järjestelmän mahdollisuudet ja potentiaali tulevaisuudessa. Tämä opinnäytetyö on tärkeä askel idean kehitykselle, koska sen avulla saadaan tutkittua järjestelmän kannattavuutta ja toimivuutta tulevaisuuden energia- ja lämmitysmarkkinoilla.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Tikkanostot Oy ja sieltä ohjaajana toimi toinen omistajista ja idean kehittäjä Markku Mertsalmi. Tikkanostot Oy on 1990-luvulla perustettu elementtiasennus- ja nostoalan yritys. Tikkanostot Oy on vuosien verralla osallistunut moneen merkittävään projektiin, kuten Keljon voimalaitoksen, Pönttövuoren tunnelin ja usean eri kauppakeskuksen rakentamiseen. (Mertsalmi 2017.) Tikkanostot Oy saa opinnäytetyön tuloksena hyödyllistä tutkimustietoa tulevaisuuden mahdollisuuksia varten, muun muassa kannattavuuteen ja kustannuksiin liittyen. Raportti esittelee uuden ratkaisun energian varastointiin maahan sekä sen tehokkaan hyödyntämisen kesä- ja talvikausina. Lisäksi tämä uusi ratkaisu tuo lisää tutkimustietoa energian varastoinnin hyödyistä ja käyttömahdollisuuksista erityisesti Suomessa.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selkeä ja teoriapohjaan perustava kuvaus huollotahollin lämmitysjärjestelmästä. Opinnäytetyöhön tuli sisällyttää mahdolliset kehitys-ideat tulevaisuutta varten. Tavoitteena oli myös selvittää järjestelmän kustannukset ja kannattavuus sekä vertailla niitä olemassa oleviin ratkaisuihin. Opinnäytetyössä pyrittiin löytämään kehitysideoita lämmön varastointiin sekä lämpöpumpun kustannustehokkuuteen.

Opinnäytetyö rajattiin siten, että vertailu tehtiin ainoastaan muihin maalämpöratkaisuihin. Opinnäytetyö ei ota kantaa lämpötilan aiheuttamiin muutoksiin, jotka tapahtuvat maalämpöakun ympärillä olevassa maaperässä. Opinnäytetyön lähtöoletuksena oli, että järjestelmä on alkuinvestoinniltaan kalliimpi, mutta hyötysuhteeltaan toimii energiatehokkaammin, ja sen vuoksi säästää energiaa ja ympäristöä.

1.3 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyö on selkeästi kehittämistutkimus, joka on tutkimusotteeltaan kvalitatiivinen. Kanasen mukaan kehittämistutkimus on joukko eri tutkimusmenetelmiä, minkä takia kehittämistutkimusta ei pidetä omana erillisenä tutkimusmenetelmänä.

Tutkimusmenetelmät valitaan kehittämistutkimukseen tutkimusongelman, tilanteen ja kehittämiskohteen mukaisesti. Kehittämistutkimuksessa voidaan tarpeen mukaan yhdistää kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät. (Kananen 2015, 33.)

Opinnäytetyössä tutkimusote on kvalitatiivinen eli laadullinen ja sen tavoitteena on pyrkiä ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä. Kananen kuvailee, että laadullisen tutkimuksen tarkoituksena on esittää ratkaisu tai kuvaus ilmiöstä eikä ratkaista ongelmaa käytännössä. Ymmärrys ilmiöstä pyritään saavuttamaan aineiston avulla, joka kerätään havainnoinnin ja haastattelujen perusteella. (Kananen 2015, 34.)

Tiedonhankinnassa käytettiin monipuolisesti erilaisia lähteitä, joiden avulla muodostettiin opinnäytetyön teoriapohja. Lähteinä käytettiin muun muassa ammattikirjallisuutta ja sekä tieteellisiä artikkeleita, niin kotimaisia kuin ulkomaisiakin. Kirjallisten lähteiden lisäksi tietoa hankittiin havainnoimalla sekä haastatteleamalla toimeksiantajaa ja maalämpöjärjestelmien laitetoimittajia. Laitetoimittajien tietojen perusteella suoritettiin vertailu muihin maalämpöratkaisuihin. Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään lämpöpumppuja, maalämpöä, maalämmön keruujärjestelmiä, aurinkoenergiaa, aurinkokeräimiä ja lämpöenergian varastointia.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin aiemmin tehtyjä energiamittauksia. Mittauskausien aikana mitattiin kokonaisenergiämäärää, hetkellistä lämmitystehoa, meno- ja paluuvien lämpötiloja sekä tilavuusvirtaa. Kesällä 2014 ja 2015 suoritettiin mittaukset, joissa maalämpöakkuja ladattiin auringosta saatavalla lämmöllä. Seuraavat mittaukset aloitettiin marraskuussa 2016 samaan aikaan, kun maalämmöllä alettiin lämmitellä huoltohallia. Mittaustiedot tallennettiin Excel-ohjelmistoon, jonka avulla ne käsiteltiin. Tulosten perusteella laskettiin maalämpöpumpun hyötysuhde ja käyttökustannukset ja vertailtiin tuloksia muihin maalämpöjärjestelmiin. Järjestelmän kustannusarvio suoritettiin Markku Mertsalmen haastattelun perusteella. Järjestelmän toiminnan kuvauksessa käytettiin apuna PI-kaaviota ja Block Diagrammia.

2 Lämpöpumput

Lämpöpumppujen toiminta perustuu termodynaamiseen kiertoprosessiin, jonka esitteli ranskalainen fyysikko Sadi Carnot'n vuonna 1824. Vain muutama vuosi Sadi Carnot'n julkaisun jälkeen englantilainen fyysikko William Thomson esitteli ensimmäisen lämpöpumpun toimintaperiaatteen, joka perustui termodynaamiseen kiertoprosessiin. Rakennuksiin ensimmäiset lämpöpumput asennettiin vasta 1920-luvulla. Ensimmäisenä lämpöpumput otettiin laajemmin käyttöön Sveitsissä toisen maailmansodan aikana. Lämpöpumppujen suosio kiihtyi uudelleen 1979-1980 öljykriisin aikana. (Perälä & Perälä 2013, 27.)

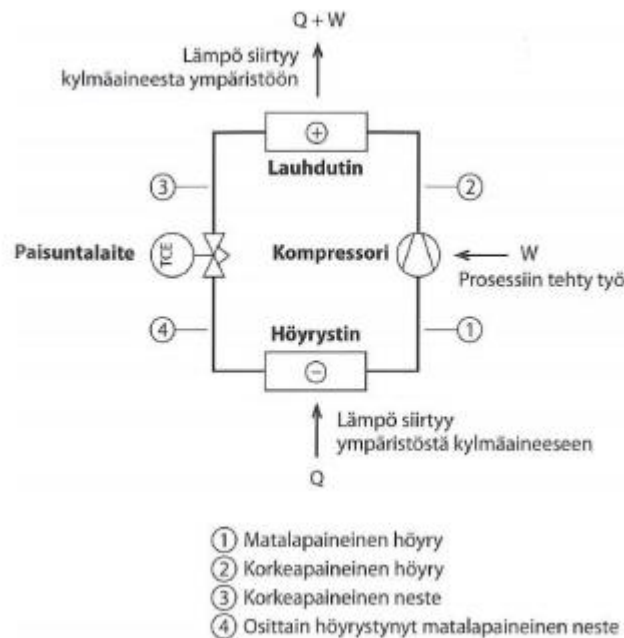
Viime vuosikymmenten aikana lämpöpumppujen suosio on kasvanut merkittävästi. Syy kasvuun on lämpöpumppujen energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys. Öljyn ja muiden energiamuotojen voimakas hinnannousu on myös lisännyt lämpöpumppujen kysynnän kasvua. (Hyysalo, Juntunen, Mattinen & Nissinen 2014, 61.) Lämpöpumpulla kerätään energiaa tehokkaasti rakennuksen ulkopuolelta maasta, vedestä, ulkoilmasta tai rakennuksen poistoilmasta (Perälä & Perälä 2013, 15). Lämpöpumpun tehokkuuden kannalta on merkittävää, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämmitysenergiaa suhteessa sen sähköenergian kulutukseen. Toisaalta myös se, miten sähkö on tuotettu, vaikuttaa kokonaisuuteen päästöjen näkökulmasta. (Hyysalo ym. 2014, 61.)

2.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin kylmälaitteiden. Se siirtää lämpöä kylmemmästä paikasta lämpimämpään. Jääkaapissa kompressorikoneisto pitää jääkaapin kylmänä poistamalla sisällä olevaa lämpöä jääkaapin ulkopuolelle ja pitää näin elintarvikkeet kylmänä. Lämpöpumppu toimii samalla tavalla mutta vastakkaiseen suuntaan. (Lämpöpumput 2017.)

Lämpöpumppu koostuu höyrystimestä, kompressorista, lauhtuttimesta, paisunta-venttiilistä ja putkistosta, jossa virtaa kylmäaine (ks. kuvio 1). Kierron alkuvaiheessa

kylmäaineen paine ja lämpötila ovat alhaisessa paineessa ja lämpötilassa höyrystimessä. Kylmäaine höyrystyy ulkopuolelta saadun lämpöenergian avulla. Tämän jälkeen höyrystynyt kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen kompressorin avulla. Paineen noustessa kylmäaineen lämpötila nousee lähes 100 °C. Seuraavaksi kuumentettu kylmäaine ohjataan lauhduttimeen. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöenergian lämmitettävään kohteeseen. Luovuttaessaan lämpönsä kylmäaine lauhuu takaisin nesteeksi. Paisuntaventtiilin kautta nestemäinen kylmäaine purkaantuu takaisin höyrystimeen. Samalla kylmäaineen paine alenee ja lämpötila laskee. Tämän jälkeen kierto alkaa alusta. (Perälä & Perälä 2013, 28–29.)



Kuvio 1. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Hirvelä, Jokela, Kaappola & Kianta 2011, 17.)

2.2 Lämpökerroin

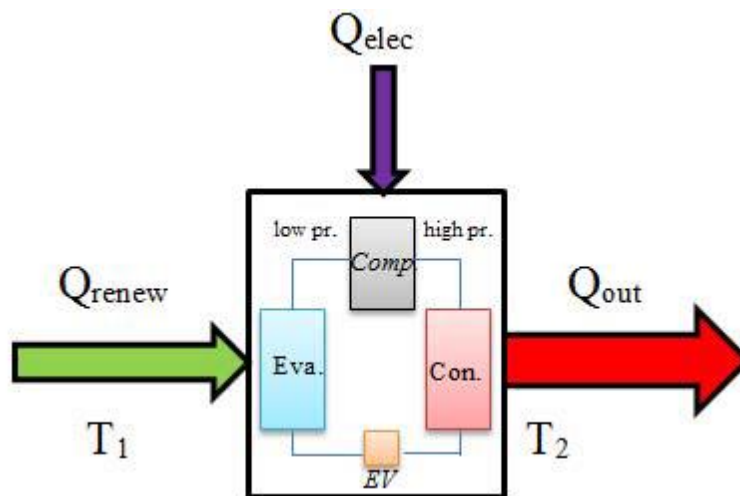
Lämpöpumpun tuomat lämmitysenergian säästöt perustuvat siihen, että se tuottaa enemmän energiaa kuin mitä se kuluttaa. Lämpökerroin kuvaa lämpöpumpun toiminnan tehokkuutta eli sitä kuinka tehokkaasti kulutettu sähköenergia muutetaan

lämpöenergiaksi. Lämpökertoimesta käytetään lyhennettä COP (Coefficient of performance). Maalämpöpumpputeknisissä lämpökertoimen normaali arvo on noin 3. (Perälä & Perälä 2013, 30.)

Lämpökertoimen suuruus riippuu lämmön keruu- ja luovutuslämpötiloista (ks. kuvio 2). Lämpötilat ovat absoluuttisina lämpötila-arvoina eli Kelvin-yksikköinä. (Perälä & Perälä 2013, 30.) Lämpökertoimen teoreettinen maksimiarvo voidaan laskea yhtälöstä 1.

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

missä T_1 = keruulämpötila
 T_2 = luovutuslämpötila



Kuvio 2. Keruu- ja luovutuslämpötilat (Staiger & Tantau 2015, 16.)

Lämpökerroin voidaan laskea käyttäen energia määriä yhtälöstä 2. (Staiger & Tantau 2015, 16.)

$$\mathcal{E}_{HP} = \frac{Q_{out}}{Q_{Elec}} \quad (2)$$

missä \mathcal{E}_{HP} = lämpökerroin

Q_{out} = lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia

Q_{Elec} = lämpöpumpun kompressorin ja apulaitteiden käyttämä energia

SPF-luku eli vuosihyötysuhde määritellään, jotta pystytään paremmin vertailemaan lämpöpumppujärjestelmiä. SPF-lyhenne tulee sanoista Seasonal Performance Factor. Vuosihyötysuhde on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen. (COP vs. SCOP 2015.)

Vuosihyötysuhde rakennuksen tilojen lämmitykselle voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä 3:

$$SPF = \frac{Q_{use}}{Q_{cost}} \quad (3)$$

missä Q_{use} = lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia vuodessa

Q_{cost} = lämpöpumpun sähkönkulutus vuodessa

Q_{cost} sisältää kompressorin ja muiden olennaisten apulaitteiden sähkönkulutuksen. (Staiger & Tantau 2015, 16.)

Taulukossa 1 on esimerkkejä maalämpöpumpun SPF-arvoista. Arvot on laskettu standardin SFS-EN 14511 testiolosuhteiden mukaan. Lämmönjakojärjestelmän meno- ja paluuveden lämpötilaerotus on 5 °C. Taulukosta 1 nähdään, että lämmönjakoverkoston menoveden lämpötilan noustessa suorituskyky heikkenee ja SPF-luku pienenee. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012, 32.)

Taulukko 1. Maalämpöpumpun SPF-lukuja (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012, 32.)

Maalämpöpumppu max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

2.3 Lämpöpumpun kylmäaineet

Kylmäaineella on tärkeä tehtävä lämpöpumpun toiminnassa. Se mahdollistaa lämmön siirtymisen energiatehokkaasti. Lämpöpumppujen kehittyessä myös kylmäaineet ovat kehittyneet paljon viime vuosina. Ennen käytettiin CFC-yhdisteitä eli freonia, joka sisältää synteettistä klooria, fluoria ja hiiltä. Nykyään CFC-yhdisteiden käyttö on kielletty kylmäaineena, sillä ne tuhoavat ilmakehän otsonia ja tuottavat paljon kasvihuonekaasuja. (Perälä & Perälä 2013, 46.)

Synteettisiä fluorihilivetyjä eli HFC-yhdisteitä käytetään nykyään lämpöpumppujen kylmäaineena. HFC-yhdisteiden kauppanimiä ovat muun muassa R404A ja R410A. Ne ovat kasvihuonekaasuja mutta eivät tuhoa otsonikerrosta. HFC-aineiden ohella lämpöpumpuissa käytetään myös hiilidioksidia (R744) ja toista luonnollista kylmäainetta, propaania (R290). Vaikka HFC-kylmäaineet ovat paljon pahempia kasvihuonekaasuja verrattuna hiilidioksidiin, niitä käyttävät lämpöpumput eivät varsinaisesti aiheuta haitallisia ympäristöpäästöjä. Oikein käytettynä kylmäaine ei pääse luontoon. (Perälä & Perälä 2013, 46.)

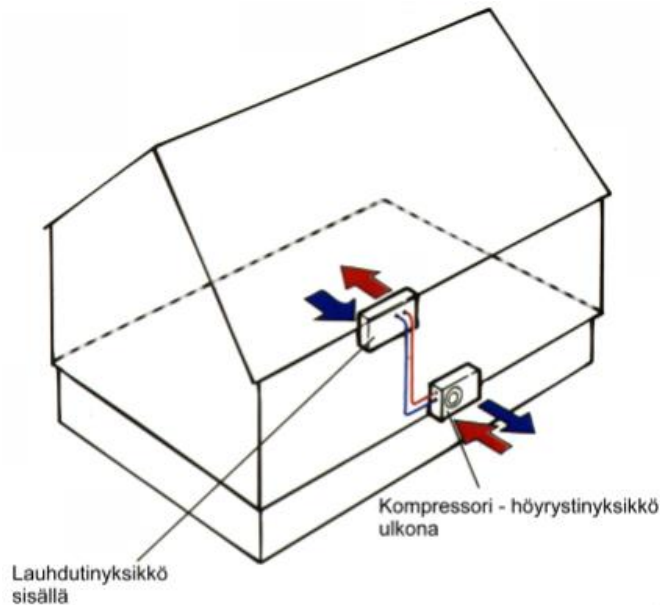
2.4 Lämpöpumpputyypit

Suomessa käytetyimmät lämpöpumput ovat ilmalämpö- ja maalämpöpumppu. Myös ilmavesilämpö- ja poistoilmalämpöpumppujen suosio on ollut kasvussa viime vuosina. Ilmalämpöpumput ovat kustannuksiltaan halvimpia ja helppoja asentaa. Yleensä ne ostetaan vain rinnalle auttamaan päälämmitysjärjestelmää. Niiden teho ei riitä suoriutumaan kokonaan lämmityksestä varsinkaan talvella. Maalämpöpumppu puolestaan valitaan päälämmitysjärjestelmäksi ja sen teho riittää ympärivuotiseen käyttöön. (Lämpöpumput n.d.)

2.4.1 Ilmalämpöpumppu

Lämpöpumpuista yksinkertaisin ja edullisin on ilmalämpöpumppu (ILP). Se ei vaadi erikoisratkaisuja rakenteissa ja se voidaan asentaa mihin tahansa rakennukseen, kun

taas muiden lämpöpumpputyyppeiden käyttökohteet ovat rajatumpia. Tukilämmitys-
muodoksi ilmalämpöpumppu soveltuu hyvin esimerkiksi sähkö- tai öljylämmityksen
rinnalle. (Perälä & Perälä 2013, 49.)



Kuvio 3. Ilmalämpöpumppu lämmitysratkaisuna (Ilmalämpöpumppu n.d.)

Ilmalämpöpumppujärjestelmä koostuu ulkoyksiköstä ja yhdestä tai useammasta sisäyksiköstä (ks. kuvio 3). Ulkoyksikössä sijaitseva höyrystin kerää lämmön ulkoilmasta. Kerätyllä energialla höyrystetään kylmäaine, joka kiertää ilmalämpöpumpun suljetussa piirissä. Ulkoyksikössä sijaitsee kompressori, jolla puristetaan höyry korkeaan paineeseen ja lämpötilaan. Sisäyksikössä kylmäaine luovuttaa ulkoilmasta ottamansa lämmön lauhduttimen läpi puhallettavaan ilmaan, jolla lämmitetään taloa. Luovuttaessaan lämpönsä lauhduttimessa kylmäaine muuttuu takaisin nesteeksi ja palautuu ulkoyksikköön. Se kiertää paisuntaventtiilin kautta keräämään lämpöä ja höyrystettäväksi ja kierto alkaa uudestaan. (Perälä & Perälä 2013, 50–52.)

Ilma-vesilämpöpumpun (UVLP) ero ilmalämpöpumppuun on se, että se siirtää ulkoilmasta kerätyn energian talon vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ilma-vesilämpöpumpulla pystytään hoitamaan koko talon lämmitystarve, mutta talvella kylmimpinä aikoina se tarvitsee varajärjestelmän rinnalle. (Perälä & Perälä 2013, 73.)

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) puolestaan ei ota lämmitysenergiaa ulkoilmasta vaan talosta poistettavasta ilmasta. Lämpöpumppu siirtää poistoilmasta talteenotetun

lämmitysenergian lämpimään käyttöveteen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. (Perälä & Perälä 2013, 77.)

Lämmön siirtyminen ilmalämpöpumpulla riittää tavallisesti noin 30–100 m²:n. Lämmön siirtymiseen vaikuttavat paljon rakennuksen muodot ja koko. Tämän takia lämpöpumpun sijoituksella on iso merkitys siihen, kuinka tehokkaasti se toimii.

Ilmalämpöpumppu toimii parhaiten keväisin ja syksyisin, jolloin sen hyötysuhde on parhaimmillaan. – 20 celsiusasteen pakkasella ilmalämpöpumpun teho on noin 50 prosenttia vähemmän kuin + 7 celsiusasteen lämpötilassa, jossa standardin mukaisesti laitteen teho- ja lämpökerroin ilmoitetaan. Kovilla pakkasilla ilmalämpöpumpun hyötysuhde on verrattavissa suoraan sähkölämmitykseen. (Perälä & Perälä 2013, 50–52.)

2.4.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumput (MLP) ovat investoinniltaan kalleimpia, mutta ne ovat tehokkaimpia lämpöpumpuista. Maalämpöpumppu sopii päälämmitysjärjestelmäksi. Se ei tarvitse rinnalle toista lämmitysjärjestelmää tai varajärjestelmää, kuten muut lämpöpumput. Maalämpöpumppu kerää lämpöenergiaa, joka on lähtöisin auringosta ja maapallon ytimestä. Lämpö kerätään keruuputkistojen avulla maasta, porakaivosta tai vesistöistä. Lämpöpumpun avulla lämpöä tuodaan keskuslämmitysjärjestelmään. (Perälä & Perälä 2013, 49,59.)

Maalämpöpumppujärjestelmä koostuu lämmönkeruupiiristä, lämpöpumpusta ja rakennuksen keskuslämmitysjärjestelmästä. Maaperään, porakaivoon tai vesistöön asennetussa keruuputkistossa kiertää jäätyvätön neste, kuten alkoholi-vesiseos. Neste kiertää keruuputkiston läpi, kierron aikana se lämpenee muutaman asteen. Tämän jälkeen lämpöpumpussa kiertävä kylmäaine höyrystyy keruupiirin nesteestä saattavan lämmön avulla. Kylmäaineen painetta nostetaan kompressorilla, jolloin sen lämpötila ja paine nousevat. Lämpöpumpun lauhduttimessa lämpö siirtyy kylmäaineesta lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen ja samalla kylmäaine lauhduu. Kierto alkaa uudelleen, kun kylmäaine palaa paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. (MLP n.d.)

Maalämpöpumppu on alkuinvestoinniltaan kallein ja hinnat ovat kohteesta riippuen 12 000–20 000 euron välillä. Hintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa lämmönkeruutapa, energiatarpeen suuruus, valittu järjestelmäratkaisu ja asennuskustannukset. (MLP n.d.)

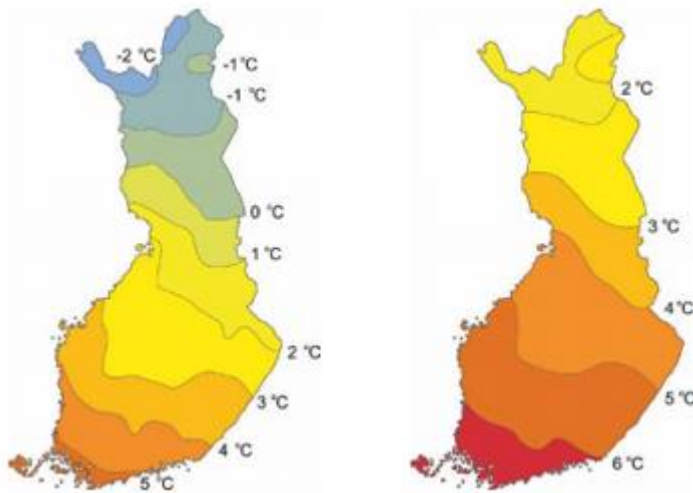
3 Maalämpö

3.1 Maalämpö Suomessa

Maalämpö on pääosin lähtöisin auringosta. Maa- ja kallioperän pintaosa pitää sisällään auringosta lähtöisin olevaa lämpöenergiaa. Syvemmillä maankuoren sisällä lämpöenergia on pääosin radioaktiivisten aineiden hajoamisesta peräisin olevaa geotermistä energiaa. (Similä 2009, 197.)

Riippumatta vuodenajan ja sää vaihteluista maan lämpötila pysyy melkein vakiona muutaman metrin syvyydessä. Eri leveyspiireillä maan lämpötila vaihtelee kuitenkin melko paljon muutaman metrin syvyydessä mutta vakioituu noin 10–15 m:n syvyydestä alkaen. Maalämmössä käytettävä lämpöenergia on varastoituneena pintamaahan, kallioperään sekä vesistöihin. (Geothermal heat pumps n.d.)

Vuosittainen ulkolämpötilojen muutos vaikuttaa maanpinnan keskilämpötilan vaihteluun. Maan lämpötila kuitenkin vakiintuu jo esimerkiksi Etelä-Suomessa n. 14–15 metrin syvyydessä 5-6 asteeseen. Geotermisen energian johdosta syvemmillä kallioperässä lämpötila nousee keskimäärin 0,5–1 astetta /100m. Maa- ja kallioperän pintaosien vuotuinen keskilämpötila Suomessa on noin muutaman asteen korkeampi verrattuna ilman vuotuisen keskilämpötilaan (ks. kuvio 4). Maa- ja kallioperän pintaosien lämpötila vaihtelee sijainnin mukaan mutta myös paikallisesti. Luonnontilaisessa metsässä lämpötila voi olla jopa useita asteita matalampi kuin rakennetuilla alueilla. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7.)



Kuvio 4. Vasemmalla ilmalämpötilan vuotuinen keskiarvo ja oikealla maanpinnan lämpötilan vuotuinen keskiarvo vertailukaudelta 1971–2000 (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7.)

Maalämpö on ympäristöystävällistä uusiutuvaa energiaa. Sillä saadaan pienennettyä hiilijalanjälkeä ja se on yksi monista keinoista, jolla vähennetään kasvihuonepäästöjä. Jopa puolet Suomen uudisrakentajista ottaa käyttöön maalämmön, koska se on ympäristöystävällinen ja taloudellisesti kannattava valinta. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 11.)

3.2 Maalämpöjärjestelmän asennus

Maalämpöjärjestelmän suunnittelussa ja asennuksessa on otettava huomioon muun muassa seuraavat tekijät:

- rakennuksen lämpöenergian tarve
- maa-alueen koko ja sijainti
- pohjavesiesiintymät
- maaperän kosteuspitoisuus
- maa- ja kallioperän lämpöominaisuudet (esim. lämmönjohtavuus)
- lämmön leviäminen ympäristöön
- lämpökaivojen koko ja määrä
- keruuputkiston koko ja määrä
- asennussyvyys.

Suomessa maa- ja kallioperä sisältää erilaisia kivilajeja ja niiden mukaan maaperän lämmönjohtavuus myös vaihtelee. Kallioperän lämpöominaisuuksiin vaikuttaa eniten

kallioperän koostumus, rikkonaisuus ja pohjaveden liikkeet. Asennuksen yhteydessä kallioperän rikkonaisuudesta voi olla haittaa, sillä se hankaloittaa porausta ja aiheuttaa porareian seinämien sortumista. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7.)

Lämmönkeruupiirin mitoitus on yksi tärkein kohta maalämpöjärjestelmän suunnittelussa. Keruupiirin lämpöenergian tuotannon tulee kattaa rakennuksen tilojen ja käytöveden ympärivuotuisen lämmittämisen. Lämpöpumpun maksimiteho on yleensä noin 60–80 prosenttia rakennuksen mitoitustehosta, jolloin rakennuksen huipputehontarvetta ei huomioida. Tällä mitoituksella saavutetaan parempi lämpöpumpun hyötysuhde ja pidennetään kompressorin elinikää. (Maalämpöpumppu 2017.)

Suomessa maalämpöjärjestelmän rakentamiseen tarvitaan kunnalta toimenpidelupa ja vesilain mukainen lupa. Vuodesta 2011 lähtien maalämpöputkiston asentaminen on vaatinut myönnettyä toimenpidelupaa kyseisen kunnan teknisestä toimesta. Luvan saantiin vaikuttaa muun muassa pohjavesialueet, suojellut muinaismuistoalueet, mahdolliset maanalaiset rakenteet taajama-alueella ja suojaetäisyydet rakennuksiin ja tonttirajoihin. Myös vesistöön asennettavaan putkistoon tarvitaan vesialueen omistajan lupa. Uudisrakennuksessa maalämpökaivon tai keruuputkiston asentaminen sisällytetään osaksi rakennuslupaa. Toimenpideluvan tarkoituksena on varmistaa ammattitaitoinen maalämpöjärjestelmä suunnittelu ja asennus välttyen toiminta- ja ympäristö haitoilta. (Maalämpöblogi n.d.)

3.3 Maalämmön keruujärjestelmät

3.3.1 Vaakaputkisto pintamaassa

Vaakaputkistolla lämpöenergiaa kerätään maaperän pintaosista. Keruuputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen ja vaakatasoon (ks. kuvio 5). Asennussyvyys vaihtelee kuitenkin hieman sijainnin ja ilmastovyöhykkeen mukaan. Keruuputkiston pituus

riippuu rakennuksen energian tarpeesta ja maaperän laadusta. Maaperän laadun vaihtelu vaikeuttaa keruuputkiston suunnittelua ja mitoituksen optimointia.



Kuvio 5. Vaakaputkisto (Danfoss lämpöpumput pientaloille 2013, 6.)

Suurpiirteinen mitoitus on, että rakennuskuutiota kohden tarvitaan 1-2 metriä keruuputkea. Puolestaan keruuputkimetriä kohden tarvitaan noin 1,5 m² tonttimaata. Tonttimaan määrä on kuitenkin riippuvainen maaperän laadusta. Esimerkiksi kostean savimaan lämpöominaisuudet ovat huomattavasti paremmat kuin hiekkamaalla, joten savimaahan asennettuun vaakaputkistoon tarvitaan vähemmän tonttimaata. Kivi- maaperä on huonoin asennusympäristö vaakaputkistolle, sillä siihen on vaikeampi kaivaa ja talvella roudan liikuttamat kivet helposti vahingoittavat putkistoa. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8.)

3.3.2 Lämpökaivo

Käytetyin maalämpöjärjestelmien lämmönkeruuratkaisu on lämpökaivo. Lämpökai- volla kerätään energiaa syvältä kallioperästä keruuputkiston avulla (ks. kuvio 6). Ke- ruuputkisto ja siihen kuuluvat kaivonrakenteet asennetaan porareikään. Keruuputkis- tossa kiertää lämmönkeruuliuos, jonka jäätymispiste on alhaisempi kuin vedellä. Po- rareiän syvyys on yleensä 200- 400 m ja ulkohalkaisija 115 – 165 mm. Porareiän sy- vyys määritellään aina tarkemmin rakennuksen lämmöntarpeen mukaan. Rakennuk-

sen lämmöntarpeen kasvaessa voidaan joutua poraamaan useita lämpökaivoja. Kai-vojen määrän noustessa yli 10 kappaleeseen muodostavat ne alueen, josta käytetään nimitystä energiakenttä. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8.)



Kuvio 6. Lämpökaivo (Juvonen & Lapinlampi 2009, 9.)

Lämpökaivon soveltuu pienille ja ahtaille tonteille sekä saneerauskohteisiin. Lämpökaivon lämpötila vaihtelee vuoden aikana ainoastaan 2-3 °C. Siten se soveltuu myös hyvin kesällä rakennuksen viilentämiseen. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8.)

Maalämmön keruujärjestelmä voi olla joko suljettu tai avoin keruupiiri. Molemmat vaakaputkisto ja lämpökaivo ovat tyypiltään ns. suljettuja keruupiirejä. Suljetussa keruupiirissä käytetään lämmönkeruunestettä keruuputkistossa energian siirtämiseen. Toinen mahdollisuus hyödyntää maalämpöä on kierrättää suoraan pohjavettä ilman erillistä lämmönkeruunestettä. Pohjavettä pumpataan siirtoputken avulla rakennukseen, jossa se luovuttaa maasta keräämänsä lämpöenergian lämpöpumpulle. Lämpöpumpulta pohjavesi palaa takaisin siirtoputkea pitkin takaisin pohjavedeksi tai johtamalla se pintavesiin. Edellä mainittua järjestämää kutsutaan avoimeksi keruupiiriksi. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 9.)

3.3.3 Lämmönkeruupiiri vesistöissä

Suomen vesistöihin asennetaan vuosittain noin 5 prosenttia maalämmön keruuputkistoista. Yleensä vesistöön asennettava keruuputkisto asennetaan järviin mutta myös mereen ja joissain tapauksissa jokiin. Vesistöön asennettu keruuputkisto on

jossain tapauksissa pientalolle halvin ratkaisu mutta taloudellinen ja teknillinen mielekkyys vaihtelee paljon tapauskohtaisesti. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 9.)



Kuvio 7. Vesistöön asennettava keruupiiri (Danfoss lämpöpumput pientaloille 2013, 6.)

Lämmönkeruuputkistot asennetaan vesistön pohjaan ja vähintään 2 metrin syvyyteen (ks. kuvio 7). Syvyydellä pyritään varmistamaan veden lämpötilan pysyvän yli +1 celsiusasteen yläpuolella, jotta putken ympärille ei pääse muodostumaan jää kerrostumia. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 9.) Ympäristön kannalta putkisto saattaa aiheuttaa väliaikaista samentumista ja ravinteiden vapautumista. Putkistoilla voi olla myös haittavaikutuksia kalastukselle ja pohjan ruoppaamiselle, joten luvan saaminen vesistöalueen omistajalta ja ainakin lähinaapureilta on ehdoton. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 9.)

4 Aurinkoenergia

Maailmanlaajuisesti aurinkoenergian ja siihen liittyvän tekniikan kysyntä on ollut voimakkaasti kasvussa viime vuosina. Nopean kehityksen johdosta on arvioitu, että vuonna 2050 6 % koko maailman energia ja sähkön tarjonnasta tulee aurinkoenergiasta. (Destouni & Frank 2010, 19.) Aurinkoenergia on ympäristöystävällinen energianlähde, joka on tulevaisuudessa elintärkeä meidän energian saatavuuden ja omavaraisuuden turvaamisen kannalta. Joissakin maissa aurinkoenergia on jo tuotantokustannuksiltaan taloudellisesti kannattavampaa kuin fossiilisilla polttoaineilla tuotettu energia. Suomessa tilanne ei ole vielä niin hyvä, mutta aurinkoenergian kilpailukyky

paranee entisestään tekniikan ja rakentamisen kehittyessä. (Erat, Tahkokorpi, Hänninen, Nyman, Rasinkoski & Wiljander 2016, 9.)

Aurinkoenergian valtavasta potentiaalista huolimatta se ei yksinään tarjoa vielä riittävä panosta vastaamaan sähkö- ja lämpöenergian kysyntään. Aurinkoenergian haaste on sen tuotannon epätasaisuus. Tekniikka ei ole vielä kehittynyt tarpeeksi aurinkoenergian tehokkaaseen varastointiin ja kuljettamiseen. Viimeisimmät tutkimukset osoittavat, että mahdolliset läpimurrot aurinkoenergiatekniikassa seuraavien vuosikymmenten aikana muokkaavat totaalisesti aurinkoenergian asemaa markkinoilla ja tekevät siitä merkittävän energian lähteen. (Similä ym. 2009, 187.)

Aurinkoenergia on tyypillinen energianlähde, jossa sen tuotanto on hyvin lähellä lopputuotteen käyttäjää, esimerkiksi aurinkokeräin tai aurinkosähköpaneeli talon katolla. Aurinkosähköjärjestelmät koostuvat aurinkopaneelista, invertteristä ja sähkövarastosta. Tällä hetkellä aurinkosähkön tärkein markkina-alue on taloihin asennetut aurinkokennojärjestelmät (photovoltaics). Aurinkolämmön yleisin käyttötarkoitus on rakennuksen lämpimän veden tuotanto. Tulevaisuudessa on odotettavissa, että aurinkolämpöä käytetään myös rakennusten ja prosessien lämmitykseen. Aurinkolämpöä tuotetaan aurinkokeräimillä. (Similä ym. 2009, 188.)

4.1 Aurinkoenergia Suomessa

Suomessa aurinkoenergian käyttöaste on alhaisimpia Euroopassa (Similä ym. 2009, 193). Suomen pohjoinen sijainti vaikuttaa paljon auringon säteilyn määrään ja ilmastoon, joka Suomessa vallitsee. Toisaalta, kun vertaillaan aurinkoenergian saantimahdollisuutta vaakatasossa vuodessa Suomen ja muun maailman välillä, on havaittavissa, että ero ei ole suuri Keski-Euroopan kaupunkeihin verrattuna (ks. taulukko 2). Etelä-Suomessa auringon säteilyenergia vuositasolla on noin 1100 ja Keski-Suomessa noin 1000 kilowattituntia neliometriä kohden. (Erat ym. 2016, 14–15.)

Taulukko 2. Vuosittainen aurinkoenergian saantimahdollisuus vaakatasossa Suomessa ja eri puolella maailmaa (Erat ym. 2016, 15.)

KAUPUNKI	LEVEYSPIIRI	kWh/h ² A
Helsinki	60° 12' N	938
Sodankylä	67° 22' N	807
Kööppenhamina	55° 40' N	976
Wien	48° 15' N	1070
Pariisi	48° 49' N	1032
Rooma	41° 48' N	1435
Lissabon	38° 43' N	1689
New York	40° 47' N	1405
Nairobi	1° 18' S	1855
New Delhi	28° 35' N	1987
El Paso	31° 48' N	2309
Melbourne	37° 49' S	1588

4.2 Auringon säteily

Auringon ytimessä tapahtuvan fuusioreaktion kautta aurinko tuottaa valtavan määrän energiaa ja säteilemällä se kulkeutuu maapallolle noin 150 miljoonan kilometrin matkan. Fuusioreaktiossa kaksi vetyatomin ydintä yhdistyy heliumatomiksi, jonka seurauksena vapautuu paljon energiaa. Fuusioprosessissa yhden heliumkilon muodostaminen vapauttaa energiaa yhtä paljon kuin 27 000 tonnia kivihiltä pitää sisälleen. Tämä puolestaan vastaa 180 miljoonaa kilowattituntia. (Erat ym. 2016, 11.)

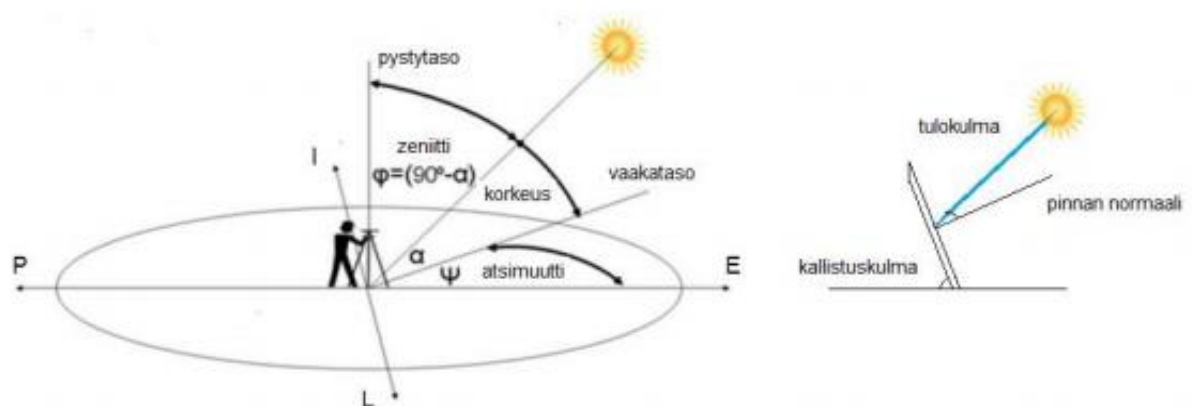
Fuusioreaktion myötä vapautuva energia antaa Auringolle $3,8 \times 10^{23}$ kilowatin kokonaistehon. Ihmiskunnan energian kulutus on vuodessa noin 132 000 terawattituntia, kun puolestaan aurinkoenergian teknillinen potentiaali on 438 000 terawattituntia. Auringon säteilyteho ilmakehän ulkopuolella on noin $1,368 \text{ kWh/m}^2$, kun taas maanpinnalla säteilyteho heikkenee noin 1 kWh/m^2 . Säteily heikkenee, koska ilmakehä suodattaa ja heijastaa osan säteilystä. (Erat ym. 2016, 11–13.)

Auringosta saatavan energian määrään vaikuttaa säteilyn tehon lisäksi keräimen suuntaus, sijainti ja kallistuskulma. Aurinkokeräinten ja –paneelien sijainnin määrittämisessä tärkeintä on sijoittaa ne varjottomaan paikkaan. Laitteen tulisi saada säteily tasaisesti ja varsinkin talvella varjojen merkitys heikentää huomattavasti laitteen energiantuotantoa (ks. taulukko 3). (Erat ym. 2016, 17.)

Taulukko 3. Säteilyenergiat paikkakunnittain (Heimonen 2011, 15.)

Kuukausi	Säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle (kallistuskulma 0°) paikkakunnittain, (kWh/m ² ,kk)		
	Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä
Tammikuu	6	5	1
Helmikuu	22	20	14
Maaliskuu	64	52	48
Huhtikuu	120	103	121
Toukokuu	166	171	128
Kesäkuu	169	159	154
Heinäkuu	181	158	146
Elokuu	127	114	95
Syyskuu	82	71	64
Lokakuu	26	25	17
Marraskuu	8	7	3
Joulukuu	4	3	0
Vuosi	975	890	791

Aurinkokeräimen suuntaus määräytyy kahdesta kulmasta: atsimuuttikulmasta eli poikkeama etelästä ja kallistuskulmasta eli deklinaatiosta (ks. kuvio 8). Atsimuuttikulma tarkoittaa sitä, että sen suuntaus itään on 90°, länteen + 90° ja etelään 0° eli päiväntasajaa kohti. Yleensä kiinteästi asennettavat aurinkoenergiajärjestelmät suunnataan edellä mainitusti. Järjestelmän kuormitushuipun mukaan keräimet kannattaa säätää itä-länsi-suunnassa. Mikäli kuormitushuippu on aamulla, suuntaus itään ja länteen, jos kuormitushuippu on illalla. (Erat ym. 2016, 18.)



Kuvio 8. Aurinkokeräimen suuntaus (Åman 2015, 8)

Kallistuskulma puolestaan tarkoittaa vaakatason ja laitetason välistä kulmaa. Laitteeseen tuleva aurinkosäteilyn kulma muuttuu jatkuvasti maapallon pyöriessä akselinsa ympäri. Tulokulmaksi kutsutaan kulmaa, joka muodostuu sisään tulevan säteilyn ja

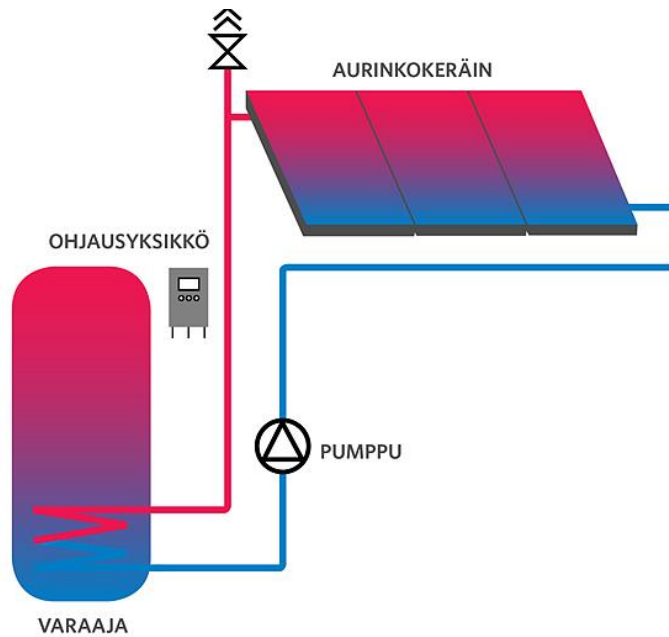
laitteen pinnan välille. Energiantuotannon kannalta ideaali tulokulma on 0 astetta, jolloin säteily osuu kohtisuorassa laitteen pintaan. Parhaaseen tuotantoon päästään, jos keräinten asentoa muutetaan kuukausittain. (Erat ym. 2016, 18.) Taulukosta 4 nähdään suuntauksen korjauskertoimet eri kallistuskulmilla. Korjauskertoimien avulla otetaan huomioon säteilyn tulokulman muuttuminen kuukausittain, kun lasketaan keräimelle tulevaa säteilyenergian määrää.

Taulukko 4. Suuntauksen korjauskertoimet paikkakunnalle Jyväskylä (Heimonen 2011, 16.)

Kuukausi	Korjauskertoimet etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla, paikkakunta Jyväskylä				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,50	1,75	1,75	1,75
Helmikuu	1,00	1,95	2,27	2,50	2,55
Maaliskuu	1,00	1,57	1,75	1,85	1,75
Huhtikuu	1,00	1,25	1,30	1,29	1,13
Toukokuu	1,00	1,09	1,07	1,01	0,78
Kesäkuu	1,00	1,03	0,99	0,90	0,63
Heinäkuu	1,00	1,05	1,01	0,93	0,66
Elokuu	1,00	1,12	1,11	1,05	0,80
Syyskuu	1,00	1,28	1,33	1,33	1,11
Lokakuu	1,00	1,46	1,62	1,65	1,54
Marraskuu	1,00	1,33	1,33	1,50	1,33
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
Vuosi	1,00	1,21	1,26	1,27	1,13

4.3 Aurinkolämpöjärjestelmät

Aurinkokeräimen tehtävänä on taltioida auringon säteily ja muuttaa se lämpöenergiaksi. Lämmönsiirtonesteen avulla lämpöenergia siirretään varastoon tai suoraan kulutukseen. Aurinkolämpöjärjestelmät koostuvat yleensä lämmön keruulaitteistosta, lämpövarastosta ja lämmön siirtoputkistosta (ks. kuvio 9). Lämmönsiirto tapahtuu joko nesteen tai ilman välityksellä. (Erat ym. 2016, 78–79.)



Kuvio 9. Aurinkojärjestelmän laitteisto (Aurinkolämpöjärjestelmät 2017.)

Aurinkolämpöjärjestelmät jaetaan kansainvälisessä tilastoinnissa kolmeen kategoriin perustuen niiden keräinpinta-alaan:

- Kotitalouksissa lämpimän käyttöveden järjestelmät (DHW, *domestic hot water*), keräinpinta-ala alle 50 m²
- Teolliset prosessivesijärjestelmät (*industrial process heat*), keräinpinta-ala 50–500 m²
- Aurinkokaukolämpö (*solar district heating, SDH*), keräinpinta-ala > 500 m²

(Erat ym. 2016, 79.)

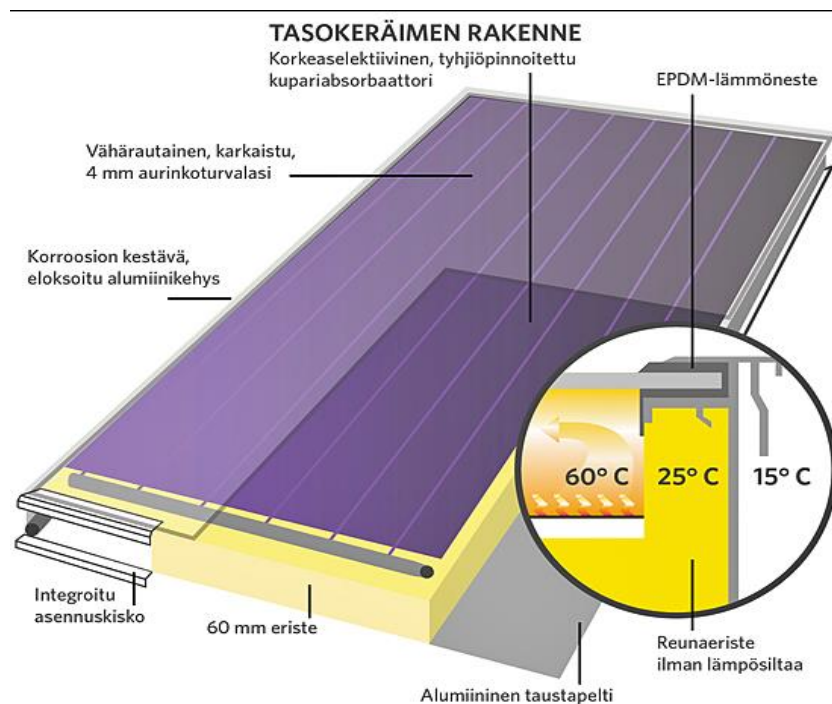
4.3.1 Nestekeräimet

Nestekeräimen toiminta perustuu putkistossa liikkuvaan nesteeseen, johon auringonlämpö siirtyy absorptioelementin kautta. Nesteellä täytyy olla hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet. Neste kuljettaa lämmön suoraan käyttökohteisiin tai varastoon myöhempää käyttöä varten. Rakenteeltaan absorptioelementti tai lämmönsiirrin on tiheä yhteenliitetty putkisto. Järjestelmän kokoojaputkistot sijaitsevat absorptioelementin ylä- ja alareunassa, missä elementit yhdistyvät. (Erat ym. 2016, 87.)

Nestekiertoisten keräinten etu on korkea lämpökapasiteetti. Nestekiertoisissa järjestelmissä lämpö on helposti siirrettävissä lämpövaraajaan ja järjestelmä on helppo

säätää. Tämän takia nestekiertoiset keräimet soveltuvat hyvin lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja rakennusten tilojen lämmitykseen, jos käytössä on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. (Erat ym. 2016, 87.)

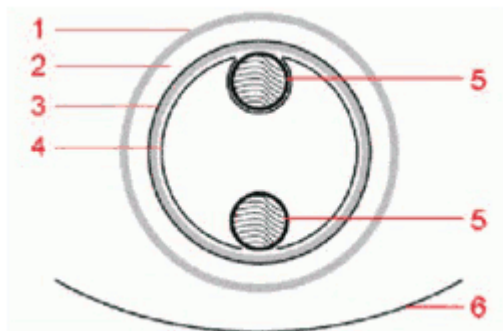
Nestekiertoiset keräimet jaotellaan kahteen päätyyppiin tyhjiöputkikeräimet ja tasokeräimet. Tasokeräimien toiminta perustuu siihen, että lähes koko keräinpinta-ala ottaa auringon säteilyä vastaan (ks. kuvio 10). Keräinelementin tumma pinta absorboi säteilyä ja kuumenee. Lämpö siirtyy kuumenneesta elementistä lämmönsiirtoaineeseen, joka kuljettaa lämmön järjestelmässä eteenpäin. Tasokeräimet voidaan jakaa kattamattomiin ja katettuihin tasokeräimiin. Katetut tasokeräimet ovat yleisempi ja tehokkaampi ratkaisu aurinkolämpöjärjestelmään. (Erat ym. 2016, 84.)



Kuvio 10. Tasokeräimen rakenne (Tasokeräimet 2016.)

Tyhjiöputkikeräinten toiminta perustuu tyhjiöksi imettyyn lasiputkeen, jonka sisälle lämmönkeruuputkisto on sijoitettu. Lasiputken tyhjiön muodostaa tehokkaan lämmöneristyksen lämmönkeruuputken ympärille ja estää siten lämpö karkaamasta takaisin (ks. kuvio 11). Tämän takia tyhjiöputkikeräimessä johtumishäviöt vähenevät merkittävästi ja suurempi osa lämmöstä saadaan talteen. Tyhjiöputkikeräimillä Pysty-

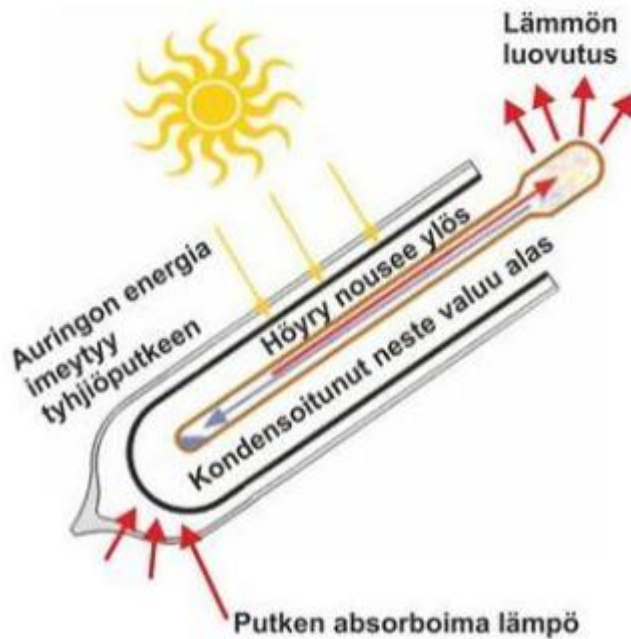
tään lisäksi hyödyntämään ympäristöstä tulevaa hajasäteilyä. Siitä johtuu, että kylminä vuodenaikoina tyhjiöputkikeräin pystyy parempaan lämmöntuotantoon kuin tasokeräin. Tyhjiöputkikeräimen hyötysuhde on 35–85 prosenttia ja tasokeräimen 35–74 prosenttia. (Erat ym. 2016, 84.)



Kuvio 11. Tyhjiöputkikeräimen lasiputken poikkileikkaus (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 72)

1. Ulkolasiseinä
2. Tyhjiö
3. Absorbaattori, musta pinta
4. Sisälasiseinä
5. U-muotoinen kupariputki
6. Parabolinen peili

Tyhjiöputkikeräimessä lämpö siirtyy tyhjiöputkesta lämmönsiirtonesteeseen. Tämä prosessi tapahtuu joko läpivirtausperiaatteella tai heat pipen eli lämpöputken avulla. Läpivirtausperiaatteella, neste virtaa joko koaksiaaliputkessa tai u-muotoisessa putkessa. Koaksiaaliputki on muodostettu sisäkkäin olevista putkista. U-muotoisessa tyhjiöputkessa lämmönsiirtoneste kiertää mustan absorboivan pinnan alla. Lämpöputkessa neste höyrystyy suhteellisen matalassa lämpötilassa (ks. kuvio 12). Höyrystynyt neste kondensoituu putken yläosassa ja luovuttaa lämpönsä lämmönsiirtonesteeseen. (Erat ym. 2016, 95.)



Kuvio 12. Heat pipe eli lämpöputki (Putkikeräinjärjestelmä 2013.)

4.3.2 Ilmakeräimet

Ilman lämmönsiirto-ominaisuudet ovat selvästi huonommat kuin veden. Jos halutaan tuottaa sama lämpömäärä ilmalla kuin nesteellä, esimerkiksi vedellä, tarvitaan ilmaa noin 4- kertainen määrä veteen verrattuna. Tämän takia ilmakeräimeen rakennetaan absorptioelementtejä, joiden suuren lämmönsiirtopinnan johdosta niistä saadaan toimivia laitteita. Ilmakeräimen toimintaperiaate on yksinkertainen. Auringon lämpösäteily kulkeutuu eristävän etuseinän läpi lämmönkeräyslevyyn, joka sijaitsee keräimen keskellä. Lämmönkeräys levystä puolestaan lämpö siirtyy siitä läpi kulkevaan ilmaan, joka jatkaa matkaa puhaltimen kautta lämmitettävään kohteeseen. (Erat ym. 2016, 88–90.)

Ilman edut lämmönsiirtoaineena ovat:

- Vuodot eivät vahingoita rakennusta
- Ilma ei jäädy eikä ylikuumentuessa aiheuta ongelmia
- Ilma lämpiää nopeammin
- Ilma ei aiheuta korroosio-ongelmia
- Ilmakeräimet ovat yksinkertaisempia rakentaa

Ilman haitat lämmönsiirtoaineena ovat:

- Alhainen lämpökapasiteetti

- Hankalampi säädettävyys
- Huonompi soveltuvuus lämpimän käyttöveden ja uima-altaiden lämmittämiseen

(Ilmakeräimet. 2016)

4.3.3 Suurkeräimet

Suurkeräimet on suunniteltu suureimpiin kohteisiin esimerkiksi maatilat, kiinteistöyhtiöt ja aluelämpöratkaisut. Suurkeräimet ovat selvästi isompia perinteisiin aurinkokeräimiin verrattuna. Suurkeräimet ovat painoltaan jopa 300 kg ja koolta noin 10 m², kun taas perinteiset keräimet painavat 50–60 kg ja pinta-alaltaan on noin 2-4 m². Suurkeräimillä saadaan kustannussäästöä paremman hyötysuhteen ansiosta, mikä syntyy kehysmateriaalin vähenemisestä, kun keräimien reunojen kautta lämpöhäviö pienenee. Myös erilaisten putkistojen määrä keräineliometriä kohti on pienempi suurkeräimissä. (Erat ym. 2016, 100.)

5 Lämpöenergian varastointi

5.1 Varastoinnin nykytila

Goswamin (2000) sekä Asifin ja Muneerin (2007) tutkimusten mukaan aurinkoenergia on lupaavin uusiutuva energianlähde. Aurinkoenergian koko potentiaalin hyödyntämistä haittaa merkittävästi kuitenkin ajoittainen ja epävaka luonto, joka aiheuttaa epävakautta kysynnän ja tarjonnan välille. Aurinkoenergian varastointi on keskeinen ratkaisu tämän ongelman korjaamiselle. Lämmön varastointijärjestelmät nähdään tärkeänä osana tulevaisuuden aurinkoenergiasovelluksia, sillä lämmön varastointijärjestelmät tekevät niistä tehokkaampia, käytännöllisempiä ja houkuttelevampia kuluttajalle. Varastoimalla energiaa pystytään vähentämään energiankulutusta ja varmistamaan aurinkoenergian saatavuus ympärivuoden. (Sørensen 2015, 29)

Fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä käytetään hyväksi erilaisten varastointitekniikoiden perustana. Tällaisia ovat muun muassa lämpö- ja kylmävarastot, jotka perustuvat

lämpökemiaan, akut ja polttokennot, jotka perustuvat sähkökemiallisiin ilmiöihin, superkondensaattorit ja suprajohtavat magneettiset energiavarastot, jotka perustuvat sähkömagneettiseen kenttään, ja mekaniikkaan perustuvat painekaasu, vauhtipyörät ja pumpatun veden varastot. Muutamia näistä on jo testattu usean vuoden ajan, ja ne ovat jo kaupallisesti tuotannossa sekä käytännössä testattuja. Niiden kehityksessä pyritään hyötysuhteeltaan tehokkaampiin ja ympäristön kannalta parempiin tuotteisiin. Akut, patterit ja sähkömagneettiseen kenttään perustuvat varastot ovat uutta, kehittyvää tekniikkaa. Lämpö- ja kylmä varastointitekniikassa uudet kylmäaineet ja faasimuutosmateriaalit edistävät kehitystä. (Alanen, Koljonen, Hukari & Saari 2003, 11)

5.2 Lämpöenergian varastointiratkaisut

Lämpöenergian termiset varastointitekniikat voidaan jaotella kolmeen päätyyppiin: tuntevan lämmön varastointiin (Sensible heat storage), latenttilämmön varastointiin (latent heat storage) ja termokemialliseen varastointiin (sorption/ thermochemical). Näistä tuntuva lämpöä ja latenttilämpöä on tutkittu eniten. Suurin osa termisen energian varastointilaitteista, jotka ovat käytössä aurinkoenergiajärjestelmissä, käyttää tuntevanlämmön tai latenttilämmön varastointimenetelmää. (Sørensen 2015, 30)

Lämpövarastoinnin teknologian valintaan vaikuttaa useat kriteerit , kuten

- varaston energia tiheys (kWh/m³)
- lämmöntuoton teho (vaatii hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet lämmönsiirtonesteen ja varaston materiaalin välillä)
- varasto materiaalin, mekaaninen, terminen ja kemiallinen vakaus
- kemiallinen yhteen sopivuus varastointimateriaalin, lämmönvaihtimen ja varaston välillä
- täydellisen palautumiskyvyn ylläpitäminen usean varaston lataus ja purkaus syklien aikana
- helppo integrointi käyttäjän järjestelmän kanssa
- matalat lämpöhäviöt
- matalat kustannukset (alhaiset kustannukset per jokaista varastoitua kilowattituntia kohden)
- vähäiset ympäristövaikutukset.

Lämpöenergian varastointimenetelmät voidaan kuitenkin jakaa myös monella muulla tavalla niiden käyttötarkoituksen ja sijainnin mukaan. Esimerkiksi joissain tapauksissa

jaottelu tapahtuu lämpötilan mukaan, jolloin puhutaan matala-, keskilämpö- ja korkealämpötilavarastoinnista. Toisaalta myös varastointiaika vaikuttaa, joten ne on määritelty lyhyeen, keskipitkään ja pitkään varastointiaikaan. Lyhyellä varastointiajalla viitataan muutamasta tunnista päivän pituiseen varastointiaikaan, jolla pyritään huippukuormien hallintaan ja hyödyntämään energiakustannusten vaihtelua vuorokauden aikana. Pitkällä ja keskipitkällä varastoinnilla pyritään hallitsemaan hukkalämmön ja vuodenaikojen aiheuttamia kuormanvaihtelua. (Alanen ym. 2003, 12.)

5.2.1 Tuntuvan lämmön varastointi

Tuntuvan lämmön varastointi on käytetyin lämmön varastointiratkaisu. Sen tunnetuin varastointitekniikka on lämminvesivaraaja, jota käytetään rakennuksissa ja teollisuusprosesseissa. Lämminvesivaraajan avulla hyödynnetään esimerkiksi yösähköä käyttöveden lämmitykseen ja tasataan kulutushuippuja. Lämminvesivaraajaan varastoidaan myös aurinkoenergiaa. Sen varastointiaika on lyhyt. Tuntuvan lämmön varastointi tapahtuu siis joko nesteeseen tai kiinteään aineeseen. Kiinteään aineeseen tuntuva lämpöä varastoidaan, esimerkiksi maanalaisissa varastoissa maaperään eli saveen, hiekkaan tai kallioon. Rakennusten rakenteisiin voidaan myös varastoida tuntuva lämpöä seiniin tai tulisijojen rakenteisiin. (Alanen ym. 2003, 13.)

Suuret maanalaiset lämpövarastot on tarkoitettu pitkäaikaiseen lämmön varastointiin, jolla hallitaan vuodenaika vaihtelun aiheuttamaa kuormanvaihtelua. Niiden varastointiaika on yleensä viikkoja – kuukausia. Suuren koon ja lämmön varastointikapasiteetin ansiosta niissä on pienet lämpöhäviöt. Maanalaisissa varastoissa lämpö siirtyy konvektiolla tai johtumalla. Lämmönsiirtotavan mukaan maanalaiset suuret varasto voidaan jakaa seuraavasti:

- virtausvarastot (esim. luolavarasto)
 - johtumiseen perustuvat varastot (esim. putki- tai porereikävarasto)
 - sekoitettu varasto (väliaineena sekä maa että vesi esim. pohjavesiesiintymä ja sora-vesikaivanto)
- (Alanen ym. 2003, 40.)

Suuria keskipitkän aikavälin varastoja käytetään alueellisissa ja keskitetyissä järjestelmissä lämmön kysynnän hallintaan. Suomessa kaukolämpöjärjestelmissä käytetään

kyseisiä lämpövarastoja, joiden avulla pystytään maksimoimaan sähkön tuotanto, käyttää tehoreservinä tuotantohäiriöissä ja vähentää huippukattiloiden (esim. öljyllä toimivien) käyttöä. (Alanen ym. 2003, 30–31.)

Varastoidun tuntevan lämmön energiamäärä voidaan laskea kaavalla 4:

$$Q = mc_p \Delta T \quad (4)$$

missä Q = lämpömäärä

m = varastomateriaalin massa

c_p = varastomateriaalin ominaislämpökapasiteetti

ΔT = lämpötilan muutos

Lämmönvarastointikapasiteetti vaihtelee eri kivi- ja maalajeilla (ks. taulukko 5). (Tahkokorpi, Hagström & Vanhanen 2011).

Taulukko 5. Kivi- ja maalajien lämpöominaisuuksia (Alanen ym. 2003, 13)

Väliaine	Lämmönjohtavuus W/m K	Lämpökapasiteetti kJ/kg °C	Tilavuuden lämpökapasiteetti kWh/m ³ °C
Graniitti	2,9–4,2	830	0,62
Hiekkakivi	3,0–5,0	730	0,55
Saviliuske	1,7–3,5	850	0,66
Kalkkikivi	1,7–3,0	840	0,63
Kvartsiitti	5,0–7,0	790	0,58
Hiekka, sora ¹	1,6–2,0		0,81
Hiekka, sora ²	0,7–0,9		0,39
Savi	0,85–1,1		0,83–1,0
Lieju ¹	1,5–2,5		0,61–0,83
Hiekkainen lieju ¹	0,6–1,8		0,36–0,53
Turve ¹	0,6		1,11
Turve ²	0,2–0,5		0,19–0,89
Vesi	0,62	4180	1,18

¹ pohjavedenpinnan alla, ² pohjavedenpinnan yllä

5.2.2 Latenttilämpöön perustuva lämmön varastointi

Latenttilämpöön perustuvat varaajat PCM (Phase Change Material) käyttävät hyväksien faasimuutoksessa vapautuvaa tai sitoutuvaa energiaa. Faasinmuutos tapahtuu vakiolämpötilassa, mutta lämpötila vaihtelee eri aineiden mukaan. Faasinmuutoslämpöjä ovat sublimoitumislämpö, höyrystymislämpö ja sulamislämpö. PCM-varastoissa käytetään hyödyksi faasin muutosta, joka tapahtuu kiinteän ja nesteen välillä. PCM varastoiden avulla pystytään varastoida suuria lämpömääriä pienellä lämpötilaerolla. Tämän takia PCM-varastoiden varastointitiheys on suuri. PCM-varastot soveltuvat hyvin lämpötilavaihtelun ja lämpötilapiikkien tasaamiseen, koska faasimuutos ei tapahdu hetkessä. (Alanen ym. 2003, 14)

PCM-varastoissa väliaineena käytetään vettä, jätää, suolaliuoksia, epäorgaanisten suolojen hydraatteja ja rasvahappoja. Lämpövarastoissa väliaineena käytetään eutektisia suolahydraatteja, suolahydraatteja ja parafiineja, kun taas puolestaan kylmävarastoissa käytetään vesi-suola liuoksia. PCM-varastoja käytetään energian lyhytaikaiseen varastointiin osana rakennusten lämmitys- tai ilmastointijärjestelmää. Niiden käyttölämpötila-alue on 0-100 celsiusasteen välillä.

5.2.3 Termokemiallinen lämmön varastointi

Termokemiallinen lämmön varastointi perustuu sorptio-prosessissa vapautuvaan tai sitoutuvaan reaktiolämpöön. Reaktio toteutuu seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:

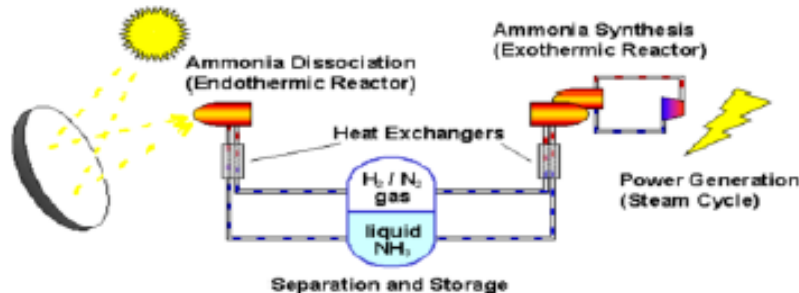


,missä Y on työaine eli absorboituva tai adsorboituva neste tai kaasu (vesi, NH₃, ROH, SO₃, CO₂, H₂, O₂). X on puolestaan adsorbentti tai adsorbentti (silikageeli, zeoliitti, metallihydrit, karbonaatit, ammoniumyhdisteet, hydroksit). (Alanen ym. 2003, 16.)

Termokemiallinen varastointi on vielä kehitysasteella, koska ongelmaksi on muodostunut reaktioiden toistettavuus. Tutkimukset ja kokeilut ovat pääasiassa kehitetty aurinkoenergian varastointiin. Saksaan Bruchhageniin sekä Itävaltaan Gleisdorfiin on rakennettu koelaitokset Fraunhofer ISE ja UFE Solarin toimesta. Näissä koelaitoksissa tutkitaan silikageeliin perustuvaa termokemiallista suljettua lämpövarastokonseptia,

jota käytetään aurinkolämmön kausivarastointiin. Järjestelmä koostuu silikageeliä sisältävistä säiliöistä ja niiden lämmönvaihtimista ja kondenssiveden keräilyssäiliöstä. Kesällä lämpövarasto ladataan kuivaamalla silikageeli aurinkolämmön avulla. Samalla silikageelissä oleva vesi höyrystyy ja vapautuu, jolloin syntynyt kondenssivesi varastoidaan. Kun talvella lämpöä tarvitaan, vesi höyrystetään ja se kiinnittyy (adsorboidaan) silikageeliin, jolloin vapautuu lämpöenergiaa. Tämä järjestelmä perustuu siihen, että silikageelillä energiatiheys saadaan 200–300 kWh/m³, joka on selvästi suurempi kuin vedellä (58 kWh/m³). (Alanen ym. 2003, 16–17.)

Australiassa on puolestaan kehitetty ammoniakkiin perustuva termokemialinen lämpövarasto. Kyseisessä järjestelmässä nestemäinen ammoniakki jaetaan vedyksi ja tyypeksi eli dissosioidaan. Dissosiointi tapahtuu aurinkolämmön avulla (ks. Kuvio 13). Tyypin ja vedyn reagoiessa keskenään syntyy lämpöä ja sen avulla voidaan tuottaa esimerkiksi höyryä. (Alanen ym. 2003, 16–17.)



Kuvio 13. Termokemialinen lämpövarasto, ammoniakkiin perustuva (Alanen ym. 2003, 17.)

5.3 Helenin pilottiprojekti Sakarinmäen koulukeskuksessa

Itä-Helsingissä Östersundomissa sijaitsevaan Sakarinmäen koulukeskuksessa toteutettiin uusiutuvan energian pilottihanke Helen Oy:n toimesta. Pilottihankkeen tarkoituksena oli korvata koulun vanha öljyllä toimiva lämpökeskus uusiutuvan energian lämmitysratkaisulla. (Sakarinmäen koulu 2014.)

Lokakuussa 2014 Sakarinmäen koululla otettiin käyttöön uusi hajautettu lämmitysjärjestelmä. Lämmitysjärjestelmä koostuu maalämmöstä, aurinkolämmöstä, lämpövarastosta sekä lämpökeskuksesta. Suunnitteluvaiheessa lämmitysjärjestelmän tavoitteeksi asetettiin, että lämmityksestä 80 % toteutetaan uusiutuvalla energialla. Tavoite toteutui jo ensimmäisenä käyttövuonna 2015, jolloin maalämmön osuus oli 79 % ja aurinkolämmön osuus 3 %. Maalämmön ja aurinkokeräinten tuottama lämpöenergia ei riitä koulun lämmitykseen kovilla pakkasilla, joten lisälämmitystä tarvitaan. Lisälämmitys tuotetaan lämpökeskuksen kahdella öljykattilalla. (Sakarinmäen koulu 2014.)

Sakarinmäen koulukeskuksen viereen rakennettiin vuonna 2014 16 aurinkokeräintä. Yhden aurinkokeräimen leveys on 5 metriä ja korkeus 2 metriä, joten niiden kokonaispinta-ala on 160 m². Aurinkokeräinten talteenottamalla aurinkoenergialla lämmitetään koulua ja käyttövettä. Niiden tuottama teho on 150 kW. Kesällä ylimääräinen energia ohjataan maalämpöpumpun kautta maaperään varastoon. Talvella varastoitua lämpöä käytetään hyväksi rakennuksen lämmitykseen, jolloin myös lämpöpumppujen hyötysuhde paranee. (Sakarinmäen koulu 2014.)

Lämmitysjärjestelmän maalämpö toteutetaan 21 lämpökaivolla. Jokainen lämpökaivo on noin 300 metrin syvyyteen porattu reikä. Porareian sisällä on lämmönkeruuputkisto, jossa kiertää lämmönsiirtoneste eli tässä tapauksessa bioetanoli. Bioetanoli kerää lämpöenergiaa putkistoa ympäröivästä maaperästä ja kuljettaa tämän lämmön maalämpöpumpun kautta koulun lämmitykseen. Asennettujen maalämpöpumppujen mitoitusteho on 275 kW. Lämmöntuotanto Sakarinmäen koulukeskuksessa maalämmöllä 2.3.2017 kello 16:00 oli 212,9 kW ulkoilman ollessa 0 celsius astetta. (Sakarinmäen koulu 2014.)

6 Huoltohallin lämmitysjärjestelmä

Tikkanostot Oy:n huoltohalli on vuonna 2000 rakennettu betonielementtihalli. Tutkittavalla lämmitysjärjestelmällä lämmitetään yhteensä 520,5 m²:n kokoista tilaa.

Tästä 300 m² on tarkoitettu nostureiden korjaukseen ja 220,5 m²:n on vuokralla. Näissä tiloissa sisälämpötila on 12–15 °C. Lämmönsiirto halliin toteutetaan vesikiertoisella lattialämmityksellä. Lämpimän käyttöveden tuotanto ei ole kytketty lämmitysjärjestelmään, vaan toteutetaan lämminvesivaraajassa sähkövastuksella.

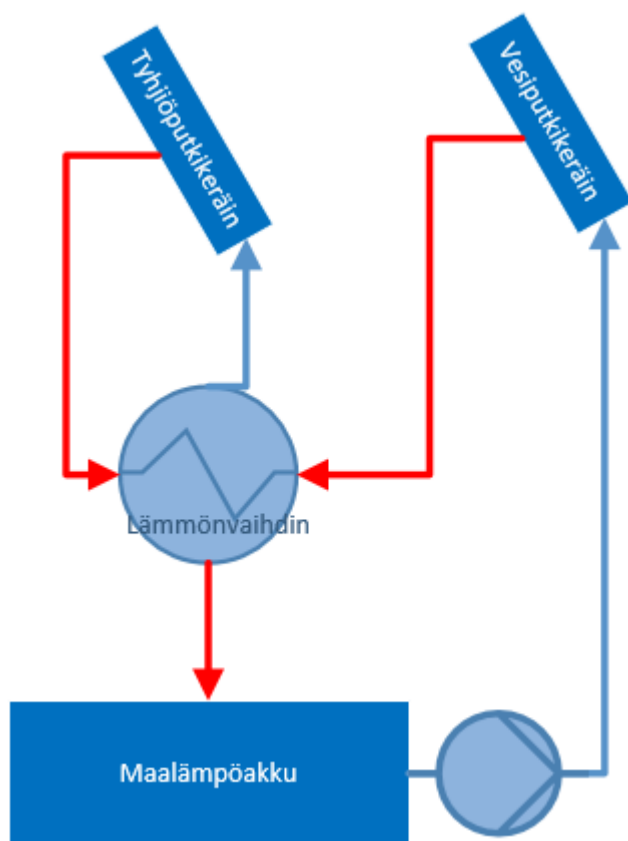
6.1 Lämmitysjärjestelmän kehitys

Suunnittelu energian varastoinnista aloitettiin, kun vuonna 2006 kesällä järvivesi Tikkanostot Oy:n hallin läheisyydessä oli viisi viikkoa yli 28- celsiusasteista. Lämpimään veteen oli sitoutunut valtava määrä energiaa, mutta ei ollut paikkaa, johon sitä olisi voitu varastoida. Tämän takia Markku Mertsalmi aloitti suunnitelmat energiavaraston rakentamisesta yrityksensä huoltohallin pihaan. Poraukset ja rakentaminen aloitettiin samana kesänä, ja maalämpöakku saatiin valmiiksi syksyllä 2006. Kesällä 2007 suoritettiin ensimmäiset lataukset akkuun, mikä toteutettiin järvestä lämmintä vettä pumppaamalla. Vuosien varrella tehtiin monia kokeiluja, joilla saataisiin energian varastointia tehokkaammaksi ja helpommaksi. Esimerkiksi järvivettä kuljetettiin asfaltti-
pihaa pitkin aurinkoisina päivinä, jolloin saatiin veden lämpötilaa nostettua huomattavasti ennen akkuun menoa. Loppujen lopuksi ratkaisuksi muodostui muutama itse rakennettu ja muutama ostettu aurinkokeräin, jotka on sijoitettu hallin katolle.
(Mertsalmi 2017.)

6.2 Uusiutuvan energian lämmitysratkaisu

Huoltohallin lämmitysjärjestelmä koostuu maalämpöakusta, maalämpöpumpusta, aurinkokeräimistä ja vesikiertoisesta lattialämmityksestä. Huoltohallin lämmitys jakautuu kolmeen erilaiseen jaksoon. Putkituksen avulla järjestelmän kierto saadaan säädettyä jakson mukaan (ks. liite 4). Kesällä maalämpöakku ladataan aurinkoenergialla. Talvella hallin lämmityksessä käytetään hyväksi maahan varastoitunutta energiaa. Keväisin ja syksyisin muutamien viikkojen ajan halli lämmitetään suoraan aurinkoenergialla.

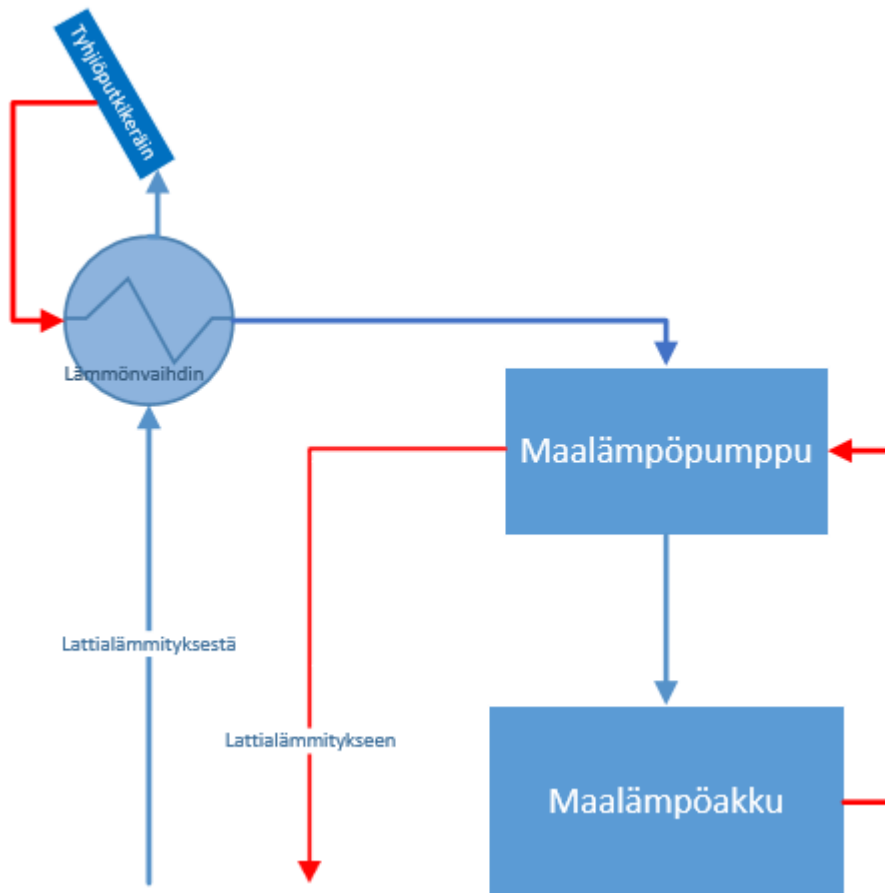
Keväisin, kun ulkona on tarpeeksi lämmin ja öisin lämpötila ei enää laske lähelle 0 °C, maalämpöakun lataus aloitetaan. Lataus jatkuu aina syksyyn asti, mutta lopetetaan ennen yöpakkasia. Kuvion 14 mukaan lataus toteutetaan aurinkokeräimien, lämmönvaihtimen ja kiertoovesipumpun avulla. Kierron alussa maasta tuleva pakkasneste kerää auringosta saatavan lämpöenergian vesiputkikeräimillä. Vesiputkikeräinten jälkeen pakkasnestettä kuumennetaan edelleen lämmönvaihtimessa tyhjiöputkikeräimistä saadulla lämpöenergialla. Lämmönvaihtimen jälkeen kuumennettu pakkasneste kierrätetään maalämpöakkuun, jossa se luovuttaa lämpöenergian keruuputkistoa ympäröivään maahan. Kierto alkaa uudelleen, kun maassa jäähtynyt pakkasneste palaa vesiputkikeräimille.



Kuvio 14. Maalämpöakun lataus

Hallin lämmitys aloitetaan marraskuun aikana, kun auringon säteilyn tuottama lämpöenergia ei enää riitä ylläpitämään hallin lämpötilaa. Lämmitys toteutetaan maalämpöpumpulla. Lämpöpumppu kerää keruuputkiston avulla kesällä varastoitunutta lämpöenergiaa maasta (ks. kuvio 15). Keruuputkistosta lämpöpumpulle tulevan pak-

kasnesteen lämpötila on 4-6 °C. Pakkasnesteen lämmön avulla lämpöpumppu tuottaa hallin lattialämmitykseen 15–20 °C vettä. Lattialämmityksestä palaava vesi kiertää lämmönvaihtimen kautta. Siellä vesi lämmitetään vielä aurinkoenergialla ennen lämpöpumpulle menoa. Tämä onnistuu kuitenkin vain aurinkoisena päivänä, jolloin keräimeltä tulevan pakkasnesteen lämpötila on suurempi kuin lattialämmityksestä palaavan veden lämpötila.



Kuvio 15. Lämmitysjakso

Edellä mainittujen jaksojen väliin jää syksyisin ja keväisin muutaman viikon jakso, jolloin hallin lämmityksen tarve ei ole vielä suuri ja aurinko paistaa päivisin kohtuullisen hyvin. Kyseisten viikkojen aikana halli lämmitetään pelkästään aurinkoenergialla. Kierto tapahtuu samalla tavalla kuin lämmityskaudella, mutta lämpöpumppu ei ole päällä eikä maasta saatavaa energiaa käytetä. Lattiassa kiertävä vesi lämmitetään lämmönvaihtimessa aurinkokeräimistä saadulla lämmöllä.

6.3 Maalämpöakku

Maalämpöakku sijaitsee huoltohallin pihassa, jossa maaperä on kostea savimaata. Putkitus koostuu ulko- ja sisäpiiristä, joista molemmista lähtee 11 putkilenkkiä. Jokainen putkilenkki tekee 5 pistoa maahan ja pistot ovat 14 metriä syvällä maassa. Yhteensä 22 putkilenkkiä on sijoitettu viidelle kehälle, joista isoin on halkaisijaltaan 14 metriä eli maalämpöakun reuna kulkee 7 metriä maalämpöakun keskikohdasta (ks. kuvio 16). Yhteensä keruuputkistoa on maassa noin 3080 metriä. Keruuputkien halkaisija on 25 mm.



Kuvio 16. Kuva maalämpöakusta ylhäältäpäin

Lämpömäärä, jonka maalämpöakku pystyy teoriassa vastaanottamaan, lasketaan kaavalla 4.

$$Q = mc_p \Delta T \quad (4)$$

missä $m = 3448208 \text{ kg}$
 $c_p = 2000 \text{ (J/K kg)}$

Taulukosta 6 nähdään maalämpöakun vastaanottamat lämpömäärät 5, 10 ja 15 asteen lämpötilaeroilla. Maalämpöakun massa laskettiin kertomalla savimaan tiheys 1600 kg/m^3 lämpöakun tilavuudella $2155,13 \text{ m}^3$. Lämpöakun tilavuus laskettiin isoimman kehän perusteella. Kostean savimaan ominaislämpökapasiteetti on 2000 J/K kg (RakMK C4, 2012, 20).

Taulukko 6. Maalämpöakun vastaanottama lämpömäärä

$\Delta T \text{ K}$	Lämpömäärä ominaislämpökapasiteetilla laskettuna kWh	Lämpömäärä tilavuuden lämpökapasiteetilla laskettuna kWh
5	9578	9698
10	19157	19396
15	28735	29094

Käytännössä lämpö kulkeutuu isommalle alueelle, koska maalämpöakkua ei ole eristetty. Myös keruuputket eivät kulje pystysuorassa, vaan leviävät sivulle alaspäin mentäessä, joten maalämpöakun muoto muistuttaa kartiota. Leviämisen kulmaa ei tiedetä, joten laskennassa tilannetta yksinkertaistettiin ja tilavuus laskettiin lieriönä. Putkistoissa tapahtuvia lämpöhäviöitä ei otettu huomioon laskuissa. Näin ollen maalämpöakku ottaa laskettuja arvoja enemmän lämpöä vastaan ja sen lämpötila jää viileämmäksi.

6.4 Maalämpöpumppu

Lämmitysjärjestelmässä käytetään Nibe Fighter 1150 maalämpöpumppua. Maalämpöpumpun antoteho $30 \text{ Hz} - 120 \text{ Hz}$ taajuudella ja lämpötilassa $0/45 \text{ °C}$ on $3,9 - 15,8 \text{ kW}$. Ottoteho 60 Hz taajuudella ja lämpötilassa $0/45 \text{ °C}$ on $2,5 \text{ kW}$ ja antoteho $8,3 \text{ kW}$. Tehotiedot on annettu standardin EN 14511 mukaan. Standardi ei sisällä sähkövastusta. Standardissa kiertopumppujen energiankulutusta ei ole laskettu mukaan.

Lämmönkeruupumpun maksimiteho on 140 W ja lämpöjohtopumpun maksimiteho 70 W. (Asennus- ja huolto-ohjeet n.d.)

Huoltohallin lämmitys maalämpöpumpulla aloitettiin viime syksynä 28.10.2016. Mittaukset lämpöpumpun toiminnasta aloitettiin 1.11.2016 (ks. liite 1). Lämpöpumpun toimintaa seurattiin 139 päivän ajan ja mittaukset lopetettiin 6.3.2017. Maalämpöpumpua käytettiin aina huhtikuulle saakka, mutta maaliskuussa sen käyttöaste pienenee huomattavasti auringosta saatavan lämmön takia.

Seurantakauden aikana keruueden keskilämpötila oli 5,18 °C ja lämpöpumpun tuottama lämpöjohtoveden keskilämpötila oli 17,8 °C. Lämpöpumpun käyttötaajuus on 40 Hz. Lämpöpumpun kompressori kulutti energiaa seurantakauden aikana 2176 kWh. Maasta tuodun energian määrä lämpöpumpulle oli 14 560 kWh. Lämpöjohtopumppu ja lämmönkeruupumppu kuluttivat yhteensä energiaa 700 kWh.

Teoriaosuudessa esitettiin kaava 2, jolla laskettiin maalämpöpumpun hyötysuhde.

$$\varepsilon_{HP} = \frac{Q_{Out}}{Q_{Elec}} \quad (2)$$

missä $Q_{Out} = 16\,736$ kWh

$Q_{Elec} = 2176$ kWh

Lämpöpumpun hyötysuhteeksi saatiin 7,7. Tulos laskettiin seuranta ajalta saatujen arvojen perusteella. Kompressorin energian kulutus laskettiin yhteen maasta tuodun energian määrällä ja summa jaettiin kompressorin kuluttamalla energialla.

Vuosihyötysuhde laskettiin kaavalla 3.

$$SPF = \frac{Q_{use}}{Q_{cost}} \quad (3)$$

missä $Q_{use} = 16\,736$ kWh

$Q_{cost} = 2876$ kWh,

,jolloin lämmityskauden hyötysuhteeksi saatiin 5,8. Tämä tulos huomioi kompressorin energian kulutuksen lisäksi molempien lämpöjohtopumpun ja lämmönkeruupumpun energian kulutukset.

6.5 Aurinkokeräimet

Huoltohallin katolta aurinkoenergiaa kerätään ostetuilla tyhjiöputkikeräimillä ja itse tehdyillä vesiputkikeräimillä. Vesiputkikeräimet rakennettiin vuonna 2014 kesällä. Tyhjiöputkikeräimet asennettiin ja otettiin käyttöön vuonna 2015 syksyllä. Niiden tuottama kokonaislämpöenergia latauskaudella on noin 23 000 kWh.

6.5.1 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimiä hallin katolla on neljä ja ne ovat malliltaan KAUKO Solar TT 25 – aurinkokeräimiä. Yksi keräin koostuu 25 tyhjiöputkesta ja keräimen pinta-ala on 4 m². Tyhjiöputken takaisinheijastuma on noin 8 %. Aurinkokeräinjärjestelmä koostuu tyhjiöputkikeräinten lisäksi latauspumpusta, ohjausyksiköstä ja kalvopaisunta astiasta. (Kauko solar tt aurinkokeräin 2013.)

Tyhjiöputkikeräimet ovat suunnattu etelään päin ja niiden kallistuskulma on 60°. Taulukossa 7 on laskettu auringon säteilyenergia neliötä kohden kuukaudessa keräimen pintaan. Taulukon tulokset laskettiin kertomalla kuukausittainen säteilyarvo (taulukosta 3) kallistuksen vaikutuskertoimella (taulukosta 4) ja 0,92, koska kyseisten tyhjiöputkikeräinten säteilyn takaisinheijastuma on noin 8 %. Tyhjiöputkikeräimen lämmöntuotannon laskussa oletetaan, että hyötysuhde on 50 %. Taulukosta 8 nähdään, että lämmöntuotanto on suurimmillaan toukokuussa 79,45 kWh/kk/m².

Taulukko 7. Auringon säteilyenergia vaakapinnalle Jyväskylässä ja tyhjiöputkikeräimen lämmön tuotanto

Kuukausi	Auringon säteily kWh/m ²	Kallistuksen vaikutuskerroin (60°)	Auringon säteily keräimen pintaan kWh/m ²	Tyhjiöputkikeräimen lämmön tuotanto kWh/m ²
Tammikuu	5	1,75	8,05	4,03
Helmikuu	20	2,50	46,00	23,00
Maaliskuu	52	1,85	88,50	44,25
Huhtikuu	103	1,29	122,24	61,12
Toukokuu	171	1,01	158,89	79,45
Kesäkuu	159	0,90	131,65	65,83
Heinäkuu	158	0,93	135,18	67,59
Elokuu	114	1,05	110,12	55,06
Syyskuu	71	1,33	86,88	43,44
Lokakuu	25	1,65	37,95	18,98
Marraskuu	7	1,50	9,66	4,83
Joulukuu	3	0,50	1,38	0,69
Vuosi	890	1,27	937	468

Taulukosta 8 puolestaan nähdään tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotanto eri lämmitysjaksojen aikana. Taulukossa tyhjiöputkikeräinten tuotanto on laskettu koko keräinpinta-alalle 16 m². Taulukosta nähdään, että vuodessa tyhjiöputkikeräimet tuottavat lämpöenergiaa 7492 kWh. Kesällä latauskauten aikana tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotanto on suurimmillaan 4982 kWh. Huoltohallia ei tarvitse lämmittää latauskauten aikana, jolloin kaikki lämpö varastoidaan maahan. Huhti- ja lokakuussa huoltohallin lämmityksen tarve on melko pientä ja se pystytään toteuttamaan suoraan tyhjiöputkikeräimistä saadulla lämmöllä.

Taulukko 8. Lämmöntuotanto lämmitysjaksojen mukaan

Ajanjakso	Sykli	Lämpökeräimen tuotanto kWh
Toukokuu- syyskuu	Lataus	4982
Marraskuu-maaliskuu	Lämmitys	1229
Huhti- ja lokakuu	Aurinkoenergia suoraan lämmitykseen	1282
Koko vuosi		7492

6.5.2 Vesiputkikeräimet

Vesiputkikeräimiä on yhteensä kolme kappaletta ja ne ovat rakenteeltaan yksinkertaisia. Ne koostuvat kokoojaputkista ylä- ja alapäässä sekä kerääjäputkista, jotka on asennettu kattopellin alle. Kerääjäputkea on yhteensä kattopellin alla noin 763 metriä ja se kattaa noin 123 m² alueen. Näiden keräinten toiminta perustuu siihen, että kesällä auringon säteily lämmittää kattopellin kuumaksi, jopa 50 °C. Kuumasta kattopellistä lämpö johtuu lämmönsiirtonesteeseen, joka kulkee kerääjäputkissa kattopellin alla. Vesiputkikeräimet ovat käytössä vain latauskauden aikana. Niissä kiertävä lämmönsiirtoneste on heikko vesi-pakkasneste seos, joten talveksi putkistot tyhjenetään jäätymisvaaran takia. Talvella niiden teho on myös liian heikko.

Katon lappeella, johon keräimet on asennettu, kallistuskulma on 45°. Taulukosta 9 nähdään auringon säteilyenergian määrä kattopellin pintaan. Kuukausittaiset säteilyarvot kerrottiin kallistuksen korjauskertoimella ja katon pinta-alalla. Yhteensä lataus kuukausien aikana säteilyenergiaa kattopellin pintaan tulee 88 674 kWh. Lataukseen saadut lämpömäärät ovat taulukon arvoja pienempiä. Osa säteilystä heijastuu pois ja lämpöhäviöitä syntyy, kun lämpö johtuu kattopellin ja muoviputken läpi lämmönsiirtonesteeseen. Vesiputkikeräinten lämmöntuotanto on laskettu Liitteen 2 mittausdatan perusteella.

Taulukko 9. Auringon säteilyn määrä peltikaton pintaan latauskaudella

Lataus kuukaudet	Säteilyenergia kallistuneelle pinnalle kWh/kk
Toukokuu	22505,31
Kesäkuu	19361,43
Heinäkuu	19628,34
Elokuu	15564,42
Syyskuu	11614,89
Yhteensä	88674,39

Liitteen 2 mittausdatassa on otteita kesältä 2014 ja 2015. Taulukosta 10 nähdään vesiputkikeräinten lämmöntuotanto kuukausittain kesältä 2015 ja koko latauskauden lämmöntuotanto. Tulokset määriteltiin mittausdatan perusteella. Kamstrupin

MULTICAL®402 lämpöenergiamittarin ja virtausmittarin avulla kirjattiin ylös: kokonaisenergian määrä, hetkellinen teho, paluu ja meno veden lämpötilaero ja tilavuusvirta. Taulukosta nähdään, että koko latauskauden aikana lämmöntuotanto oli 18 030 kWh. Vuonna 2015 latauskausi oli normaalia lyhempi järjestelmän säätöongelmien vuoksi.

Taulukko 10. Vesiputkikeräinten lämmöntuotanto

Aika	Vesiputkikeräinten tuotanto kWh/kk
Toukokuu, 2015	2940
Kesäkuu, 2015	4150
Heinäkuu, 2015	5060
Elokuu, 2015	4160
Yhteensä	16310
1.5 - 13.9. 2015	18030

6.6 Kustannuslaskelmat

Lämmitysjärjestelmän kokonaishinnasta ei ole tarkkaa tietoa, koska sen kehitys- ja rakennusprosessi on tapahtunut hitaasti reilun kymmenen vuoden ajan. Kustannukset määriteltiin Mertsalmen arvioiden ja laitteiden tämän hetkisten hintojen perusteella (ks. liite 3). Asennuskustannukset arvoitiin uuden samanlaisen järjestelmän rakentamisen perusteella. Taulukosta 11 nähdään arvio tutkittavan lämmitysjärjestelmän alkuinvestoinnista. Huomioitavaa on, että alkuinvestointi vaihtelee kohteesta riippuen. (Mertsalmi 2017.)

Taulukko 11. Lämmitysjärjestelmän alkuinvestointi (Mertsalmi 2017; Nibe maalämpöpumput 2017; Tulituote Oy 2017)

Tuote	Hinta
Tyhjiöputkikeräimet	4 440,00 €
Vesiputkikeräimet	4 240,00 €
Maalämpöpumppu	7 000,00 €
Maalämpöakku	10 400,00 €
Yhteensä	26 080,00 €

Maalämpöpumpun sähköenergian kulutus seurantakauden aikana oli 2176 kWh. Pää-apulaitteiden eli kiertovesipumppujen sähköenergian kulutus oli 700 kWh, joten yhteensä lämmitysjärjestelmä otti sähköenergiaa verkosta 2876 kWh lämmityskauden aikana. Sähköenergian hinta on noin 12 senttiä kilowattitunnilta, joten huoltohallin lämmityskustannukset seurantakauden ajalta oli 345 euroa. Kyseinen hinta myös vastaa melkein koko vuoden lämmityskustannuksia, koska maalämpöpumppu on ainoastaan päällä marraskuusta huhtikuuhun. Taulukosta 12 nähdään, että lämmitysjärjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 14 vuodessa verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Kustannustilanne kertoo vuotuisen tilanteen, kuinka paljon alkuinvestoinnista on kuoletettu. Vuotuinen säästötuotto vähennetään aina jäljellä olevasta alkuinvestoinnista. Sähkön hinta oletetaan nousevan 2 % vuodessa. Kotitalousvähennystä, laitteiston uusintoja ja hoitokuluja ei otettu huomioon laskussa.

Taulukko 12. Lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika verrattuna suoraan sähkölämmitykseen

Vuosi	sähkön hinta (€/kWh) (+2 %/a)	Lämmityskustannukset (€/a)	Tuotto verrattuna sähkölämmitykseen	Kustannustilanne
1	0,1200	345,19 €	1 663,13 €	24 416,87 €
2	0,1224	352,09 €	1 696,40 €	22 720,47 €
3	0,1248	359,13 €	1 730,32 €	20 990,15 €
4	0,1273	366,32 €	1 764,93 €	19 225,22 €
5	0,1299	373,64 €	1 800,23 €	17 424,99 €
6	0,1325	381,11 €	1 836,23 €	15 588,76 €
7	0,1351	388,74 €	1 872,96 €	13 715,80 €
8	0,1378	396,51 €	1 910,42 €	11 805,38 €
9	0,1406	404,44 €	1 948,63 €	9 856,76 €
10	0,1434	412,53 €	1 987,60 €	7 869,16 €
11	0,1463	420,78 €	2 027,35 €	5 841,81 €
12	0,1492	429,20 €	2 067,90 €	3 773,91 €
13	0,1522	437,78 €	2 109,25 €	1 664,66 €
14	0,1552	446,54 €	2 151,44 €	-486,78 €
15	0,1583	455,47 €	2 194,47 €	-2 681,25 €

7 Tulosten tarkastelu

Tuloksien perusteella nähdään, että lämpöpumpun hyvän hyötysuhteen ansiosta lämmitysjärjestelmän käyttökustannukset jäävät alhaiseksi. Vuotuiset lämmityskustannukset ovat ainoastaan 345 euroa. Hyvä hyötysuhde saavutetaan aurinkoenergiaa hyödyntämällä ja lämmityksen jaksotuksella. Lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 14 vuotta verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Takaisinmaksuaika on vielä inhimillinen ja kannattava, kun investoinnin käyttöikä on noin 20–30 vuotta. (Mertsalmi 2017.)

Taulukoiden 10 ja 11 perusteella nähdään, että vesiputkikeräimet toimivat ainoastaan noin 20 %:n hyötysuhteella. Heikosta hyötysuhteesta huolimatta vesiputkikeräinten energiantuotanto on kesältä yli puolet enemmän kuin tyhjiöputkikeräinten. Kustannuksiltaan keräimet ovat tässä tapauksessa samansuuruiset, joten vesiputkikeräimen rakentaminen ja käyttö on ollut kannattavaa. Tyhjiöputkikeräinten toiminnasta ei ole vielä kerättyä mittausdataa, joten työssä arvioitiin hyötysuhde, jonka perusteella laskettiin energiantuotanto. Hyötysuhde on todennäköisesti arvioitu alakanttiin, koska lämpötila pidetään tyhjiöputkikeräimessä melko pienenä.

Kesällä latauskaudella pystytään maahan lataamaan noin 23 000 kWh. Tämä tarkoittaa sitä, että maan lämpötila akussa voi nousta 10- 15 °C:seen, mutta käytännössä tämä ei kuitenkaan tapahdu lämpöhäviöiden johdosta. Keruueden keskilämpötila oli talven aikana noin 5 °C, joka oli oletettua matalampi. Kahden viime kesän heikko latauskausi on syynä maalämpöakun lämpötilan laskemiseen. Mertsalmen (2017) mukaan talvella 2010 keruueden lämpötila oli jopa yli 10 °C.

7.1 Maalämpöjärjestelmien vertailu

Eri maalämpökohteita vertailtiin niiden käyttökustannusten, hyötysuhteen ja kokonaistalouden näkökulmasta. Taulukosta 13 nähdään, että vertailuun valittiin tutkittavan lämmitysjärjestelmän lisäksi yksi teollisuushalli, kaksi omakotitaloa lämpökaivolla ja kaksi omakotitaloa vaakaputkistolla. Vertailun kohteet valittiin Stiebel Eltronin Suomen referenssikohteista (Stiebel Eltron n.d.).

Alkuinvestointikustannukset arvioitiin puhelinhaastattelujen ja hintaesimerkkien avulla. Jokaisen kohteen käyttökustannuksia verrattiin sähkölämmitykseen, minkä perusteella laskettiin vuotuiset säästöt. Säästöjen perusteella laskettiin alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika.

Taulukko 13. Maalämpöjärjestelmien vertailu (Jokinen 2017 ; Rabinä 2017; Stiebel Eltron n.d.)

Kuvaus	Lämmitettävä kohde					
	Tikkanostot Oy:n huoltohalli	Teollisuushalli Kuopiossa	Omakotitalo Jyväskylässä, saneerauskohde	Omakotitalo Jyväskylässä, uudiskohde	Omakotitalo Haapavesi, saneerauskohde	Omakotitalo Joutseno, uudiskohde
Tuotettu lämpöenergia (kWh/a)	16736	55 430	17 590	21 393	17 019	18 631
Rakennuksen koko m ²	520	500	215	200	162	181
Lämmönjakojärjestelmä	Lattialämmitys	lattialämmitys	patteriverkosto	lattialämmitys	patteriverkosto	lattialämmitys
Maalämpöpumppu (kW) ja lämmönkeruujärjestelmä	maalämpöakku	55,83 kW ja lämpökaivoja	10,03 kW ja lämpökaivo	7,4 kW ja lämpökaivo	7 kW ja maakeruuputkisto	7 kW ja maakeruuputkisto
SPF	5,82	3,84	3,33	4,97	4,10	4,84
Lämpöpumpunkäyttämä energia (kWh/a)	2876,6	14440	5280,0	4303,0	4156,0	3850,0
Lämmityskustannukset (0,12 €/kWh)	345,19 €	1 732,80 €	633,60 €	516,36 €	498,72 €	462,00 €
Lämmityskustannukset suoralla sähköllä (0,12 €/kWh)	2 008,32 €	6 651,60 €	2 110,80 €	2 567,16 €	2 042,28 €	2 235,72 €
Maalämmön tuomat säästöt verrattuna suoraan sähköön	1 663,13 €	4 918,80 €	1 477,20 €	2 050,80 €	1 543,56 €	1 773,72 €
Alkuinvestoinnit*	26 000,00 €	50 000,00 €	18 000,00 €	15 000,00 €	18 000,00 €	15 000,00 €
Takaisinmaksuaika noin (a)	14	10	12	7	11	7

Vertailun perusteella nähdään, että huoltohallin maalämpöpumppu toimii parhaalla hyötysuhteella ja lämmityskustannukset ovat halvimmat. Aurinkoenergiaa varastoiden saadaan keruueden lämpötila korkeammaksi, mikä takaa hyötysuhde on parempi. Alhaiset käyttökustannukset johtuvat hyvän hyötysuhteen lisäksi myös huoltohallin alhaisesta lämmitysenergian tarpeesta. Jatkoselvitykseen jääkin, mitä tapahtuu hyötysuhteelle, jos rakennukseen lämmitysenergian tarve kasvaa puolet isommaksi.

Matalan energiankulutuksen ja uusien lämpöpumppujen ansiosta uudistalojen lämmitysjärjestelmät toimivat odotettua korkeammalla hyötysuhteella ja selvästi paremalla kuin saneerauskohteet. Tämän vertailun perusteella maalämmön keruumenettelmällä ei ole merkittävää vaikutusta hyötysuhteeseen tai käyttökustannuksiin.

Taulukosta 13 nähdään, että takaisinmaksuaika on huoltohallin lämmitysjärjestelmällä kaikista pisin. Tavallisilla maalämpöjärjestelmillä päästään jo hyviin hyötysuhteisiin ja niiden alkuinvestointi kustannukset ovat alhaisemmat. Varsinkin uudiskohteet maksavat itsensä takaisin puolet nopeammin kuin huoltohallin lämmitysjärjestelmä. Ympäristön ja pidemmän aikavälin näkökulmasta aurinkoenergian varastointi maalämpöakkuun on kannattavaa. Tämän kaltaisen idean suosion kasvu kuluttajien näkökulmasta vaatisi paremmat ja nopeammat rahalliset hyödyt kuin markkinoilla olevissa järjestelmissä. Kuitenkin järjestelmän kannattavuus isommissa kohteissa on varmasti kannattavaa, koska pienempikin hyötysuhteen parannus tuo enemmän säästöjä.

7.2 Kehitysidea

Tuloksien perusteella nähdään, että lämmönvarastointiin tarvitaan parempi ja tehokkaampi ratkaisu. Kesällä varastoidusta energiamäärästä alle puolet saadaan käytettyä talvella rakennuksen lämmitykseen. Nykyisellä järjestelmällä pystytään siirtämään lämpöenergiaa tarvittava määrä maalämpöakkuun lämmityskautta varten, mutta lämpö ei säily akussa riittävän hyvin. Lämpöhäviöitä syntyy liian paljon ja lämmitysjärjestelmän hyötysuhde laskee, kun maan lämpötilaa ei nouse tarpeeksi.

Seuraava lämpöakku sijoitetaan edelleen maahan. Maahan kaivetaan suorakulmainen alue ja eristyslevyt sijoitetaan akun seinämille ja pohjalle. Eristyksessä käytettäisiin esimerkiksi Finnfoam eristyslevyjä. Kohteesta riippuen akku sijoitettaisiin rakennuksen alle, jolloin lämpöhäviöt ylöspäin saataisiin käytettyä hyväksi talon lämmitykseen. Keruuputkisto asennettaisiin vaaka-asentoon kerroksittain savimaan sekaan. Oletetaan, että maahan ladattaisiin saman verran energiaa kuin nykyisellä järjestel-

mällä eli noin 23 000 kWh. Oletetaan myös, että maan lämpötila on 6 °C akun ulkopuolella. Sivulla 32 esitetyn yhtälön 4 avulla laskettiin maalämpöakun lämpötilan muutos latauksen jälkeen. Lämpöhäviö laskettiin kaavalla 5:

$$\Phi = \lambda A \frac{\Delta T}{l} \quad (5)$$

missä Φ = siirtyvä lämpöenergia

λ = lämmönjohtavuus

A = pinta-ala

ΔT = pintalämpötilojen erotus

l = eristekerroksen paksuus

Taulukosta 14 nähdään, että lämpöhäviöt ovat vuodessa 16 416 kWh. Silti lämmitykseen jäävällä osuudella saataisiin akun lämpötila nostettua noin 7 °C. Yhtälö ei anna kovin luotettavaa kuvaa todellisuuden tilanteesta, koska lämpöakun reunoilla lämpötila ei nouse 31 °C lukemiin. Tämän takia lämpöhäviöt jäävät pienemmäksi. Jos oletetaan, että lämpöakun reunoilla lämpötila on noin puolet akun keskustan lämpötilasta, lämpöhäviöt pienenevät silloin noin 8000 kilowattituntiin. Sen seurauksena akun lämpötila nousisi noin 16 °C. Maalämpöpumpun hyötysuhde saataisiin paremmaksi, koska akussa keruueden lämpötila saadaan nostettua merkittävästi. Eristettyyn maalämpöakkuun voidaan myös tuoda enemmän lämpöenergiaa ilman suuria lämpöhäviöitä. Vaikka hyötysuhde saadaan nostettua eristetyllä lämpöakulla paremmaksi, alkuinvestointi kustannukset nousevat. Taulukossa 14 on arvioitu, että kyseisen lämpöakun eristyslevyt maksaisi noin 7500 euroa.

Taulukko 14. Maalämpöakun lämpöhäviöt

Lämpöakun mitat 10m x 10m x 10m		
tuotulämpömäärä	23000	kWh
akun massa	1600000	kg
akun tilavuus	1000	m ³
ulkopintala	500	m ²
akun lämpötila	31,55556	°C
eristeen paksuus	0,15	m
eristeen lämmönjohtavuus λ	0,022	W/mK
lämpötilaero eristeen ulko- ja sisäpinta $\Delta T=$	25,55556	K
Lämpöenergin johtuminen eristekerroksen läpi	3,748148	W/m ²
lämpöhäviöt vuodessa	16416,89	kWh/a
eristelevyjen hinta	7500	Euroa
lämpömäärä lämmitykseen	6583,111	kWh/a
akun lämpötila lämpöhäviöiden jälkeen	13,31457	°C

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ja luoda selkeä kuvaus

lämmitysjärjestelmästä ja selvittää lämmitysjärjestelmän tehokkuus ja kustannukset.

Opinnäytetyöhön kuului lisäksi tutkittavan lämmitysjärjestelmän vertailu muihin

maalämpöratkaisuihin ja pohtia mahdollisia kehitysideoita.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, että huoltohallin lämmityskustannukset

ovat alhaiset ja maalämpöpumppu järjestelmässä toimii paremmalla hyötysuhteella

kuin muut vertailussa olleet maalämpöpumput. Alkuinvestointikustannuksien takia

lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika on muita vertailukohteita pidempi.

Oppinäytetyön perusteella voidaan todeta, että pienempiin omakotitalokohteisiin

tutkittava lämmitysjärjestelmä ei ole niin kustannustehokas investointi kuin

tavallinen maalämpöratkaisu. Isomissa kohteissa alkuinvestointikustannukset ovat jo

varsin suuret ja energiakulutus on suurempi, joten pienikin hyötysuhteen kasvu tuo

merkittäviä säästöjä. Opinnäytetyön perusteella voidaan kuitenkin todeta, että

aurinkoenergian varastoiminen maalämpöakkuun on kannattavaa niin taloudellisesti

kuin myös ympäristön näkökulmasta varsinkin, jos verrataan tavallisimpiin lämmitysmuotoihin esimerkiksi öljy- tai sähkölämmitykseen.

8.1 Luotettavuus

Kanasen (2015, 111.) mukaan kehittämistutkimuksen luotettavuutta arvioidaan tutkimuksessa käytettyjen menetelmien mukaan. Luotettavuustarkastelun perusteella käsitellään käytetyt menetelmät, tulokset ja analyysit. Tutkimustulokset on oltava pysyviä eli luotettavia siinä suhteessa, että ne eivät johdu sattumasta. Jos tutkimus uusitaan, tulosten tulisi pysyä samana eli uusintamittaus vahvistaa tutkimustulokset. Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta voidaan tarkastella esimerkiksi seuraavien kriteerien avulla:

- vahvistettavuus
- arvioitavuus
- tulkinnan ristiriidattomuus
- luotettavuus
- saturaatio

(Kananen 2015, 111-113.)

Opinnäytetyössä käytetty aineisto on suuremmalta osin vahvistettua.

Lämmitysjärjestelmän kuvaus hyväksyttiin toimeksiantajalla ja perustuu pitkälti keskusteluihin toimeksiantajan kanssa. Mittaukset suunniteltiin yhteistyössä toimeksiantajan kanssa, jolloin niiden avulla saatiin haluttu informaatio järjestelmästä. Mittaukset suunniteltiin hyvin ja toteutettiin johdonmukaisesti, joten mittausdataa voidaan pitää luotettavan. Tiedonhaussa käytettiin monipuolisesti eri lähteitä ja pyrittiin mahdollisuuksien mukaan käyttämään alkuperäisiä lähteitä. Vertailuun aineistoa kerättiin maalämpöpumppujen valmistajien referenssikohteista ja tiedot varmistettiin asennuksen tehneeltä yritykseltä.

Mittaustulosten perusteella laskettujen arvojen luotettavuutta voidaan pitää hyvänä, koska ne on laskettu käytännössä toteutuneilla arvoilla. Tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotanto laskettiin säteily määrän arvioilla ja olettaen 50 % hyötysuhdetta. Tämä vaikuttaa laskun luotettavuuteen, kun todellista hyötysuhdetta ei tiedetä.

Kehitysidean lämpöhäviöissä jouduttiin tekemään oletuksia, jonka takia tarkkaa tulosta ei tiedätä kehitysidean kannattavuudesta.

Lämmitysjärjestelmän alkuinvestointi laskelma tehtiin Markku Mertsalmen arvioiden perusteella. Lämmitysjärjestelmä on rakennettu yli 10 vuotta sitten ja rakennuskustannuksista ei ollut tarkkaa tietoa, mikä vaikuttaa heikentävästi arvion luotettavuuteen. Laitteiston kustannukset arvioitiin tämän hetkisten hintojen perusteella, joten arvio on kuitenkin hyvin suuntaan antava.

8.2 Työn suoritus

Opinnäytetyössä luotiin lämmitysjärjestelmästä selkeä ja johdonmukainen kuvaus. Järjestelmästä luotiin myös kaksi lämmitysprosessin toimintaa havainnollistavaa kuviota sekä PI-kaavio ja ne onnistuivat hyvin. Maalämpöakun rakenteesta ei saatu luotua havainnollistavaa kuvaa sen haastavan rakenteen takia. Tästä syystä maalämpöakun rakenne ja toiminta jää opinnäytetyössä hieman epäselväksi. Mittausten perusteella saatiin laskettua vesiputkikeräinten lämmöntuotanto ja maalämpöpumpun vuosihyötysuhde. Tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotanto jouduttiin laskemaan teoriassa esitettyjen taulukoiden avulla, koska 2016 vuoden kesän mittaukset epäonnistuivat ja tyhjiöputkikeräinten toiminnasta ei saatu dataa.

Toimeksiantajan puolesta opinnäytetyön tekemiseen oli melkein vapaat kädet, miten asiaa tulisi käsitellä. Mahdollisuuksia oli paljon, mikä teki työn kokonaisuuden ja olennaisen asian hahmottamisen vaikeaksi. Opinnäytetyössä haastavaa oli saada kaikki materiaali tiivistettyä selkeäksi kokonaisuudeksi, joka käsittelee asioita kattavasti. Opinnäytetyön haastavin ja työläin osuus oli vertailun tekeminen. Maalämpökohteiden tiedon hankinta oli todella haastavaa ja hidasta.

Tärkein jatkoselvitystä vaativa asia olisi kehitysidean testaaminen. Tärkeää olisi saada selville todelliset lämpöhäviöt, ihanteellinen akun koko ja lämpötila. Mielenkiintoista on myös se, miten hyvin kesällä varastoitua energiaa saadaan käytettyä talvella. Tarvitaanko tulevaisuudessa edes lämpöpumpua lämmöntuotantoon vai riittääkö pelkästään lämmönvaihtimena toimiva maalämpöakku. Jatkoselvitykseen jää myös

tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotannon mittaaminen, jotta pystytään tarkemmin arvioimaan kesällä ladatun lämpöenergian määrä.

Lähteet

Alanen, R., Koljonen, T., Hukari, S & Saari, P. 2003. Energian varastoinnin nykytila. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 2199.

Aurinkolämpöjärjestelmät. 2017. Artikkelit Motivan sivustolla. Viitattu 2.5.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat.

Asennus- ja huolto-ohjeet. N.d. Nibe Fighter 1150. MOS FI 1251-2 NIBE FIGHTER 1150 231226. Viitattu 2.5.2017. <http://www.nibeonline.com/pdf/231226-2.pdf>.

Danfoss lämpöpumput pientaloille. 2013. Pumpputuettelo. Danfoss A/S. Viitattu 24.4.2017. <http://kuluttaja.lampo.danfoss.com/PCMPDF/l%C3%A4mp%C3%B6pumpputuettelo%202013.pdf>

Destouni, G & Frank, H. 2010. Renewable Energy. AMBIO: A Journal of Human Environment, 39, 18-21. Viitattu 29.2.2017. DOI 10.1007/s13280-010-0059-7.

Erat, B., Tahkokorpi, M., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A & Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into.

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas, Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys.

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. Julkaistu Edilex-palvelun Rakentamismääräykset- sivulla. Viitattu 3.3.2017. http://www.ymparistoministerio.fi/fi/MI/Maan-kaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma.

Geothermal Heat Pumps. N.d. Artikkelit Energy.gov-sivustolla. Viitattu 5.3.2017. <https://energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>.

Heimonen, I. 2011. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön- ja sähkön energiantuotannon laskennan opas. Pdf-tiedosto Ympäristöministeriö. Viitattu 16.3.2017. www.ymparistoministerio.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF.../30750.

Hirvelä, A., Jokela, M., Kaappola, E. & Kianta, J. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Huttunen, R. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja: 4/2017

Hyysalo, S., Juntunen, J., Mattinen, M. & Nissinen, A. 2014. Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Air-Source Heat Pump and Innovative Ground-Source Air Heat Pump in a Cold Climate. Yale University: Journal of Industrial Ecology, 19, 1. Viitattu 27.2.2017.

Ilmalämpöpumppu. N.d. Artikkelin Sulpun sivustolla. Viitattu 30.2.2017.
<http://www.sulpu.fi/ilmalampopumppu>.

Jokinen, J. 2017. Turun Maalämpö. Haastattelu 24.4.2017.

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo, maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita Prima.

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2009. Lämpökaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2009. Helsinki. Suomen Ympäristökeskus.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja –sarja.

Lämpöpumput. 2017. Artikkelin Motivan sivustolla. Viitattu 28.2.2017.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia.

Lämpöpumput. N.d. Artikkelin Sulpun sivustolla. Viitattu 28.2.2017.
<http://www.sulpu.fi/lampopumput>

Kauko solar tt aurinkokeräin. 2013. Kaukomarkkinat. Viitattu 16.03.2017.
http://www.matthiasfried.fi/lataukset/kauko_solar_tt_aurinkokerain.pdf.

Maalämpöblogi. N.d. Techeat. Viitattu 15.3.2017.
<http://www.techeat.fi/maalampoblogi/maalampo-Suomessa/>

Maalämpöpumppu. 2017. Artikkelin Motivan sivustolla. Viitattu 30.3.2017.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu.

MLP. N.d. Artikkelin Sulpun sivustolla. Viitattu 30.2.2017.
<http://www.sulpu.fi/maalampopumppu>.

Mertsalmi, M. 2017. Yrittäjä. Tikkanostot Oy. Haastatteluja keväällä 2017.

Nibe maalämpöpumput. 2017. Verkkokauppa taloon.com-sivustolla . Viitattu 5.4.2017. <http://www.taloon.com/nibe/7974/dg>.

COP vs. SCOP. 2015. Artikkelin Nilan Suomi-sivustolla. Viitattu 8.3.2017.
<http://www.nilan.fi/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>.

Perälä, R. & Perälä, O. 2013. Lämpöpumput : suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Karisto.

Putkikeräinjärjestelmä 2013. Ricaheating Oy:n Internetsivuilta. Viitattu 2.5.2017.
<http://www.ricaheating.fi/tuotteet/aurinkolammitys/rica-solar-putkikerainjarjestelma>.

Räbinä, H. 2017. Putkipotretti Oy. Haastattelu 24.4.2017.

Sakarinmäen koulu. 2014. Helen Oy:n uusiutuvan energian pilottiprojekti. Viitattu 2.3.2017. <https://www.helen.fi/sakarinmaki>.

Similä, L. 2009. Energy visions 2050. Helsinki: VTT : Edita.

Staiger, R & Tantau, A. 2015. Energy efficiency model for small/medium geothermal heat pump systems. *Management & Marketing*, 10, 1, 13-33. Viitattu 20.2.2017. <https://janet.finna.fi/>.

Stiebel Eltron. N.d. Säästokohteet energiapakkaus.fi sivustolla. Viitattu 24.4.2017. <http://www.energiapakkaus.fi/saastokohteet.html>.

Sørensen, B. 2015. Solar Energy Storage. Elsevier. Roskilde, Denmark: Department of Environmental, Social and Spatial Change, Roskilde University.

Tahkokorpi, M., Hagström, M. & Vanhanen, J. 2011. Aurinkolämmön mahdollisuudet kaukolämpöjärjestelmässä. Loppuraportti. Gaia Consulting Oy.

Tasokeräimet. 2016. Artikkelit Motivan sivustolla. Viitattu 15.2.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarj_estelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet.

Ilmakeräimet. 2016. Artikkelit Motivan sivustolla. Viitattu 15.2.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarj_estelmat/ilmakeraimet.

TT Aurinkokeräimet. 2017. Tulituote Oy. Viitattu 5.4.2017. http://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/aurinkokeraimet/tt_aurinkokeraimet/.

RakMK C4. 2012. Lämmöneristys, ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C4. Ympäristöministeriö. Viitattu 20.3.2017. <https://www.edilex.fi/rakentamismaaraykset#c>.

Åman, J. 2015. Aurinkoenergian mahdollisuudet Suomessa syys-, talvi- ja kevätolosuhteissa. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 16.4.2017. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201503102983>.

Liitteet

Liite 1. Mittaukset talvi 2016-2017

Viikko	ulkolämpötila	Päivämäärä	Lämpötila T1 (C)	Lämpötila T2 (C)	Lämpötilaero (T1-T2)	Tilavuusvirta (L/h)	Hetkellinen teho (kW)	Kokonaisenergia (MWh)	Lämmitykseen saatu energia (MWh)
44		1.11.2016	7,01	5,17	1,84	2737,00	5,80	46,21	0,62
44		4.11.2016	6,78	4,97	1,81	2815,00	5,90	46,60	1,01
45	-8,0	9.11.2016	6,45	4,67	1,78	2800,00	5,90	47,30	1,71
46	0,8	16.11.2016	6,31	4,56	1,75	2919,00	5,80	48,27	2,68
47	4	22.11.2016	6,25	4,54	1,71	2941,00	5,80	48,81	3,22
48	-10	29.11.2016	5,80	4,11	1,69	2923,00	5,60	49,53	3,94
49	-2	7.12.2016	5,45	3,76	1,69	2872,00	5,60	50,62	5,03
50	-6	14.7.2016	5,20	3,52	1,68	2883,00	5,60	51,52	5,93
51	1	21.12.2016	5,23	3,54	1,69	2896,00	5,70	52,19	6,60
1	-20	5.1.2017	4,54	2,90	1,64	2902,00	5,40	53,90	8,31
2	1	10.1.2017	4,45	2,82	1,63	2887,00	5,50	54,55	8,96
3	-7	16.1.2017	4,27	2,62	1,65	2855,00	5,50	55,36	9,77
4	4	26.1.2017	3,96	2,25	1,71	2768,00	5,50	56,61	11,02
5	-3	1.2.2017	3,84	2,16	1,68	2822,00	5,50	57,33	11,74
6	-15	8.2.2017	3,55	1,88	1,67	2775,00	5,40	58,21	12,62
8	-6	24.2.2017	5,44					59,60	14,01
9	2	1.3.2017						59,95	14,36
9		3.3.2017	3,53	1,82	1,71	2732,00	5,40	60,02	14,43
10	-5	6.3.2017						60,15	14,56

Lämpöpumpun kompressorin hetkellinen ottoteho (W)	Lämpöpumpun kompressorin käyttämä energia (Kwh)	Menovesi lämpötila C	pyydetty lämpötila C	Keruulämpösis C	Keruulämpöulos C	paine ylämittarissa (bar)	paine alamittarissa (bar)	Kompressorin käyttö tunnit
901	51							
900	108							
900	258	17,1	18					
901	340	19,3	18	6,7	5			
912	454	19,5	20,7	6,4	4,6			
897	626	19,1	18	6	4,2			
895	769	19	19,8	5,8	3,9	0,1	0,7	
902	894	18,9	18	5,8	3,9	0,1	0,7	
890	1154	18,4	23,7	5,2	3,3	0,1	0,7	
887	1255	18,4	18	5,1	3,2	0,1	0,7	
902	1387	18,9	20	4,9	3	0,1	0,7	
905	1592	18,9	18	4,6	2,6	0,1	0,7	
912	1711	19,1	19	4,5	2,5	0,1	0,7	
890	1859	18,4	21,3	4,1	2,2	0,1	0,7	18553h 47 min
	2090	14	15			0,1	0,7	18811h 29 min
	2145	14	15			0,1	0,7	18874h 57 min
833	2156	16,3	15	4,8	2,7	0,1	0,7	18887H 41 min
	2176	16,7	15					18909h 26 min

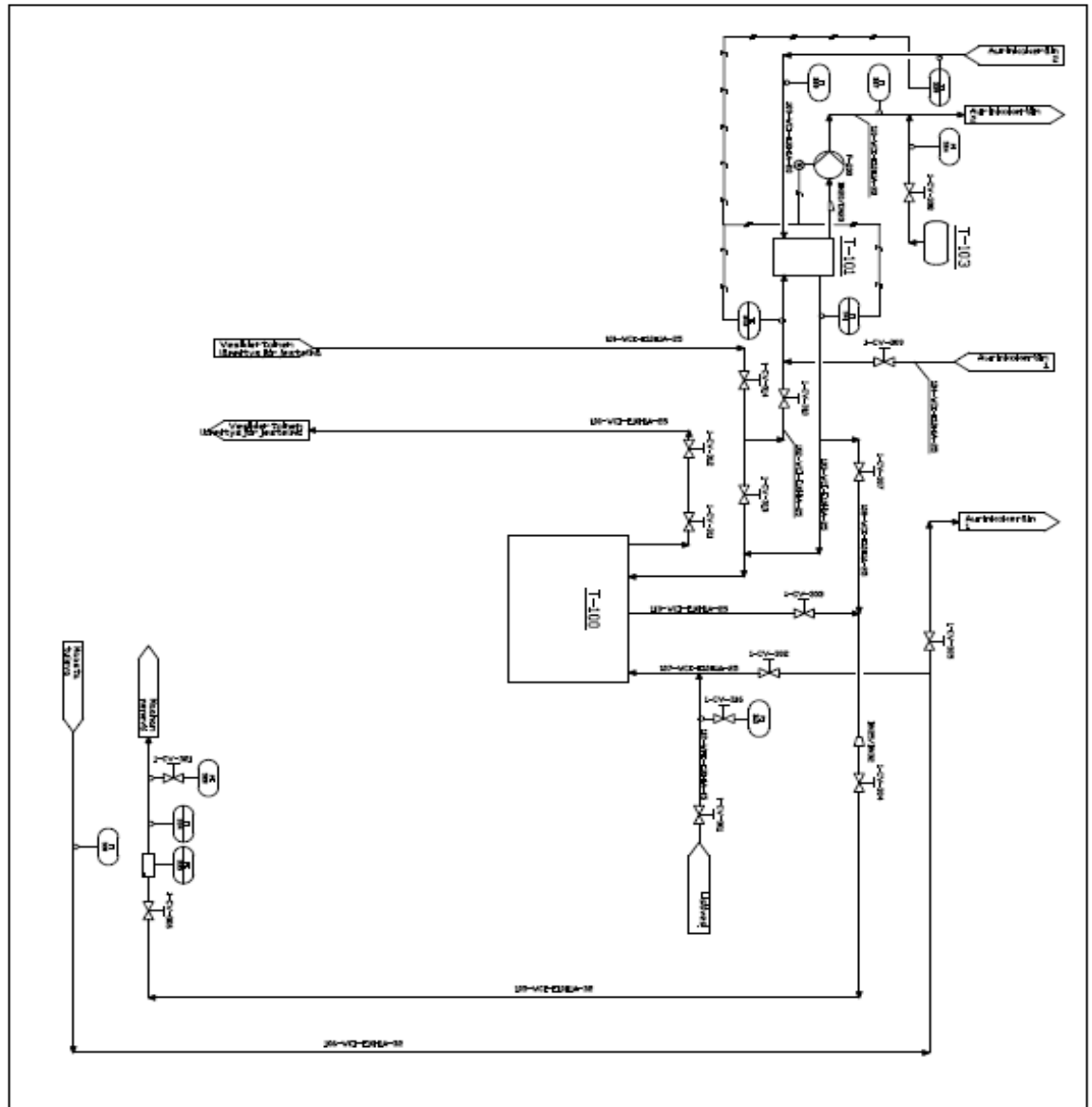
Liite 2. Mittaukset kesä 2015 ja 2017

ulkolämpötila	Päivämäärä	Läpötilaero (T1-T2)	Hetkellinen teho (kW)	Maahan ladattu Kokonaisenergia (MWh)	Tilavuusvirta (L/h)
28	22.7.2014	12	17,6		
28	23.7.2014	6,73	13,5	0,18	1735
28	24.7.2014	10,2	14,1	0,37	1181
30	25.7.2014	23,21	16,1	0,56	607
21	28.7.2014	5,62	6,1	1,06	930
20	29.7.2014	6,06	6,5	1,21	919
18	30.7.2014	5,38	5,7	1,32	929
26	7.8.2014	8,23	8,8	2,48	929
19	12.8.2014	2,23	2,4	3,08	903
13	19.8.2014	1,17	1,2	3,62	929
	21.8.2014	5,5	6,2	3,74	928
	26.8.2014	1,3	1,7	4,06	1202
	30.8.2014			4,39	
	1.5.2015			12,77	
	7.5.2015	7,07	19,1	13,23	2045
	1.6.2015			15,71	
	8.6.2015			16,53	
	1.7.2015			19,86	
	2.7.2015			20,03	
	28.7.2015			24,42	
	31.7.2015			24,92	
	31.8.2015			29,08	
	13.9.2015			30,8	

Liite 3. Maalämpöjärjestelmän kustannusarvio

Tuote Maalämpöpumppu	Hinta		Tuote Maalämpöakku	Hinta
Maalämpöpumppu Nibe	6 000,00 €		maatyöt	2 000,00 €
Maalämpöpumpun asennus	1 000,00 €		Putket	1 000,00 €
Yhteensä	7 000,00 €		Poraukset	5 000,00 €
(Nibe maalämpöpumput 2017)			Neula lyöntiväline	2 000,00 €
			kiertovesipumppu	400,00 €
			Maalämpöakku yhteensä	10 400,00 €
Tuote Tyhjiöputkikeräimet	Hinta			
4 kpl TT25-tyhjiöputkikeräin + säädettävä asennusteline			Tuote Vesiputkikeräinten	Hinta
Pumppuryhmä + automatiikka			Rakennus materiaalit	2 000,00 €
Kalvopaisunta-astia 50 ltr			Vesiputkikeräinten teko	960,00 €
30 litraa			Asennuskustannukset	1 280,00 €
lämmönsiirtonestettä			Yhteensä	4 240,00 €
Liitinsarja				
Kattokiinnikesarja				
yhteensä	4 440,00 €			
(TT aurinkokeräimet 2017)				

Liite 4. Maalämpöjärjestelmän PI-kaavio



Projekti: Maalämpöjärjestelmä Pääsuunnittelija: Maalämpökeskus Suunnittelija: Maalämpökeskus Piirustuksen nimi: Maalämpöjärjestelmän PI-kaavio Piirustuksen numero: 01 Piirustuksen päiväys: 2010	Piirustuksen laajuus: Koko Piirustuksen tyyppi: PI-kaavio Piirustuksen tila: Valmis Piirustuksen tekijä: Maalämpökeskus Piirustuksen tarkastaja: Maalämpökeskus Piirustuksen hyväksyjä: Maalämpökeskus Piirustuksen tarkastusmerkinnät: Maalämpökeskus