



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Camilla Kauppila

Lämpöpumppuratkaisuja kaukolämmössä Martinlaakson voimalaitoksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

3.12.2019

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Camilla Kauppila Lämpöpumppuratkaisuja kaukolämmössä Martinlaakson voimalaitoksessa</p> <p>33 sivua 3.12.2019</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (AMK)</p>
<p>Tutkinto-ohjelma</p>	<p>Energia- ja ympäristötekniikka</p>
<p>Ammatillinen pääaine</p>	<p>Energiantuotantomenetelmät</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Lehtori Juha Kotamies Kunnossapitoinsinööri Ville Koivunen</p>
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ja vertailla eri lämpöpumppuratkaisujen mahdollisuuksia kaukolämmön tuotannossa Martinlaakson voimalaitoksessa. Tarkastelun kohteeksi valittiin maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumput. Työssä tarkasteltiin valittujen lämpöpumppujen toimintaa, pumppujen hyötyjä, niiden toteutuksen rajoitteita ja menestykseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi opinnäytetyössä vertailtiin erilaisia lämmöntuotantotapoja ja pohdittiin tehon sijoitusta kaukolämpöverkossa. Työn lopussa on esitetty lämpöpumppuratkaisujen investointikustannuksia ja takaisinmaksuaikoja.</p> <p>Lämpöpumppujen budjettitarjouksen pohjalta vertailtiin, minkälainen lämmitysjärjestelmä kannattaa valita Martinlaakson voimalaitokseen. Maalämpöjärjestelmän investointikustannus ja takaisinmaksuaika olivat lähes kolminkertaiset verrattuna ilma-vesilämpöjärjestelmän kustannukseen ja takaisinmaksuaikaan. Vertailuista vaihtoehdoista ilma-vesilämpöpumppuratkaisu todettiin maalämpöpumppujärjestelmää kannattavammaksi ratkaisuksi.</p> <p>Tutkimuksen perusteella voitiin todeta, että teho on eri vaihtoehdoista kannattavinta sijoittaa kaukolämpöverkon menoputkeen. Tehon sijoituksen esteenä paluuputkeen on biokattilan savukaasupesuri ja kaukolämpöakussa lämpötilakerrostumat.</p> <p>Työn lopputuloksen heikkoutena on selvitystä varten saatu lämpöpumppujen tietojen vähäisyys, minkä vuoksi lopputuloksen luotettavuutta on hankala arvioida. Jatkotutkimuksia varten olisi tarpeen saada monipuolisempia tietoja erilaisista lämpöpumppujen arvoista.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>Maalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu, kaukolämpö, kaukolämpöverkko</p>

Author Title	Camilla Kauppila Heat Pump Solutions for District Heating at the Martinlaakso Power Plant
Number of Pages Date	33 pages 3 December 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Production Technology
Instructors	Juha Kotamies, Lecturer Ville Koivunen, Maintenance Engineer
<p>The purpose of this thesis was to study and compare the possibilities of different heat pump solutions in district heat production at the Martinlaakso power plant. Geothermal and air-to-water heat pumps were selected for consideration. The focus was on the operation of the selected heat pumps, their benefits, their limitations, and the factors affecting their success. In addition, different heat production methods were compared and the power distribution in the district heating network was considered. At the end of the thesis, the investment costs and payback times for heat pumps solutions are presented.</p> <p>On the basis of the heat pump budget offer, it was compared which heating system should be chosen for the Martinlaakso power plant. The investment cost and payback time of a geothermal system were nearly three times higher than the cost and payback time of an air-to-water heat system. Of the comparative alternatives, the air-water heat pump solution was found to be more profitable than the geothermal heat pump system.</p> <p>The results suggested that it is the most profitable of the various alternatives to place the power in the supply pipe of the district heating network. A barrier to the power supply to the return pipe is the flue gas scrubber in the biofuel boiler and the temperature deposits in the district heating battery.</p> <p>The weakness of the final result is the lack of data available on heat pumps, which makes it difficult to assess the reliability of the final result. For further investigations, it would be necessary to obtain more comprehensive information on the different values of heat pumps.</p>	
Keywords	geothermal heat pump, air-to-water heat pump, district heating, district heating network

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energia Oy	1
2.1	Martinlaakson voimalaitos	2
2.2	Käänteentekevä energiayhtiö	4
3	Kaukolämpö	5
3.1	Kaukolämmön tuotanto tällä hetkellä	8
3.2	Kaukolämpö Suomessa	8
3.3	Kaukolämpö Vantaalla	8
4	Lämpöpumput	9
4.1	Lämpöpumppujen toiminta	9
4.1.1	Lämpökerroin	11
4.1.2	Kylmäaineet	11
4.2	Maalämpöpumppu	11
4.2.1	Lämmönlähteenä lämpökaivo	12
4.2.2	Lämmönkeruupiirinä vaakaputkisto	14
4.2.3	Lämmönkeruupiiri vesistössä	14
4.2.4	Huolto ja käyttöikä	15
4.3	Ilma-vesilämpöpumppu	15
4.3.1	Ilma-vesilämpöpumpputyypit	16
4.3.2	Huolto ja käyttöikä	16
5	Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä	16
5.1	Pumppujen hyödyt	16
5.2	Pumppujen toteutuksen rajoitteet	16
5.3	Pumppujen menestykseen vaikuttavat tekijät	17
6	Lämpöenergian varastointi kaukolämpöverkossa	17
6.1	Kaukolämpöverkko	17
6.1.1	Lämpöenergian varastointi kaukolämpöverkkoon	19

6.1.2	Kaukolämpöverkkoon varastoinnin vaikutukset	19
6.2	Kaukolämpöakku	19
6.3	Meno- ja paluuputki	22
6.4	Kaukolämpökeskus	24
7	Tarjous ja laskentamenetelmä	24
7.1	Tarjous	24
7.2	Takaisinmaksuaika	26
8	Tulokset ja vertailu	27
8.1	Investointikustannukset	27
8.2	Takaisinmaksuaika	27
8.3	Lämmitysjärjestelmien vertailu ja yhdenmukaisuus	28
9	Yhteenveto ja tulevaisuuden visio	28
	Lähteet	30

Lyhenteet

CHP-laitos	Combined Heat and Power. Lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos.
COP	Coefficient Of Performance. Lämpöarvo.
MarBio1	Martinlaakson voimalaitoksen biokattilayksikkö.
Mar2	Martinlaakson voimalaitoksen hiilikattilayksikkö.
Mar4	Martinlaakson voimalaitoksen kaasuturbiiniyksikkö.
mbar	Millibaari. Paineen yksikkö.
MW	Megawatti. Tehon yksikkö.
MWh	Megawattitunti. Energian yksikkö.
TWh	Terawattitunti. Energian yksikkö.
UVLP	Ulkoilma-vesilämpöpumppu.
VE	Vantaan Energia Oy.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää ja vertailla erilaisia lämpöpumppuratkaisuja ja niiden soveltuvuutta kaukolämmössä Martinlaakson voimalaitoksen alueelle. Insinööriyö tehdään yhteistyössä Vantaan Energia Oy:n kanssa. Lisäksi työssä selvitetään, mikä olisi kaukolämpöverkossa tehokkain kohta, mihin teho sijoitettaisiin.

Insinööriyön tavoitteena on löytää sopivin lämpöpumppuratkaisu Martinlaakson voimalaitokselle selvitysten ja vertailujen pohjalta. Työ sisältää selvitystä kohdistuen maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppuihin. Tarkoitus on myös perehtyä pumppujen tehoihin, kustannuksiin ja takaisinmaksuaikoihin. Työssä pohditaan tehon sijoitusta kaukolämpöverkossa. Vaihtoehtoisia tutkittavia kohtia, mihin tehon voisi laittaa, ovat kaukolämpöverkon meno- ja paluuputki sekä kaukolämpöakku.

Erilaiset lämpöpumppuratkaisut ovat jo nyt suosittuja, ja niiden suosio tulee yhä kasvamaan kysyntäjoustotarpeen noustessa tulevaisuudessa. Näiden pumppujen menekkiä lisää myös kasvava huoli globaalista ilmastonmuutoksesta. Lämpöpumpun hankinta on huomattava ympäristöteko. Vantaan Energia Oy pyrkii hiilidioksidivapaaseen energiantuotantoon.

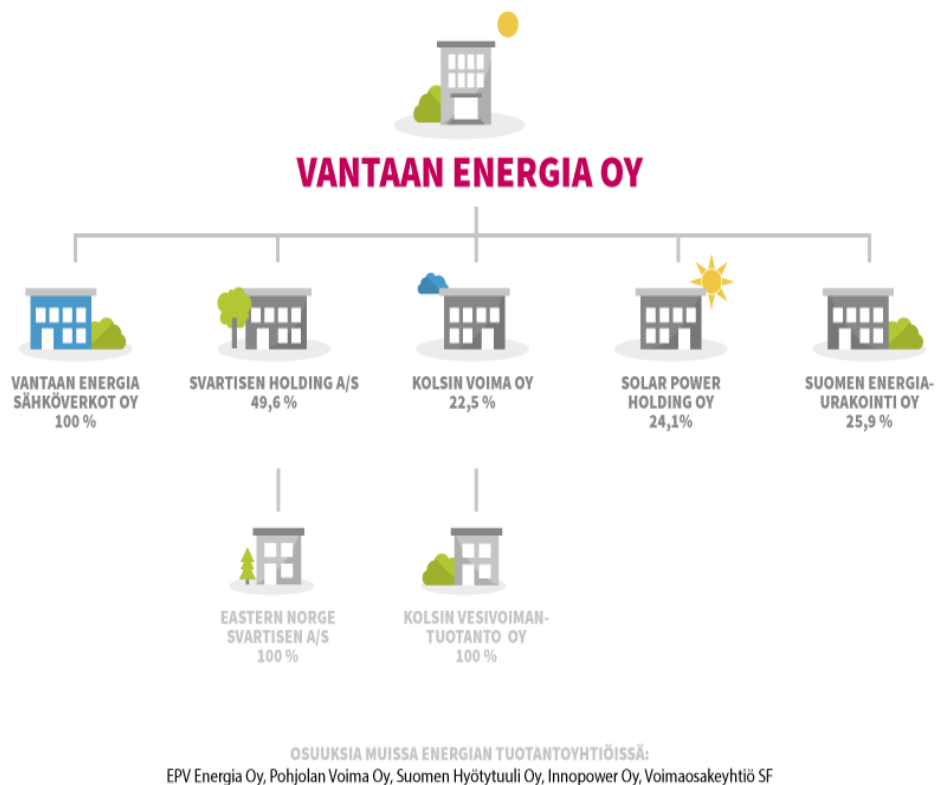
2 Vantaan Energia Oy

Vantaan Energia on yksi suurimmista kaupunkienergiayhtiöistä Suomessa. Yritys myy ja tuottaa kaukolämpöä ja sähköä. Lisäksi VE tarjoaa maakaasua teollisuudelle. VE:stä omistaa 60 % Vantaan kaupunki ja 40 % Helsingin kaupunki. VE on kasvava kiertotalousenergiayhtiö, joka pyrkii löytämään ja kehittämään entistä ympäristöystävällisempiä energiaratkaisuja. [1; 2.]

Yrityksen paikallinen kaukolämmön- ja sähköntuotanto toteutuu Långmossebergenin jätevoimalaitoksella ja Martinlaakson voimalaitoksella. Tuotanto tapahtuu sähkön ja lämmön yhteistuotantona. Jätevoimala hyödyntää polttoaineina sekajätettä ja maakaasua.

Huippuluokan jätevoimala polttaa jätettä 374 000 tonnia vuodessa. Martinlaakson voimalaitos käyttää polttoaineina kivihiiltä ja maakaasua. Biopolttoaineella toimiva biovoimala otettiin tuotantokäyttöön Martinlaaksossa vuoden 2019 alussa. [2; 3.]

Koko konserniin kuuluu emoyhtiö VE, tytäryhtiö Vantaan Energia Sähköverkot Oy ja osakkuusyhtiöt. Vantaan Energian Sähköverkot Oy huolehtii Vantaan sähköverkkotoiminnasta. Osakkuusyhtiöitä olivat vuonna 2016 Kolsin Voima Oy (22,5 %), Suomen Energia-Urakointi Oy (25,9 %) ja Svartisen Holding A/S (49,6 %). Lisäksi VE:lla on osuuksia seuraavissa energiayhtiöissä: Pohjolan Voima Oy, Suomen Hyötytuuli Oy, Innopower Oy, EPV Energia Oy ja Voimaosakeyhtiö SF. Kuvassa 1 näkyy koko VE:n konsernin osakkuusyhtiöt. [2.]



Kuva 1. Vantaan Energia Oy:n konsernin rakenne [2.]

2.1 Martinlaakson voimalaitos

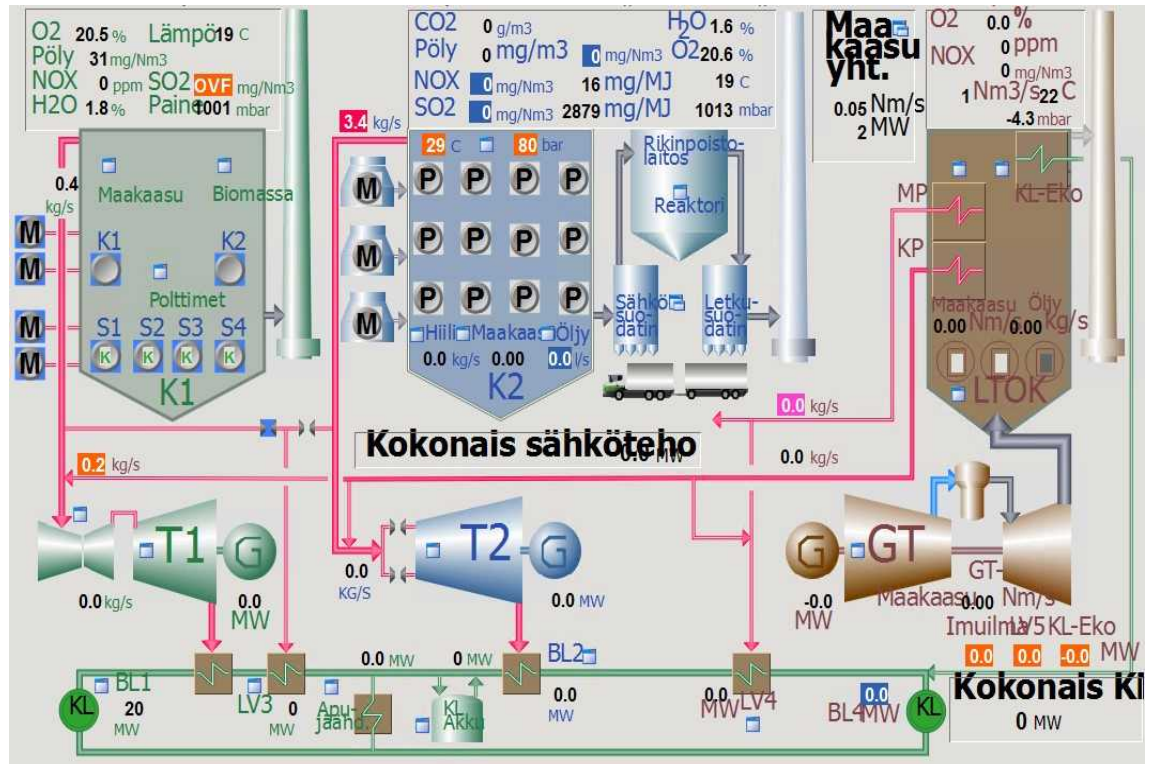
Martinlaakson voimalaitoksessa poltetaan kivihiiltä, maakaasua ja biomassaa. Laitos on toiminut käytössä vuodesta 1975 lähtien. Se muodostuu kolmesta yksiköstä, jotka ovat

biokattilayksikkö (MarBio1), hiilikattilayksikkö (Mar2) ja kaasuturbiiniyksikkö (Mar4). Voimalaitoksen öljy- ja maakaasukäyttöinen voimalaitos on muutettu biovoimalaksi. Biovoimalassa poltetaan kestävä biomassaa eli puuhaketta, kuten sahanpurua, kierrätyspuuta, vaneriteollisuuden hukkapaloja ja rankahaketta. Biokattilan yhteydessä on lämmön talteenotolla varustettu savukaasupesuri. Savukaasupesuri on kaksivaiheinen ja sillä voidaan tuottaa kaukolämpöä hieman yli 20 MW:n teholla. [4]. Voimalaitoksen yhteenlaskettu lämpöteho on noin 330 MW ja sähköteho 195 MW. Kuvassa 2 näkyy Martinlaakson voimalaitos.



Kuva 2. Martinlaakson voimalaitos [5.]

Kuvassa 3 on Martinlaakson voimalaitoksen yleisnäyttö. Kuvasta nähdään voimalaitoksen erilaisia komponentteja. MarBio1-yksikkö on merkitty vihreällä värillä vasemmalla, sinisellä värillä näkyy hiilikattila ja rikinpoistolaitos ja ruskealla värillä on huomioitu lämmöntalteenottokattila ja kaasuturbiini. Kaukolämpöakku on merkitty prosessikuvan ala-reunaan.



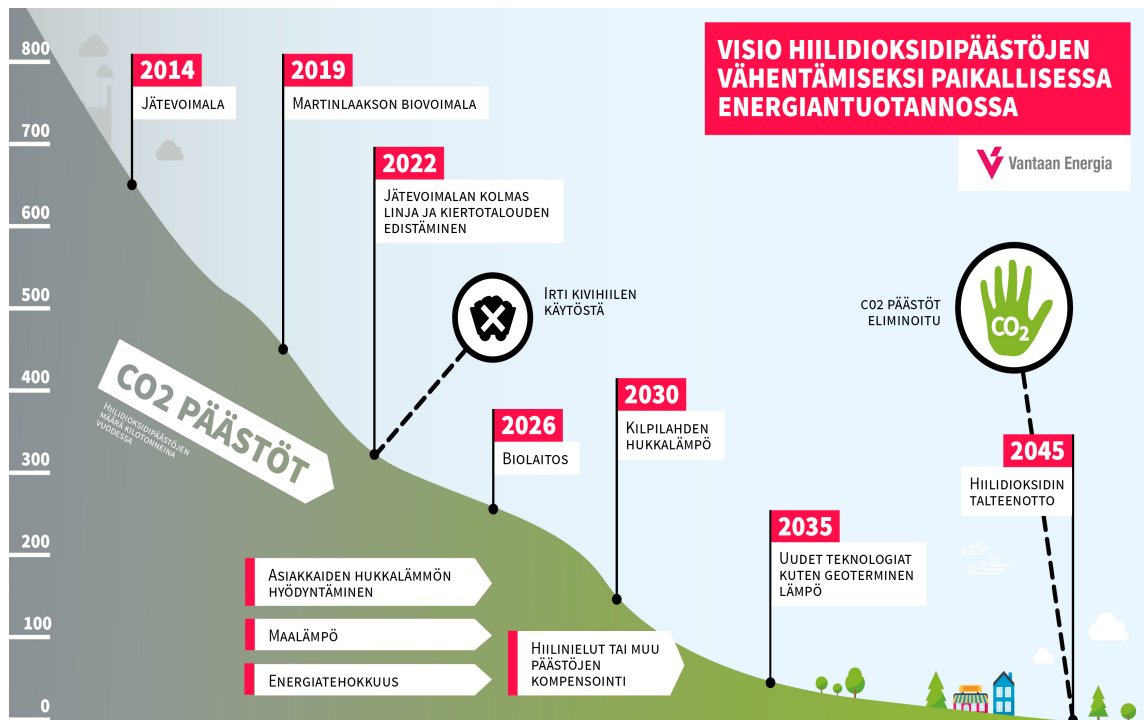
Kuva 3. Martinlaakson voimalaitoksen yleisnäyttö [6.]

2.2 Käänteentekevä energiayhtiö

VE on suomalaisen energiamurroksen visionääri. Hiilineutraalilta energiayhtiöltä vaaditaan paljon tutkimustyötä ja uusia investointeja, joilla luodaan hyvät keinot tuottaa energiaa kestävästi ja innovatiivisesti. VE on ensimmäinen pääkaupunkiseudun energiayhtiö, joka on irtautumassa kivihiielen käytöstä [8]. Kivihiihi korvataan pääasiassa lisäämällä hyötykäyttöön kelpaamattoman jätteen, aurinko- ja tuulienergian sekä maalämmön osuutta tuotannossa. VE on pudottanut hiilidioksidipäästöt ja uusiutumattomien polttoaineiden käytön jo nyt alle puoleen vuodesta 2010. [7.]

Kuvassa 4 on esitetty VE:n tavoitteet tiettyjen vuosien mukaan. Vasemmassa reunassa näkyy hiilidioksidipäästöjen määrät kilotonneina vuoden aikana. Jätevoimala valmistui

vuonna 2014, ja Martinlaakson biovoimala otettiin käyttöön vuoden 2019 alussa. VE lupaa kunnianhimoisesti luopua kivihilestä jo vuonna 2022. Tavoitteena on eliminoida hiilidioksidipäästöt vuoteen 2045 mennessä.



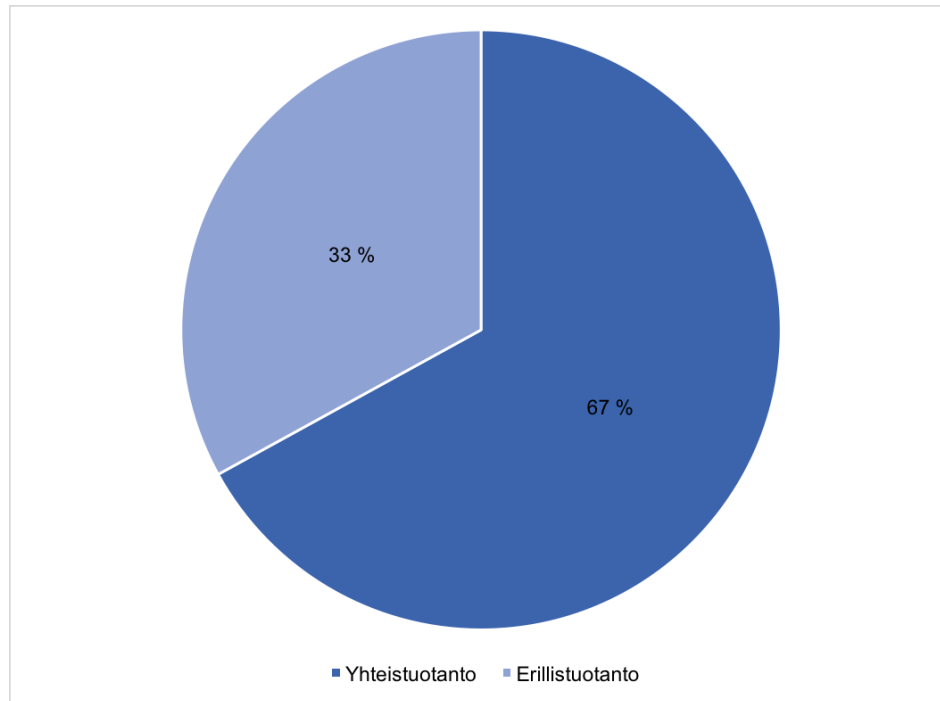
Kuva 4. Vantaan Energian suunnitelma hiilidioksidipäästöjen minimoimiseksi energiantuotannossa [7.]

3 Kaukolämpö

Kaukolämpöä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa tai erillistuotantona lämpölaitoksissa. Sitä hyödynnetään käyttöveden ja rakennusten lämmitykseen. Kaukolämpöasiakkaita ovat asuintalot, julkiset rakennukset sekä liike- ja teollisuusrakennukset. Suomen käytetyin rakennusten lämmitysmuoto on kaukolämpö. [9, s. 25.]

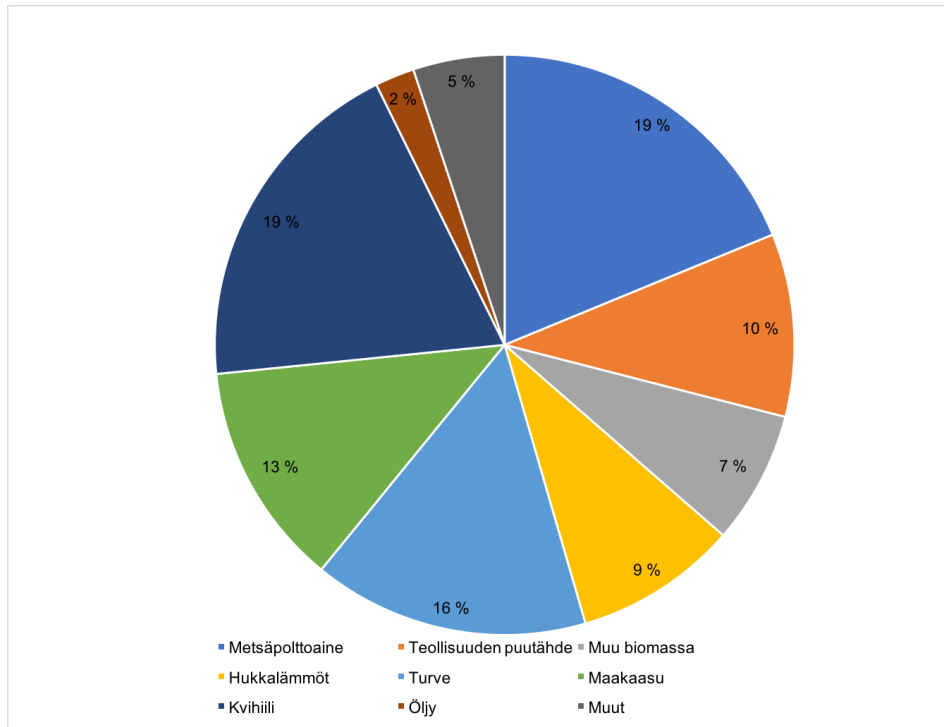
Kaukolämmityksen positiivisia vaikutuksia ovat käyttövarmuus, energiatehokkuus, helpokäyttöisyys ja ympäristöystävällisyys. Kaukolämmön toimitusvarmuus on noin 100 %. Kaukolämpöasiakas on ilman lämmön toimitusta keskimäärin vajaa kaksi tuntia vuoden aikana. Lämmön toimitusta voi hidastaa siirtohäviöt, laajat vuodenaikojen vaihtelut ja investoinnit. [9, s. 25.]

Suomi luetellaan maailmanlaajuisesti yhdeksi sähkön ja lämmön yhteistuotannon johtavaksi maaksi. Kuvasta 5 näkee, että kaukolämmöstä tuotetaan 67 % sähkön ja lämmön yhteistuotannolla sekä 33 % erillistuotannolla. Yhteistuotanto on merkittävä keino hillitä kasvihuonekaasujen muodostumista. [10.]



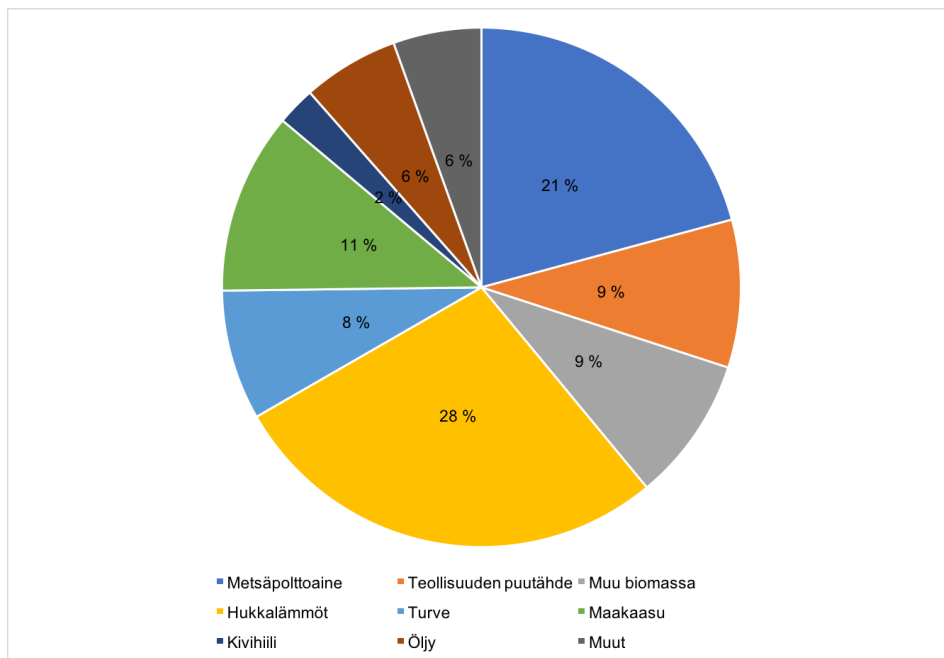
Kuva 5. Kaukolämmön tuotanto vuonna 2018 [10.]

Yhteistuotantolaitoksilla käytetään polttoaineena enimmäkseen kivihiiltä, puuta, turvetta ja maakaasua (kuva 6). Kuvasta 6 näkyy, että kivihiilen ja puun osuus käytetyistä polttoaineista on suurin. Niiden molempien osuus on 19 %. Seuraavaksi käytetyin polttoaine on turve, jonka osuus on 16 %. Vähiten käytetty polttoaine on öljy. Öljyn osuus on vain 2 %.



Kuva 6. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon hyödynnetyt polttoaineet vuonna 2018 [10.]

Erillistuotantolaitoksilla pääpolttoaineita ovat turve, puu, maakaasu ja hukkalämpö (kuva 7). Näistä suurin osuus on hukkalämmöllä (28 %). Puuta käytetään toiseksi eniten. Sen osuus käytetyistä polttoaineista on 21 %. Kivihiilen käyttö on vähäisintä (2 %).



Kuva 7. Kaukolämmön erillistuotantoon hyödynnetyt polttoaineet vuonna 2018 [10.]

3.1 Kaukolämmön tuotanto tällä hetkellä

Kaukolämpöä tuotetaan monilla eri tavoilla ja energialähteillä, joko pelkkänä lämpönä tai yhdessä sähkön kanssa. Kaukolämpö muodostuu enimmäkseen kivihiiltä, maakaasua, turvetta ja puuta polttoaineina käytävissä yhteistuotantolaitoksissa. Kaukolämmöstä tuotetaan kotimaisilla uusiutuvilla energialähteillä yli kolmannes vuonna 2019. Niiden osuus on jatkuvassa kasvussa. [11.]

Kivihiilen käytöstä on luovuttava Suomessa viimeistään vuonna 2029 [7]. Uusiutuvat energialähteet, lämpövarastot ja lämpöpumput huolehtivat päästöttömästä energiantuotannosta. Hukkalämpö hyödynnetään kaksisuuntaisen ja avoimen kaukolämpöverkon avulla. [11.]

3.2 Kaukolämpö Suomessa

Tilastojen mukaan 90 % kerrostaloista lämmitetään kaukolämmöllä. Teollisuusrakennuksissa vastaava luku on 30 % ja omakotitaloissa noin 10 %. Omakotitaloja rakennetaan paljon alueille, joissa ei ole kaukolämpöverkkoa. Huomattava määrä kaupunkien ja taaajaan asuttujen kuntien rakennuskannasta on liitetty kaukolämpöön. Vuonna 2010 kaukolämmön markkinaosuus oli 45 %, ja sen uskotaan kasvavan lähes 15 % vuoteen 2025 mennessä. [12, s. 3.]

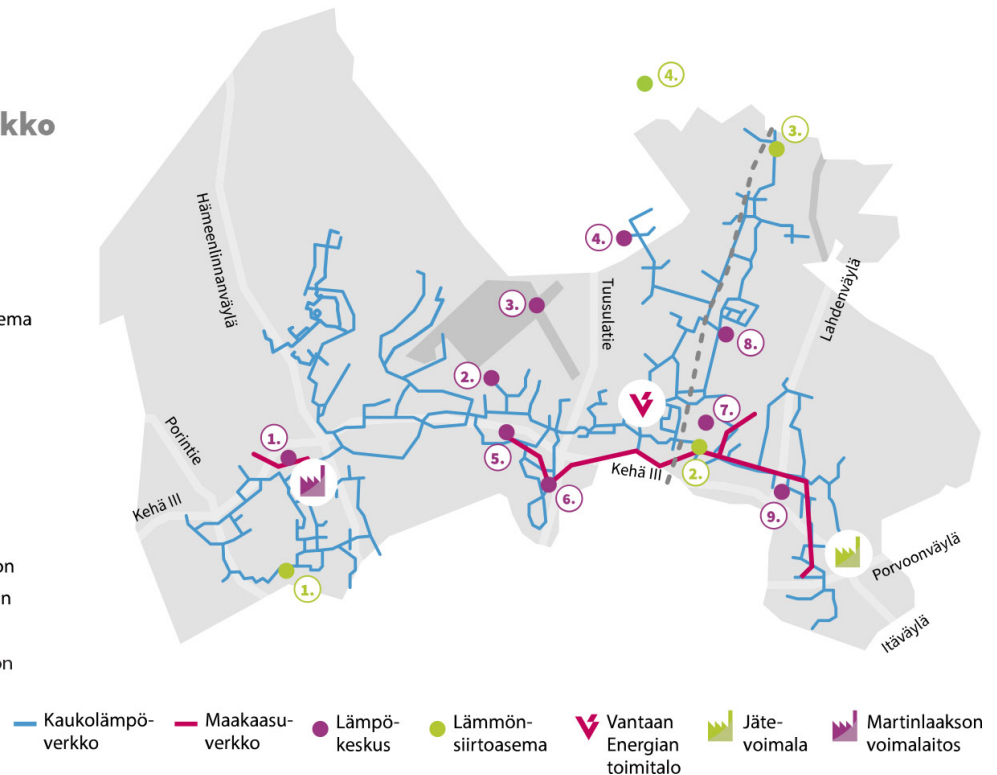
Vuonna 2017 kaukolämmön tuotto oli hieman yli 38 TWh. Uusiutuvia energialähteitä hyödynnettiin kaukolämmössä silloin 6 % enemmän kuin sitä edeltävänä vuonna. Fossiilisten polttoaineiden käyttö puolestaan väheni 8 %. Vuoden 2017 teollisuuslämmön tuotanto oli lähes 54 TWh. Uusiutuvia polttoaineita käytettiin teollisuuslämmön tuotannossa 75 %. [13.]

3.3 Kaukolämpö Vantaalla

Vantaan alueella tuotetusta kaukolämmöstä 96 % on muodostunut yhteistuotannosta vuonna 2015. VE on toimittanut kaukolämpöä vantaalaisille jo yli 40 vuotta. Vuonna 2015 Vantaalla oli kaukolämpöjohtoa lähes 550 km, kun taas tällä hetkellä luku on noin 600 km. Kuvassa 8 on merkitty VE:n kaukolämpö- ja maakaasuverkko, lämpökeskukset, lämmönsiirtoasemat, toimitalo, jätevoimala ja Martinlaakson voimalaitos. [14, s. 12.]

Vantaan kaukolämpöverkko

- 1. Varisto
 - 2. Lentokenttä
 - 3. Helsinki-Vantaan lentoasema
 - 4. Jussla
 - 5. HK
 - 6. Vaasan
 - 7. Maarinkunnas
 - 8. Koivukylä
 - 9. Hakunila
-
- 1. Yhteys Helsingin verkkoon
 - 2. Yhteys Helsingin verkkoon
 - 3. Yhteys Keravan verkkoon
 - 4. Yhteys Tuusulan verkkoon



Kuva 8. Vantaan kaukolämpöverkko [14, s. 12.]

Kaukolämpöverkon häviöt olivat 10,6 % vuonna 2015. Tämä on korkea arvo Vantaan kokoluokan verkolle siitä huolimatta, että verkkoa seurataan ja huolletaan jatkuvasti. Kaukolämpöverkon tilavuus on noin 37 400 m³. Vuonna 2015 uusia kaukolämpöliittymiä tehtiin 74 kappaletta. Vuonna 2016 liittymien nettolisäys oli 75. Lämmöntarve on kasvussa, mutta sen on ennustettu tasaantuvan 2020-luvulla ja pienentyvän 2030-luvulla. [14, s. 12–13.]

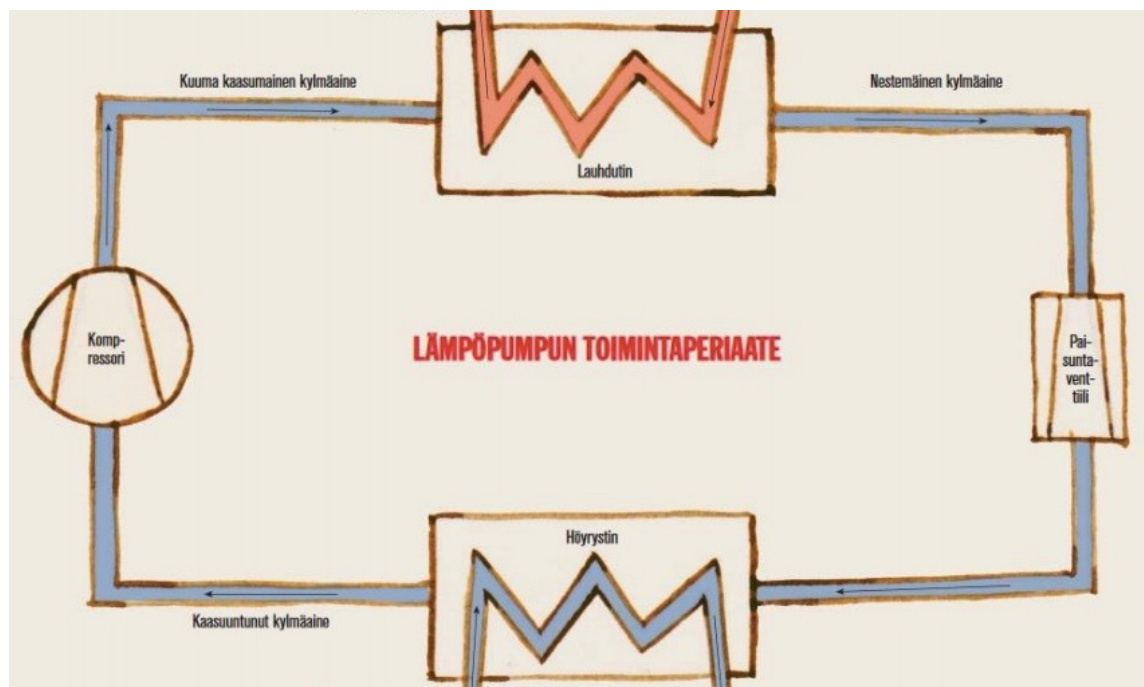
4 Lämpöpumput

4.1 Lämpöpumppujen toiminta

Kylmätekniiikan tehtävä on ylläpitää ympäristöstä poikkeavia lämpötiloja. Kylmätekniiikan osaamiseksi pitää tuntea aiheeseen pohjautuva fysikaalinen perusta eli termodynamiikka. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energia ei häviä, mutta se voi muuttaa muotoaan. Toinen pääsääntö on, että lämpö siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan. [15, s. 10.]

Kun esimerkiksi pakastinta viilennetään, sieltä kerätään pois lämpöä. Koska lämpö siirretään pakkasen sisällä olevaa lämpötilaa korkeampaan huonelämpötilaan, siirtämiseen tarvitaan kylmäkompressorista peräisin olevaa energiaa. [15, s. 10.] Lämpöpumppu toimii samalla periaatteella keräämällä lämpöä viileästä ulkotilasta ja siirtämällä sitä sisätiloihin [16, s. 28].

Kuvassa 9 on esitetty lämpöpumpun toiminta. Saatu lämpö höyrystää pumpussa kulkevan kylmäaineen. Nestemäisen kylmäaineen muuttuessa höyryksi siihen sitoutuu lämpöenergiaa. Kompressorin tehtävä on nostaa väliaineen lämpötila niin korkeaksi, että lämpö voi toisen pääsäännön mukaan siirtyä lämpimämmästä kappaleesta viileämpään. Kuuma korkeapaineinen kylmäainehöyry viedään lauhduttimeen. Kylmäainehöyry jäähtyy lämmitysverkostossa ja se muuttuu takaisin nesteeksi. Siten muodostuu lämpöä, joka viedään lämmitysverkostoon. Jäähdyntynyt kylmäaine menee paineenalennusventtiiliin läpi ennen sen paluuta höyrystimeen. Paineenalennusventtiili laskee kylmäaineen lämpötilaa ja painetta. [15, s. 10–11; 17, s. 4.]



Kuva 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate [18, s. 8.]

4.1.1 Lämpökerroin

Lämpökertoimesta käytetään kansainvälistä termiä COP, joka tulee sanoista Coefficient Of Performance. COP kertoo, kuinka paljon lämpöä lämpöpumppu voi tuottaa suhteessa sähköön, jota tarvitaan energian hyödyntämiseksi. Esimerkiksi COP-arvon ollessa 3,0 se kertoo saadun lämmitystehon olevan kolminkertainen sähköverkosta otettuun tehoon verrattuna. Lämpöpumpulla saadaan sitä parempi lämpökerroin, mitä pienempi on höyrystymis- ja lauhtumislämmön erotus. Lämpökerroin paranee, mitä alhaisemmassa lämpötilassa lämpöpumppu luovuttaa lämmön. [15, s. 14–15.]

4.1.2 Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, joita hyödynnetään väliaineina lämmön siirtämiseen kylmälaitteissa. Kylmäaineiden käyttö perustuu niiden kykyyn muuttaa olomuotoa kaasusta nesteeksi tai nesteestä kaasuksi. Lämpötila ja paine vaikuttavat kylmäaineen ominaisuuksiin. [19, s. 2.]

Kylmäaineet ovat yleensä hiilivetyjä, joiden vetyatomeja on korvattu halogeenimolekyyleillä. Halogeenivedyt jaetaan ryhmiin, joita ovat CFC-, HCFC-, HFC-, PFC- ja HFO-kylmäaineet. Näiden lisäksi on kylmäaineiden ryhmä, jotka eivät sisällä halogeenimolekyylejä. Nämä ovat luonnonmukaisia kylmäaineita. Ne jaetaan kahteen ryhmään: HC-kylmäaineet ja epäorgaaniset kylmäaineet. [19, s. 2.]

Nykyään lämpöpumpuissa ja kylmälaitteissa hyödynnetään HFC-yhdisteitä eli fluorihiihivetyjä. Freonien eli CFC-yhdisteiden käyttö on nykyään kielletty, sillä ne aiheuttavat ilmakehän otsonikatoa. Käytössä olevat fluorihiihivedyt ovat palamattomia, biologisesti hajoavia ja myrkyttömiä. Ne ovat kasvihuonekaasuja, mutta eivät aiheuta otsonikatoa. Lämpöpumpun huolto tai käytöstä poisto ei saa aiheuttaa kylmäaineen joutumista ympäristöön. [20, s. 14.]

4.2 Maalämpöpumppu

Maalämmön suosio lämmitysmuotona perustuu sen energiatehokkuuteen, edulliseen viilentämiseen ja ekologisuuteen. Maalämpöpumppu taltioi lämpöä maaperästä, vedestä tai kalliosta. Lämpökaivon syvissä kohdissa lämpöä saadaan kallioon johtuvasta fissioenergiasta ja lämpöisistä pohjavesivirtauksista. Ainakin 95 % maalämpöpumpuista ottaa

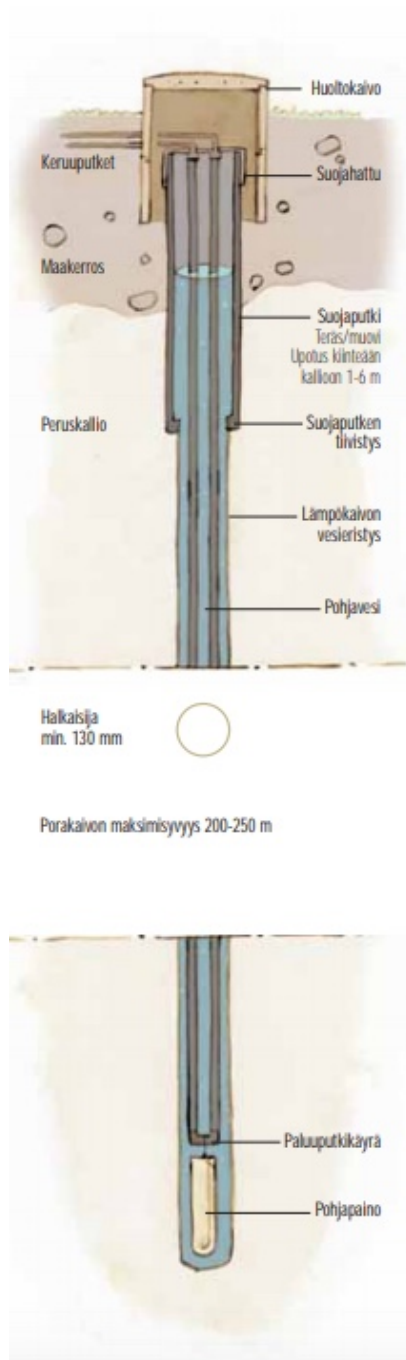
energiansa poratusta kaivosta. Pienten tonttien koko tuo tietyt rajoitukset lämmitysmuotoa harkitsevalle. [21; 22, s. 2.]

4.2.1 Lämmönlähteenä lämpökaivo

Suurin osa maalämpökohteista toteutetaan lämpökaivoilla. Pohjois-Suomessa niiden käyttö on vähäisempää kuin Etelä-Suomessa. Löyhään maaperään poraaminen on kalliimpaa kuin kallioon poraaminen, koska poratessa maahan on porattavaan reikään laitettava suojaputki. Suojaputki pitää reiän avoinna ja estää pohja- ja pintavesien sekoittumisen. [20, s. 4; 21.]

Porakaivo johon putkisto asennetaan, on ulkohalkaisijaltaan 115–165 mm. Putkistossa kiertää lämmönkeruuliuos. Kaivo on maksimissaan 200–250 metriä syvä. Yhden kaivon sijaan voidaan tarvittaessa porata useita kaivoja riittävän lämmön saamiseksi. Porakaivo tuottaa lämpöä noin 100 kWh/kaivometri. Kaivot tulee sijoittaa vähintään 15–20 metrin etäisyydelle toisistaan. Maalämpöjärjestelmä voidaan usein toteuttaa ahtaallekin tontille. [20, s. 4; 21; 23, s. 6.]

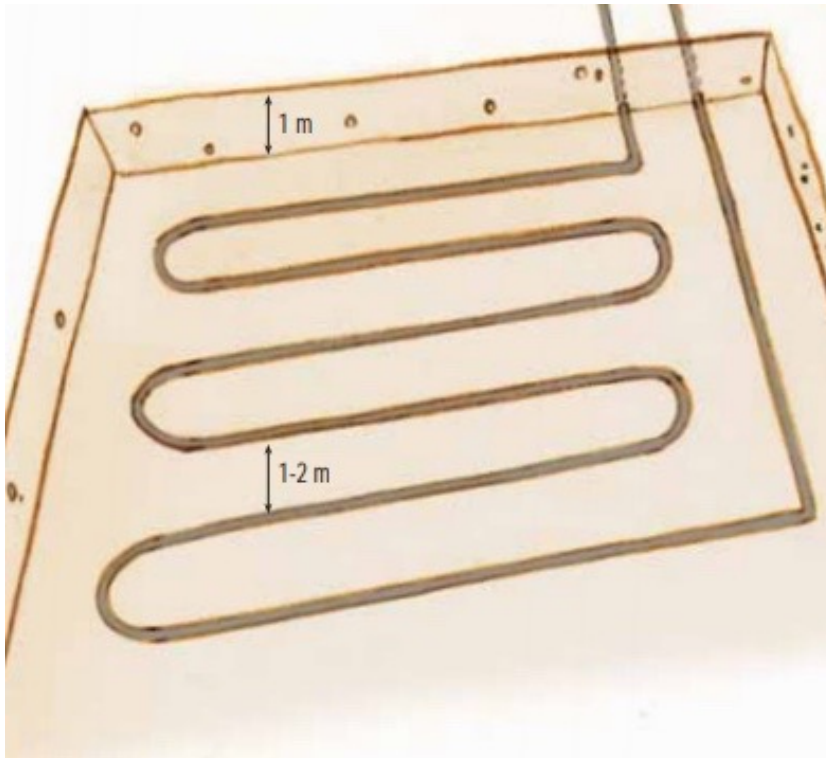
Kuvassa 10 on havainnekuva lämpökaivosta, jossa on esitetty keruuputket eli meno- ja paluuputket. Kuvassa on eritelty maakerros ja peruskallio. Suojaputken materiaali on terästä tai muovia.



Kuva 10. Havainnekuva lämpökaivosta [20, s. 4.]

4.2.2 Lämmönkeruupiirinä vaakaputkisto

Noin kolmasosa maalämpökohteista hyväksikäyttää maaperän pintaan varastoitunutta auringosta peräisin olevaa lämpöenergiaa. Maahan sijoitettavalla vaakasuuntaisella lämmönkeruuputkistolla otetaan talteen lämpöenergiaa. Tontin tulee olla tarpeeksi suuri vaakaputkistoa varten. Putkisto asennetaan noin metrin syvyydelle (kuva 11). Vaaka-etäisyyden on oltava ainakin 1,5 metriä viereiseen putkilenkkiin. Putkiston asennusta kannattaa välttää pihateiden ja kulkureittien alle roudan takia. Myöskään kivinen maaperä ei ole hyvä vaakaputkistolle, koska roudan liikuttamat kivet voivat vahingoittaa putkistoa. Hiekkamaa on maalajeista haastavin ja savimaa tehokkain. Putkisto tuottaa lämpöenergiaa Etelä-Suomessa noin 30–60 kWh/putkimetri. Saatavan lämpöenergian määrä riippuu maaperästä. [20, s. 4; 23, s. 8; 24.]



Kuva 11. Pintamaan vaakaputkisto [20, s. 5.]

4.2.3 Lämmönkeruupiiri vesistössä

Lämmönkeruuputket voi asentaa vesistön pohjaan rantatontilla. Vesistön tulee olla riittävän syvä, jotta se toimii hyvänä lämmönlähteenä. Keruuputket ankkuroidaan pohjaan 3–5 metrin välein painoja apuna käyttäen, ettei putkien pintaan muodostuva jää nosta niitä

pinnalle. Vesistön putkituksesta saadaan suurempia energiamääriä ja tehoja kuin vastaavasta maaputkituksesta veden maaperän lämmönsiirto-ominaisuuksien johdosta. [16, s. 59; 25.]

4.2.4 Huolto ja käyttöikä

Maalämpöpumppu on helppo ylläpidettävä, ja se tarvitsee vain vähän huoltoa. Kompressorin on huomattavin kuluva osa pumpussa. Sen elinikä on yleensä noin 15–20 vuotta. Kompressorin rikkoutuessa ei tarvitse vaihtaa koko lämpöpumppua. Tällöin vanhan kompressorin tilalle asennetaan uusi kompressorin. [20, s. 10.]

4.3 Ilma-vesilämpöpumppu

Ulkoilma-vesilämpöpumppu (ULVP) tai yleisemmin käytetty nimitys ilma-vesilämpöpumppu kasvattaa suosiotaan nopeasti. Sen myynti nousee noin 30–60 %:n vuosivauhtia. Suosion takana piilee alan teknologian kehitys, suuri energiansäästöpotentialiaali, ekologisuus, monikäyttöinen laitteisto, investoinnin houkuttelevuus ja laitteiston tuotekehitys. [22, s. 5.]

Ilma-vesilämpöpumppu saa lämpöenergiaa ulkoilmasta. UVLP asennetaan usein paikkoihin, joihin ei sovi asentaa maalämpöjärjestelmää. UVLP on kannattava ratkaisu silloin, kun maalämmön vaatiman lämpökaivon ja vaakaputkiston asennus ei kannata. Investointi on usein edullisempi kuin maalämmön. [26.]

Kylminä aikoina pakkasen ollessa -20 °C tai enemmän lämpöpumpun antoteho ja lämpökerroin huononevat huomattavasti. Kovilla pakkasilla lämpöpumppu voi sammuttaa itse itsensä. UVLP antaa noin 50 % vähemmän tehoa -20 °C :n säällä, kuin $+6\text{ °C}$:n lämpötilassa. [26.]

Suosittu markkinoilla oleva ilma-vesilämpöpumppu on malliltaan inverter, jossa laitteen tuottamaa lämmitystehoa ohjataan säätämällä kompressorin kierroslukua. Lämpöpumppu tuottaa täsmällisen määrän lämpöenergiaa kohteeseen kierroslukuohjauksen avulla. Tasavirtaohjaus pidentää kompressorin käyttöikää, tehostaa hyötysuhdetta ja minimoi sähkövirran kulutushuippua. [26.]

4.3.1 Ilma-vesilämpöpumpputyypit

Ilma-vesilämpöpumpputyypit jaetaan split- ja monoblock-laitteisiin. Split-laitteissa lämpöpumpun kylmäkoneisto koostuu kahdesta osasta. Osat ovat ulko- ja sisäyksikkö, joiden välillä kulkee kylmäaine. Monoblock-laitteissa tekniikka on ainoastaan ulkoyksikössä. Ulkoyksikön ja sisällä olevan varaajan välissä kiertää vain vesi. Tämä laitetyyppi voidaan kytkeä suoraan jo olevaan lämmitysjärjestelmään. Markkinoilla on lisäksi myös saatavilla sisälle asennettava ilma-vesilämpöpumppu. [26.]

4.3.2 Huolto ja käyttöikä

Ilma-vesilämpöpumpun etu on se, että se tarvitsee vain vähän huoltoa ja hoitoa. Oikein asennettuna sen olemassaoloa tuskin huomaa. Talvisin on hyvä tarkkailla lumen ja jään muodostumista lämpöpumpun ulkoyksikköön. Pumpun kompressorin joutuu uusimaan noin 10–15 vuoden välein, vaikka itse pumpun käyttöikä on noin 20 vuotta. [27.]

5 Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä

5.1 Pumppujen hyödyt

Suurilla lämpöpumpuilla on paljon hyötyjä kaukolämpöjärjestelmässä. Yksi merkittävimmistä hyödyistä on se, että lämpöpumput lisäävät järjestelmän joustavuutta. Tämä nostaa järjestelmän kannattavuutta ja mahdollistaa nopean käynnistymisen. Toinen tärkeä hyöty on se, että ne monipuolistavat tuotantorakennetta ja suojaavat riskeiltä. Tämä laajentaa lämmöntuotantorakennetta, suojaa polttoaineiden hintojen muutoksilta ja parantaa kaukolämmöntuotannon imagoa. Kolmas suuri hyöty on se, että mahdollistetaan ylijäämälämmönlähteiden hyödyntäminen. Neljäs, suurten lämpöpumppujen hyöty on kasvattaa uusiutuvaa lämmöntuotantoa. Se ei tuota paikallisia päästöjä. [28, s. 23.]

5.2 Pumppujen toteutuksen rajoitteet

Suurten lämpöpumppujen toteutuksiin liittyy rajoitteita ja riskejä. Rajoitteita ovat esimerkiksi sähköverkon riittävyys, tilanpuute, kaukolämmön menoveden lämpötilavaatimuk-

set, muun lämmöntuotannon takia vähäisiksi jäävät ajotunnit ja epävarmuus sähkön hinnan kehityksestä. Lämpöpumppuinvestointiin liittyy riskejä, kuten lämmönlähteen pysyvyys ja lämmöstä maksettavan hinnan kehitys. [28, s. 26.]

5.3 Pumppujen menestykseen vaikuttavat tekijät

Suurten lämpöpumppujen suosion kasvuun vaikuttavia tekijöitä osana kaukolämpöjärjestelmää ovat esimerkiksi

- sähkön matala hinta
- viranomaisvaatimukset energiantuotannon uusiutuvuudelle
- lämpöpumpputeknologian kehitys
- kaukojäähdytyksen kysynnän lisääntyminen
- lämpökuorman kehityksen epävarmuus
- polttoaineiden hintakehityksen epävarmuus
- suurten kaupunkien toimivat lämpöpumppuinvestoinnit. [28, s. 10.]

6 Lämpöenergian varastointi kaukolämpöverkossa

Lämmön varastoinnilla on positiivisia vaikutuksia kuten energiantuotantokustannusten aleneminen ja ekologisten sekä energiatehokkaiden CHP-laitosten käytön lisääntyminen. Muita hyötyjä lämmön varaamisella ovat primäärienergian käytön ja kaukolämmön kustannuksien väheneminen. Lämpöä voidaan ottaa talteen lämpöakkuihin eli säiliöihin, rakennuksiin ja kaukolämpöverkkoon. [29, s. 26.]

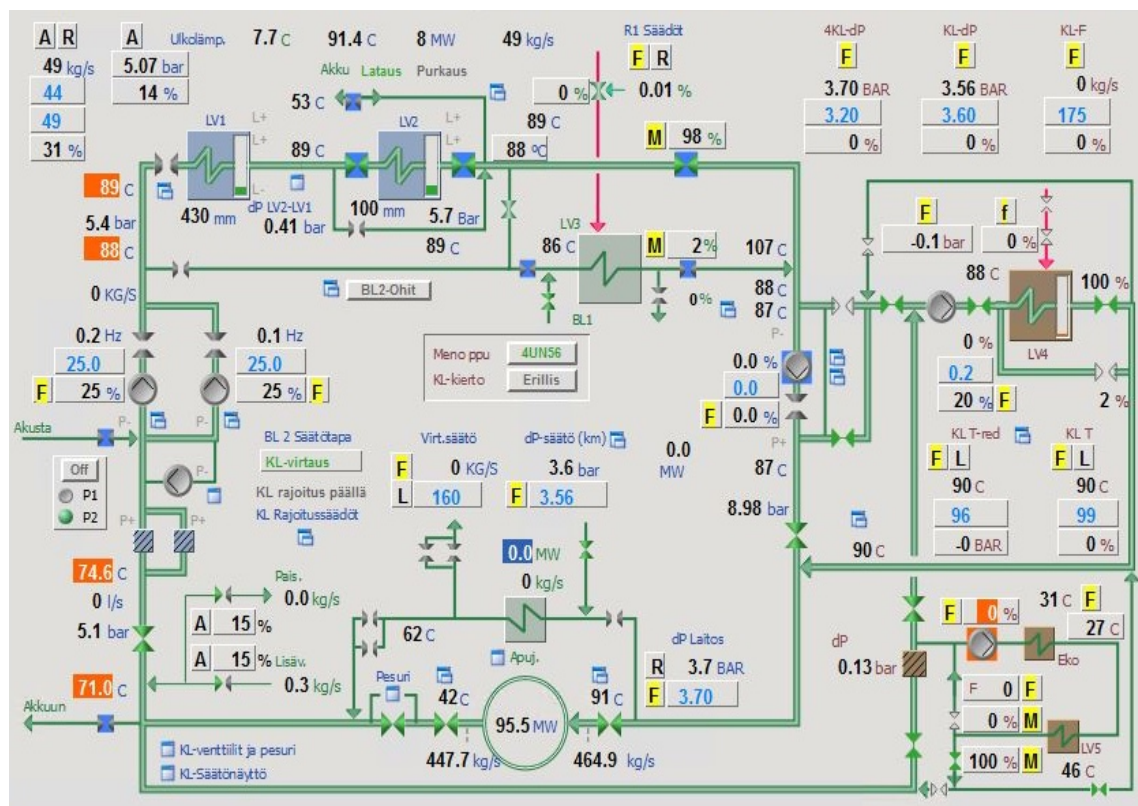
6.1 Kaukolämpöverkko

Kaukolämpö toimitetaan käyttäjille kaukolämpöputkissa kiertävän veden mukana. Kaukolämmön jakelujärjestelmät perustuvat yleensä kaksiputkijärjestelmään. Kaukolämpöverkon muodostavat putket koostuvat meno- ja paluuputkista. Meno- ja paluupuolen putket menevät samoja reittejä vierekkäin. Kaukolämmön menoputkia pitkin pumpataan lämmitetty vesi kuluttajalle. Tämän jälkeen kuluttajalla jäähtynyt vesi palautuu kaukolämpöverkon paluuputkea pitkin takaisin uudelleen käyttöä varten. [9, s. 43-44.]

Tuotantolaitoksilta menevän veden lämpötila säädetään pääasiassa ulkolämpötilan puitteissa. Menoveden lämpötilan nostamisella kulutushuippuja ennakoiden voidaan ennakoita vesivirtahuippuja. Laitosten tulee toimia samalla menolämpötilan säätökäyrällä, jotta vältetään johtorakenteiden rasitus. [9, s. 199.]

Tuotantolaitoksille palaavan veden lämpötila on riippuvainen asiakkaiden kaukolämpölaitteistojen kyvystä jäähdyttää. Paluuveden lämpötilaan vaikuttavat vain vähäisesti paluuputken lämpöhäviöt ja mahdollisesti verkon perällä sijaitsevat kierrätyslenkit. Kaukolämpöverkossa kulkeva vesivirta määräytyy asiakkaiden kaukolämpölaitteistojen mukaan. Täten lämmöntuotantolaitokset pystyvät vaikuttamaan vain verkon paine-eron ja menolämpötilan säätöön. Ne turvaavat kuitenkin asiakkaiden tehontarpeen ja verkon hyvän tehonsiirtokyvyn. [9, s. 199.]

Kuvassa 12 on esitetty Martinlaakson voimalaitoksen turbiinilaitoksen kaukolämpöverkko. Verkon teho on 95,5 MW, joka näkyy kuvan alalaidassa ympyrän sisällä. Alalaitaan on merkattu menoveden lämpötilan olevan 91 °C ja paluuveden 42 °C. Näiden tietojen vieressä on esitetty massavirrat 362,7 kg/s ja 335,4 kg/s.



Kuva 12. Martinlaakson voimalaitoksen kaukolämpöverkko [6.]

6.1.1 Lämpöenergian varastointi kaukolämpöverkkoon

Verkon akkumulointi eli ylijääneen lämmön varaaminen kaukolämpöverkkoon mahdollistaa kulutushuippujen tasauksen. Verkon suuri koko muodostaa suuren kapasiteetin lämmönvarastoinnille, sillä verkkoon on varastoitunut paljon lämpöenergiaa normaaliajossa-kin. Merkittävä tekijä on veden hidas virtaus kaukolämpöputkissa, mikä johtaa pitkään viipymäaikaan ja täten lämmön väliaikaiseen varastoitumiseen kaukolämpöverkkoon. [30, s. 31.]

6.1.2 Kaukolämpöverkkoon varastoinnin vaikutukset

Ylijääneen lämmön varastointi kaukolämpöverkkoon pitää sisällään sekä hyviä että huonoja vaikutuksia. Hyvänä puolena verkkoon varastoimisessa on kaukolämmön kulutushuippujen leikkaaminen. Tuotantoteho on minimaalisempi kuin kaukolämpöakulla, mutta sitä voidaan hyödyntää ilman ylimääräisiä investointikustannuksia. Lämmön varastoiminen kaukolämpöverkkoon ei tuota lisäkustannuksia, koska itse verkko on entuudestaan olemassa. Tähän ei huomioida ylimääräisiä rasituksia tai kasvavia häviöitä. [30, s. 32.]

Käytettäessä korkeita lämpötiloja verkko on suuressa rasituksessa. Ylimääräistä lämpöä tulee välttää, vaikka kaukolämpöverkko on tehty kestäväksi korkeita lämpötiloja. Ongelmana on myös vauhdikas lämpötilan muutos verkossa. Näiden vaikutuksista syntyy jännityksiä ja rikkoutumisia verkostossa. [30, s. 33.]

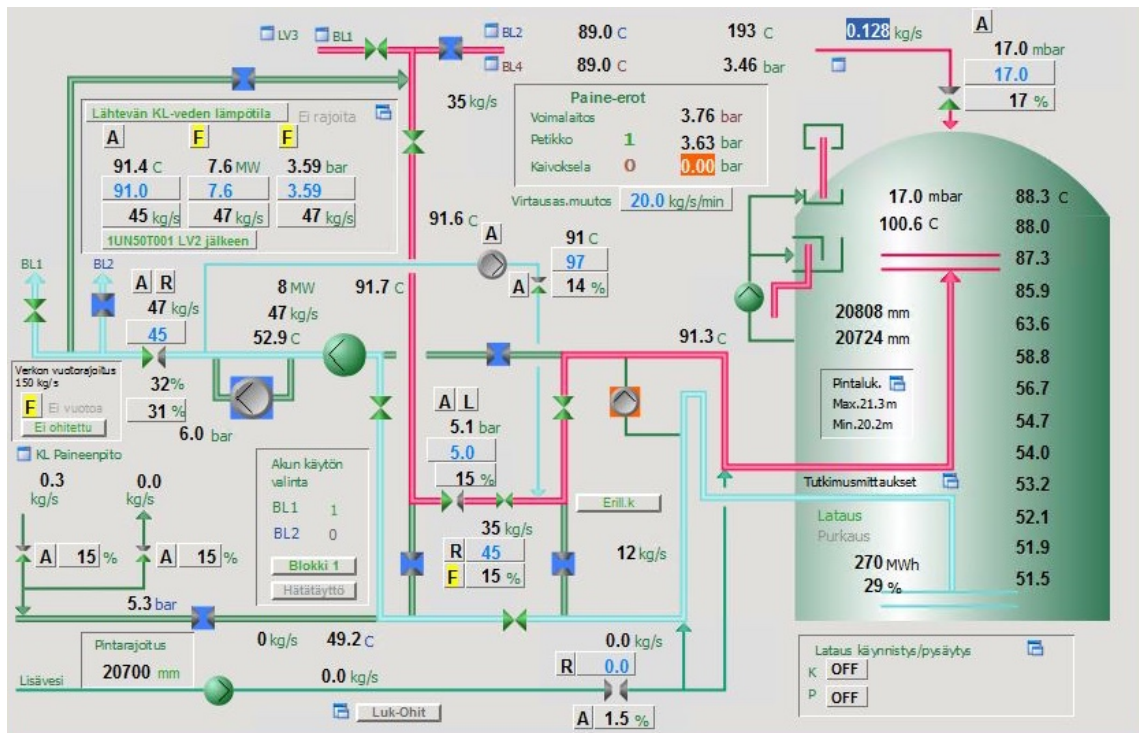
6.2 Kaukolämpöakku

Kaukolämpöakkuja käytetään apuna tasaamaan kaukolämpökuormia. Akkuja apuna käyttäen voidaan varautua tehokkaammin lämmön kulutushuippuihin. Lämmön alhaisesta kysynnästä huolimatta voidaan tuottaa sähköä, sillä kaikki jäljelle jäänyt tuotettu lämpö voidaan varastoida kaukolämpöakkuun. Kaukolämpöakku auttaa tuotannon tehostusta, koska sen avulla sähkön tuottoa voidaan siirtää tietyille tunneille vuorokaudessa. [31, s. 4.]

Martinlaakson voimalaitoksen kaukolämpöakku on raskaan polttoöljyn säiliöstä valmistettu eristetty terässäiliö vuodelta 1990. Kaukolämpöakun lämpökapasiteetti on 900 MWh ja maksimiteho 50 MW. Akku on tilavuudeltaan 20 000 m³. Se on paineeton säiliö, joten siihen varastoitavan veden lämpötila saa olla maksimissaan 100 °C. [31, s. 5.]

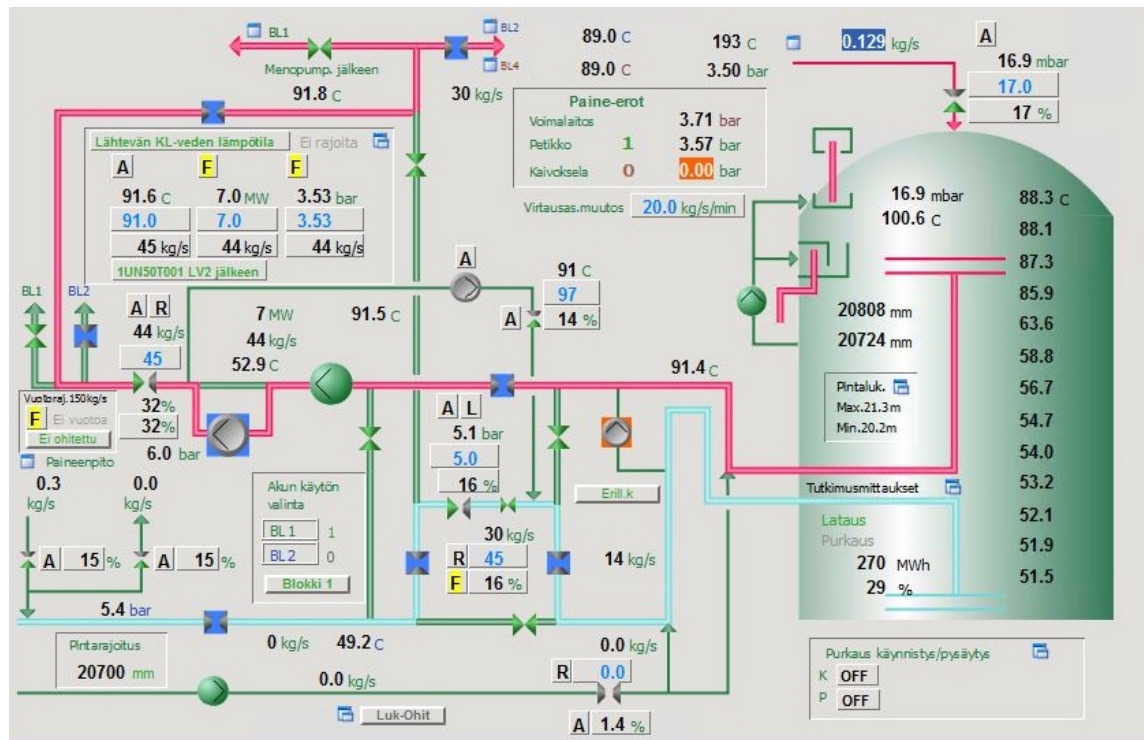
Kuvissa 13 ja 14 on kaukolämpöakun latauksen ja purun prosessinäytöt. Punainen viiva kuvaa kuuman veden virtausta ja sininen viileämmän. Kuvista näkee esimerkiksi akkujen lämmönvarauskapasiteetit, lämpötilojen kerrostumat ja säiliöiden lämpötilat. Lämpötilat ja lämpötilojen kerrostumat vaihtelevat täyden ja tyhjän akun mukaan. Akun ollessa täynnä lämpötila on korkeampi ja lämpötilakerrostuma alempana, kun taas akun ollessa tyhjä lämpötila on matalampi ja lämpötilakerrostuma ylempänä. Tehon sijoittamisen esteenä suoraan akkuun on akun lämpötilakerrostuma. Lämpötilakerrostumat vaihtelevat paljon, joten lämpöpumpulla pitäisi pystyä säättämään lämpötilojen vaihtelut, jotta vesi olisi sopivan lämpöistä. Vesi kerrostuu lämpötilan mukaan niin, että veden lämpötila laskee ylhäältä alaspäin mentäessä. Tämä johtuu veden tiheyserosta. Veden lämpötilakerroksien sekoittuminen pyritään estämään virtauksen tasaamisella erilaisilla ohjaimilla. Ohjaimia kutsutaan diffuusoreiksi ja jakajiksi. Niiden avulla myös ladataan ja puretaan akun lämpöenergiaa. Akkusäiliöiden vedenpinta on aina sama, sillä vettä tulee ja menee yhtä paljon. Säiliön katon ja vedenpinnan väliin jäävä tyhjä tila täytetään noin 15–20 mbar:n ylipaineistetulla höyrypatjalla, johon höyry kulkeutuu voimalaitoksen apuhöyrylinjaa pitkin. Eri tilanteissa apuhöyry voidaan ottaa päähöyrylinjasta tai turbiinien väliotosta. Lisäksi apuhöyry voidaan tuottaa lämmöntalteenottokattilan matalapainelieriön avulla tai maakaasulla toimivalla apukattilalla. [31, s. 5; 32.]

Kuvassa 13 akun lämmönvarauskapasiteetti on 270 MWh eli 29 %. Oikeasta reunasta (kuva 13) löytyy lämpötilojen vaihtelut eri tasoilla. Akun latausvaiheessa alin lämpötila on 51,5 °C ja ylin lämpötila 88,3 °C. Asiakkaille menevän veden lämpötila on 91,3 °C ja palaavan veden lämpötila 49,2 °C.



Kuva 13. Martinlaakson voimalaitoksen kaukolämpöakun latauksen prosessinäyttö [6.]

Kaukolämpöakun purkukuvasta (kuva 14) näkee lämmönvarauskapasiteetin olevan 29 % eli 270 MWh. Purkaus hetkellä ylimmän kerroksen lämpötila on 88,3 °C ja alimman 51,5 °C. Punaisella merkityn putken veden lämpötila on 91,4 °C ja sinisen putken lämpötila 49,2 °C.



Kuva 14. Martinlaakson voimalaitoksen kaukolämpöakun purun prosessinäyttö [6.]

6.3 Meno- ja paluuputki

Kuluttajat saavat lämpöenergiaa kuumana vetenä kaksiputkisessa kaukolämpöverkossa. Rakennukseen tulevassa menoputkessa kulkeva vesi luovuttaa lämpöä kuluttajille lämmönsiirtimien avulla ja palaa takaisin jäähtyneenä paluuputkessa uudelleen lämmitystä varten. Kaukolämpöveden lämpötila on menoputkessa säästä riippuen 65–115 °C ja paluuputkessa 40–60 °C. Putken halkaisija on 20–1000 mm. Meno- ja paluuputket voivat olla saman tai eri suojaputken sisällä. Kuvissa 15 ja 16 on esitetty putket samassa ja erillisessä suojaputkessa. [33.]



Kuva 15. Meno- ja paluuputki samassa suojaputkessa [33.]



Kuva 16. Meno- ja paluuputki eri suojaputkissa [33.]

Kaukolämpöverkkoon voidaan varata ylimääräistä lämpöä nostamalla menoputken veden lämpötila ajotilanteen edellyttämää tasoa suuremmaksi. Ylilämmön johdosta muodostunut lämpövarasto purkautuu lämpörintaman tavoittaessa asiakaslaitteet. Lämpötilaa voidaan nostaa keskimäärin 10 °C. Menoveden lämpötilan kohottamisen lisäksi voidaan nostaa paluuveden lämpötilaa ja siten tallettaa lämpöenergiaa myös paluuputkeen kaukolämpöverkossa. Silloin paluuputken materiaalin pitää olla mitoitettu menolämpötilan mukaisesti. [9, s. 389.]

Pohdittaessa tehon sijoitusta paluuputkeen tulee huomioida biokattilan savukaasupesuri. Paluuputken vesi kulkee voimalaitokselle savukaasupesurin kautta, jossa savukaasun lämpöä siirretään palaavaan kaukolämpövedeen. Savukaasupesuri on tehokkaampi, kun palaava vesi on kylmempää. Tästä johtuen tehoa ei kannata sijoittaa paluuputkeen, koska savukaasupesuri on jo tekemässä sen työn. Näin ollen teho on järkevä sijoittaa menoputkeen. [34.]

6.4 Kaukolämpökeskus

Kaukolämpökeskuksen avulla voidaan tasata lämmön kulutushuippuja kaukolämpöakun lisäksi. Lämpökeskuksella pystytään takaamaan lämmön riittävyys erilaisissa tapauksissa, kuten voimalaitoksen vikatilanteissa ja huollon aikana. Varakapasiteettia tarvitaan erityisesti kevään ja syksyn aamuhuippujen aikana, jos akkukapasiteetti ei riitä tarvittavan lämmön saantiin. Lämpökeskus toimii maakaasulla, ja sen käynnistäminen vain muutamaksi tunniksi on kallista sekä haitallista laitteiden käyttöikä ajatellen. Jos lämpöpumppuratkaisulla pystyttäisiin estämään lämpökeskuksen käynnistäminen edes muutaman kerran vuodessa, niin se vähentäisi kaasun käyttöä ja olisi täten kustannustehokasta sekä kannattavaa. [35.]

7 Tarjous ja laskentamenetelmä

7.1 Tarjous

Lämpöpumppujen budjettitarjoukset (taulukko 1) ovat saatu yritykseltä Calefa Oy. Tarjouksessa on päädytty valitsemaan 700 kW:n järjestelmä, koska se on suurin yksittäinen yksikkökoko ja näin ollen taloudellisesti alin yksikkökoko. Kustannustehokkain tapa on rakentaa järjestelmä 700 kW:n moduuleista.

Taulukko 1. Tarjoukset.

Tarjous	Tarjous 1	Tarjous 2
Laitteisto	Maalämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu
Lämmitysteho (kW)	700	700
COP		Kesäsulun aikana noin 2,9
Kaivojen lukumäärä (kpl)	50	
Kaivojen investointi (€)	1 000 000	
Investointi (€)	450 000	520 000

Maalämpöratkaisussa yhden lämpöpumppukontin lämmitysteho on 700 kW. Sen kustannus on 450 000 €. Tontille on suunniteltu 50 kappaletta maalämpökaivoja, joista saadaan tehoa 500 kW, ja loput tehot saadaan lämpöpumpun sähköstä. Maalämpökaivot maksavat 1 000 000 €. Lämpöpumppukonttiin tehdyssä hybridijärjestelmässä yhdistyy hukkalämmön hyödyntäminen ja tuotannon jäähdytys [36].

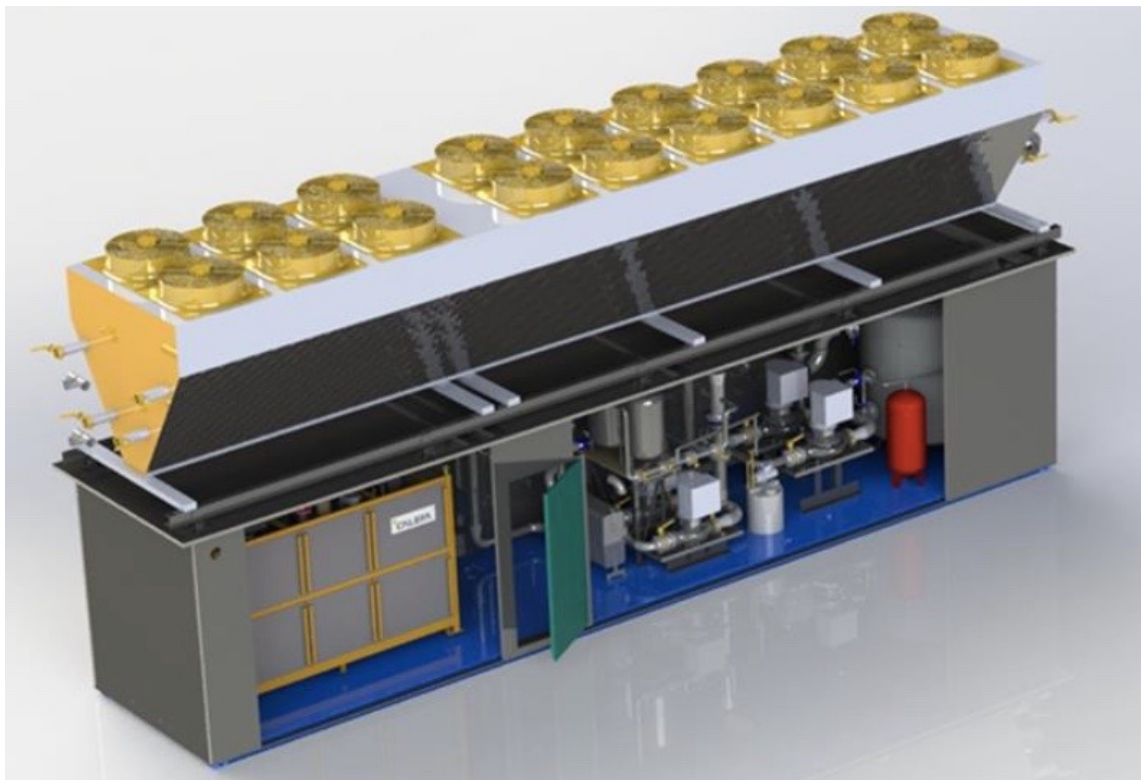
Toinen vaihtoehto maalämpöratkaisun tilalle on ilma-vesilämpöratkaisu. Sen lämmitysteho on 700 kW, ja sen investointi on 520 000 €. Ratkaisun COP-arvo kesäsulun aikana on noin 2,9.



Kuva 17. COP-luvut lämpötilojen mukaan [36.]

Ilma-vesilämpöjärjestelmän COP-luvussa tulee huomioida Suomen ilmaston laajat lämpötilavaihtelut eri vuodenaikoina. Tarjouksessa pumpun COP-arvo on 2,9 kesäsulun aikana, mutta on hyvä määrittää COP-arvo myös Suomen keskilämpötilan mukaan. Helsingissä mitattu keskilämpötila on 5,9 °C ja kaukolämpöveden lämpötilan oletetaan olevan 85 °C [37.] Kuvasta 17 voi päätellä COP-arvon olevan 2,3. Myös maalämpöjärjestelmän COP-arvoksi saadaan 2,3. Kuvan pystyrivillä on esitetty lämmitetyn veden lämpötila ja vaaka-akselilla ulkoilman lämpötila.

Kuvassa 18 on tarjouksessa mukana ollut lämpöpumppukontti. Näitä kontteja eli moduuleita on tarkoitus koota useita, jolloin niistä muodostuu kokonainen järjestelmä. Kuvan kontti liittyy lämmön uusiokäyttöön ilmasta.



Kuva 18. Lämpöpumppukontti [36.]

7.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu investoinnin maksaessa itsensä takaisin säästöillä tai tuloilla. Yksinkertaistetussa takaisinmaksuajassa ei ole huomioitu inflaatiota tai sähkön hinnan nousuja ja laskuja. Koroton takaisinmaksuaika voidaan ratkaista kaavalla 1.

$$Taka\text{isinmaksuaika} = \frac{\text{Investointikustannus}}{\text{Vuotuinen nettotuotto}} \quad (1)$$

Taka\text{isinmaksuaikaan vaikuttavat esimerkiksi koron nousut, sähkön hinta ja jonkin komponentin käyttöiän päättyminen. Merkittävä tapa tutkia investointien kannattavuutta on takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajan menetelmän mukaan kannattavin investointi on se, minkä takaisinmaksuaika on pienin.

8 Tulokset ja vertailu

Lisääntynyt tieto maalämpölämmityksen erinomaisesta energiansäästöpotentiaalista on lisännyt maalämpöpumpun kysyntää viimeisten vuosien aikana. Suuresti kasvanut kysyntä on tällä hetkellä tasaantunut, sillä maalämmön rinnalle on tullut toinen energiatehokas lämpöpumppu–ilma-vesilämpöpumppu. Ilma-vesilämpöpumppu kasvattaa suosiotaan vielä maalämpöpumppuakin kovemmalla tahdilla. [22, s. 6.]

8.1 Investointikustannukset

Vertailtaessa maalämpö- ja ilma-vesilämpöjärjestelmää todetaan, että maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin ilma-vesilämpöjärjestelmällä. Maalämpöjärjestelmä kustantaa porakaivojen kanssa yhteensä 1 450 000 €, kun taas ilma-vesilämpöjärjestelmän investointikustannus on noin 520 000 €. Maalämpöjärjestelmän kustannuksiin vaikuttavat suuresti porattavat kaivot.

8.2 Takaisinmaksuaika

Järjestelmien takaisinmaksuaikoja laskiessa oletetaan, että järjestelmät toimivat jatkuvasti ympäri vuoden. Molemmat järjestelmät tuottavat energiaa 6 132 MWh (kaava 2). Kaavassa 2 on huomioitu yhden järjestelmän lämmitystehon olevan 700 kW, ja se toimii 24 tuntia vuoden jokaisena päivänä. Sähköä kuluu 2 666 MWh, kun COP-arvo on 2,3. Kaukolämmön verollinen myyntihinta vuoden keskiarvona on 37,6 €/MWh. Taulukossa 2 on esitetty molempien tarjouksien takaisinmaksuajat.

$$0,7 \text{ MW} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ d} = 6 \text{ 132 MWh} \quad (2)$$

Taulukko 2. Investointien takaisinmaksuajat.

Tarjous	Tarjous 1	Tarjous 2
Hankintahinta (€)	1 450 000	520 000
Takaisinmaksuaika (a)	21,2	7,6

8.3 Lämmitysjärjestelmien vertailu ja yhdenmukaisuus

Taulukossa 3 on kerätty lämmitysjärjestelmien eroja ja yhdenmukaisuuksia. Vertailusta voi todeta, että ilma-vesilämpöratkaisu on järkevämpi kuin maalämpöratkaisu. Maalämpöjärjestelmä vaatii riittävän suuren tontin lukuisia porakairoja varten, kun taas ilma-vesilämpöjärjestelmä ei ole samalla tavalla riippuvainen tontin koosta. Järjestelmänä maalämpö on huomattavasti kalliimpi, koska pelkästään porakairojen investointi maksaa 1 000 000 €. Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika on myös pidempi. Tässä työssä molempien järjestelmien COP-arvoiksi valikoitui 2,3 ja lämmitystehoiksi 700 kW.

Taulukko 3. Maalämpö- ja ilma-vesilämpöratkaisujen vertailu.

Järjestelmä	Maalämpöjärjestelmä	Ilma-vesilämpöjärjestelmä
Tontti	Vaatii riittävästi tilaa porakairoja varten	Tontin pinta-alalla ei ole merkitystä
Järjestelmän koko (kW)	700	700
Investointikustannus	Hintava, noin kolminkertainen ilma-vesilämpöjärjestelmään nähden	Edullisempi vaihtoehto
COP	2,3	2,3
Takaisinmaksuaika (a)	21,2, lähes kolminkertainen ilma-vesilämpöjärjestelmään nähden	7,6

9 Yhteenveto ja tulevaisuuden visio

Selvityksen tavoitteena oli vertailla ja selvittää lämpöpumppuratkaisuja kaukolämpöverkossa Martinlaakson voimalaitoksen alueella. Työssä perehdyttiin maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppujen toimintaperiaatteisiin ja kustannuksiin. Lisäksi työssä tarkasteltiin tehon sijoitusta kaukolämpöverkkoon ja toteutettiin yksinkertainen laskentamenetelmä.

Työstä voi päätellä, että ilma-vesilämpöpumppu on kannattavampi kuin maalämpöpumppu. Lämpöpumppuja vertailtaessa takaisinmaksuajassa voittaa ilma-vesilämpöpumppu. Sen takaisinmaksuaika on lähes kolme kertaa pienempi maalämpöpumppuun verrattuna. Koron nousut, sähkön hinta ja kompressorin eliniän päätyminen voivat nostaa takaisinmaksuaikoja. Myös investointikustannuksissa on huomattava ero, sillä maalämpöjärjestelmä maksaa 1 450 000 € ja ilma-vesilämpöjärjestelmä 520 000 €.

Tutkimuksen perusteella pohdittaessa tehon sijoitusta kaukolämpöverkkoon teho on kannattavinta syöttää kaukolämpöverkon menoputkeen. Tehoa ei ole hyvä sijoittaa kaukolämpöakkuun akun lämpötilakerrostumien takia. Lämpötilakerrostumat vaihtelevat niin laajasti, että lämpöpumpuista pitäisi saada säädettyä lämpötilojen koko skaala, jotta vesi olisi oikean lämpöistä. Myöskään verkon paluuputki ei ole sopiva vaihtoehto. Esteenä on biokattilan savukaasupesuri, jonka kautta kulkee paluuputken vesi. Pesuri on tehokkaampi palaavan veden ollessa kylmempää. Tehoa ei siis kannata laittaa paluuputkeen, sillä siellä on jo pesuri tekemässä sen työn.

Työn lopputuloksen luotettavuutta heikentää selvitystä varten saatu lämpöpumppujen tietojen vähäisyys. Budjettitarjoukseen on valittu 700 kW:n järjestelmät molemmista vaihtoehtoisista lämpöpumppuratkaisuista. Järjestelmien COP-arvoiksi valikoitui 2,3, joten järjestelmistä laaditut laskelmat ovat yksinkertaiset. Ennen investointipäätöstä pitää saada vielä tarkempi tarjous lämpöpumppujärjestelmistä ja huomioida korot ja muut kulut.

Saavuttaakseen tavoitellun hiilineutraalin energiantuotannon tulevina vuosina kaukolämpöyrietykset kehittävät monipuolisia uusiutuvan energian ratkaisuja, joilla pystyttäisiin korvaamaan uusiutumattomiin energialähteisiin perustuvaa tuotantoa. Täten suuret lämpöpumput ovat kiinnostavia ratkaisuja tulevaisuudessa, koska niiden avulla voidaan hyödyntää lämmönlähteitä monipuolisesti.

Lähteet

- 1 Vantaan Energia. 2018. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/me/vantaan-energia/>>. Luettu 17.9.2019.
- 2 Vantaan Energia lyhyesti. 2016. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2016/vantaan-energia-lyhyesti/>>. Luettu 17.9.2019.
- 3 Jätevoimala antaa roskalle uuden elämän. 2018. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/jatevoimala-antaa-roskalle-uuden-elaman/>>. Luettu 18.9.2019.
- 4 Monen muotoista energiaa. 2019. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/me/energiantuotanto/>>. Luettu 20.9.2019.
- 5 Verkkosivujen kuvat. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. Luettu 20.9.2019.
- 6 DNA Prosessinhallintajärjestelmä. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 7 Vantaan Energia lopettaa kivihiilen käytön vuonna 2022! 2019. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/vantaan-energia-lopettaa-kivihiilen-kayton-vuonna-2022/>>. Päivitetty 6.9.2019. Luettu 20.9.2019.
- 8 Käänteentekevä energiayhtiö. 2019. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/vantaanenergia/uploads/20181107172036/tiekartta.pdf>>. Luettu 20.9.2019.
- 9 Kaukolämmön käsikirja. 2006. Energiateollisuus ry. Helsinki: Adato Energia.
- 10 Energiavuosi 2018 – Kaukolämpö. 2019. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot>. Luettu 30.9.2019.

- 11 Satuli, Heli. 2019. Ratkaisuna kaukolämpö. Verkkoaineisto. Energiavirtaa-lehti. <<https://www.vantaanenergiatasahkoverkot.fi/magazine/energiavirtaa-lehti-2-2019/ratkaisuna-kaukolampo/>>. Päivitetty 28.5.2019. Luettu 30.9.2019.
- 12 Kaukolämpö. 2015. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/files/412/Raportti_Kaukolampo_ja_CHP_VTT_20151218.pdf>. Luettu 5.10.2019.
- 13 Uusiutuvien energialähteiden käyttö kasvoi sähkön ja lämmön tuotannossa 2017. 2018. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/salatu/2017/salatu_2017_2018-11-01_tie_001_fi.html>. Luettu 5.10.2019.
- 14 Luoma, Teemu. 2017. Kaukolämpöverkon painemittaustietojen kehitys. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 15 Junkala, Mika. 2009. Maalämpöpumppulämmitys IKEA-tavarataloissa. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Perälä, Osmo & Perälä, Rae. 2013. Lämpöpumput. 3., uudistettu painos. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.
- 17 Lämpöä ilmassa. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <<https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>>. Luettu 5.10.2019.
- 18 Pennanen, Pekka. 2019. Selvitys Monoblock-ilma-vesilämpöpumpun mahdollisuuksista. Insinöörityö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 19 Kapanen, Mika. 2017. Kylmäainetilanne 2017. Verkkoaineisto. Suomen kylmäyhdistys ry. <<http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=175>>. Luettu 10.10.2019.
- 20 Lämpöä omasta maasta. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf>. Luettu 21.10.2019.
- 21 Maalämpöpumppu. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu>. Päivitetty 29.8.2019. Luettu 14.10.2019.

- 22 Valitse oikein: Maalämpö- vai ilma-vesilämpöpumppu. 2018. Verkkoaineisto. Lämpöykkönen. <<https://lampoykkonen.fi/wp-content/uploads/2018/09/Opas-maal%C3%A4mp%C3%B6pumpun-ja-ilma-vesil%C3%A4mp%C3%B6pumpun-valintaan.pdf>>. Luettu 14.10.2019.
- 23 Pirttilampi, Taneli. 2017. Maa- ja kaukolämpöjärjestelmän vertailu rivitaloyhtiössä. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 24 Maalämpöpumppu. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/ rakentaminen/ lammitysjarjestelman_ valinta/ lammitysmuodot/ maalampopumppu_ mlp>. Päivitetty 29.8.2019. Luettu 14.10.2019.
- 25 Maalämpöpumppu. 2017. Verkkoaineisto. Energiatehokas koti. <https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/ talotekniikan_ suunnittelu/ lammitys/ ilmalampo- ja_ maalampopumput/ maalampopumppu>. Päivitetty 12.12.2017. Luettu 5.11.2019.
- 26 Ilma-vesilämpöpumppu. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_ energia/ lampopumput/ lampopumpputeknologiat/ ilma-vesilampopumppu>. Päivitetty 29.8.2019. Luettu 14.10.2019.
- 27 Mäkinen, Jussi-Otto. 2017. Kaukolämmön korvaaminen ilma-vesilämpöpumpulla. Insinööriyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 28 Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. 2016. Loppuraportti. Energiatellisuus ry. <https://energia.fi/files/993/Suuret_ lampopumput_ kaukolampojarjestelmassa_ Loppuraportti_ 290816_ paivitetty.pdf>. Luettu 21.10.2019.
- 29 Hakkarainen, Janika. 2019. Meno- ja paluuvesien lämpötilojen hallinta silmuroidussa kaukolämpöverkossa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUTPub-tietokanta.
- 30 Viander, Tero. 2014. Kaukolämpöverkon käytön optimointi. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUTPub-tietokanta.

- 31 Sahiluoto, Meri. 2018. Martinlaakson kaukolämpöpumppujen energiatehokkuuden tarkastelu ja optimointi. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 32 Pulkkinen, Kari. 2019. Vuoropäällikkö, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Haastattelu 27.9.2019.
- 33 Kaukolämpöverkkoja yli 15 000 km. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>>. Luettu 24.10.2019.
- 34 Koivunen, Ville. 2019. Kunnossapitoinsinööri, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Sähköposti 1.11.2019.
- 35 Koivunen, Ville. 2019. Kunnossapitoinsinööri, Vantaan Energia Oy, Vantaa. Haastattelu 25.11.2019.
- 36 Porkka, Antti. 2019. Myyntipäällikkö, Calefa Oy, Hollola. Sähköposti 21.11.2019.
- 37 Vuositilastot. 2019. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>>. Luettu 21.11.2019.