

## **Teollisuuden hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa**

**Case: Jyväskylän Energia Oy:n kaukolämpöverkko**

Vili Sihvola

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2019  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä(t) Sihvola, Vili	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu/2019
	Sivumäärä 59	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Teollisuuden hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöverkossa</b> Case: Jyväskylän Energia Oy:n kaukolämpöverkko		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen, Harri Peuranen		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän Energia Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Ympäristöpäästöjen kiristyvät rajoitukset ja päästöoikeuksien hintojen nousu pakottavat energiayhtiöitä kehittämään kaukolämmityksen energiatehokkuutta ja ratkaisuja. Lämmitysratkaisujen markkinatilanne muuttuu polttamiseen perustuvien lämmitysmuotojen vähentyessä ja muiden ratkaisujen, kuten lämpöpumppujen, lisääntyessä. Yksi kaukolämpöyhtiön keinoista parantaa energiatehokkuutta ja kilpailukykyä on lisätä hukkalämpövirtojen hyödyntämistä myös kaukolämpöverkossa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millä tuotantolaitoksilla Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella on suurimmat hukkalämpömäärät ja olisiko niitä mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkossa kannattavasti.</p> <p>Tutkimus toteutettiin kartoittamalla Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueen teollisuusyrityksien hukkalämpövirtoja ja tarkastelemalla teknis-taloudellisesta näkökulmasta teollisuuskohdetta, jossa oli eniten hukkalämpöjä. Teollisuuskohteita kartoitettiin yhtiön asiakastietokantojen avulla ja hukkalämmöistä kerättiin tietoa kyselylomakkeella sekä puheluhaastatteluilla.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin päivitettyä tietoa alueen teollisuuslaitosten hukkalämmöistä. Tietoa saatiin myös tutkimuksen hukkalämpömäärällisesti suurimman teollisuuslaitoksen lämmön hyödyntämisen vaatimuksista kaukolämpöverkkoon sekä toiminnan taloudellisesta kannattavuudesta.</p> <p>Investointien takaisinmaksuajan määrittämiseksi käytettiin viittä eri hinnoitteluesimerkkiä. Lyhimmäksi takaisinmaksuajaksi saatiin noin 7 vuotta ja pisimmäksi ajaksi noin 25 vuotta. Eniten taloudelliseen kannattavuuteen vaikutti sähkön hinta.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )		
Hukkalämpö, kaukolämpö		
Muut tiedot		

Author(s) Sihvola, Vili	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019
	Number of pages 59	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication <b>Utilizing industrial waste heat in district heating network</b> Case: Jyväskylän Energia Ltd district heating network		
Degree programme Bachelor of Engineering, Degree Programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor(s) Marjukka Nuutinen, Harri Peuranen		
Assigned by Jyväskylän Energia Ltd		
<p>Abstract</p> <p>Increasingly stricter restrictions on environmental emissions and increasing costs of emission allowances will force energy companies to develop their energy efficiency and solutions in district heating. The market conditions of heating solutions will change as burning solutions decreases and other solutions such as heat pumps increase. One of the means for district heating companies to develop their energy efficiency and competitiveness is to increase the utilization of waste heat in the district heating network.</p> <p>The target of thesis was to determine which production plants in the region of Jyväskylän Energia district heating network have the biggest volume of waste heat and if they could be profitably utilized in the district heating network.</p> <p>The study focused on the waste heat flows of industrial companies in Jyväskylän Energia district heating network region and examined the industrial location with the biggest waste heat flow from technical and economical perspective. Industrial companies were examined using the customer data system and information on waste heat was collected through survey and phone interviews.</p> <p>Updated information on the waste heat of industrial plants was collected as a result of the thesis. Information was also collected about the demands of waste heat utilization of the industrial plant with the biggest amounts of waste heat in the district heating network and its economical profitability.</p> <p>Five different pricing examples were used for determining the payback period for the investments. The shortest time was counted to be approximately 7 years and the longest about 25 years. The biggest factor in economical profitability was the price of electricity.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> )		
Waste heat, District heating		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma .....</b>	<b>5</b>
2.1	Tavoitteet ja rajaus .....	5
2.2	Tutkimusmenetelmät .....	6
<b>3</b>	<b>Toimeksiantaja .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Kaukolämpö .....</b>	<b>8</b>
4.1	Yleistä.....	8
4.2	Kaukolämmön tuotanto .....	10
4.3	Polttoaineet .....	12
4.4	Jakelu .....	13
4.5	Painehäviöt ja -erot .....	16
4.6	Asiakaslaitteet .....	17
4.7	Lämmönvaihtimet .....	18
4.8	Jyväskylän Energian kaukolämpöverkot.....	20
4.9	Kaukolämmön tulevaisuus .....	22
<b>5</b>	<b>Kaksisuuntainen kaukolämpö .....</b>	<b>24</b>
5.1	Yleistä.....	24
5.2	Teollisuuden hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpönä .....	26
5.3	Vaadittu laitteisto ja kytkennät .....	30
5.3.1	Lämmönvaihtimen valinta.....	31
5.3.2	Lämpöpumput .....	32
<b>6</b>	<b>Opinnäytetyön toteutus .....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Teknis-taloudellisen tarkastelun kohde.....</b>	<b>34</b>
7.1	Kohteen lämpövirrat.....	35
7.2	Kohteen tarkasteltava laitteisto .....	35

7.3	Kaukolämpöverkon lämpötila .....	36
7.4	Syöttö kaukolämpöverkkoon.....	39
7.5	Vaaditut laitteistot ja niiden investoinnit.....	40
7.5.1	Lämmöntalteenotto ja lämpöpumppujärjestelmä .....	40
7.5.2	Rakennuskustannukset .....	42
7.5.3	Kokonaisinvestoinnit .....	42
7.5.4	Käytön aikaiset kustannukset.....	42
<b>8</b>	<b>Investointien taloudellinen kannattavuus .....</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>51</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>54</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>57</b>
	Liite 1. Kyselylomake .....	57

## Kuviot

Kuvio 1. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet uusissa ja peruskorjatuissa rakennuksissa (Kaukolämmön asiakkuus n.d.).....	10
Kuvio 2. Lauhdevoimalaitoksen toimintakaavio (Yhteiskuntavastuuraportti 2017, 2018).....	11
Kuvio 3. Suomen kaukolämmön lähteet 2018 (Kaukolämpö n.d.) .....	12
Kuvio 4. Mpuk ja 2Mpuk -kanavat (Mäkelä & Tuunanen 2015, 57) .....	14
Kuvio 5. Kaukolämpökytkentä (Rakennusten kaukolämmitys 2014, 32).....	18
Kuvio 6. Jyväskylän alueen kaukolämpöverkot vuonna 2017.....	21
Kuvio 7. Kaukolämmön tuotanto tulevaisuudessa (Hiilineutraali Suomi 2030-luvulla? n.d.) .....	23
Kuvio 8. Ylijäämälämmön käyttö lämpötilatasoittain (Ylijäämälämmön hyödyntäminen 2014, 13) .....	29
Kuvio 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Kataikko & Maaskola 2014, 15.).....	32

Kuvio 10. Kaukolämmön menoveden lämpötila suhteessa ulkolämpötilaan vuonna 2018.....	37
Kuvio 11. Kohteen yksinkertaistettu kytkentä kaukolämpöverkkoon .....	39
Kuvio 12. Kylmäkoneiden jäähdytysaineen kierron yksinkertaistettu esimerkki .....	41
Kuvio 13. Tuotantokustannuksen herkkyys .....	49

## **Taulukot**

Taulukko 1. Kohteiden hukkalämmöt .....	34
Taulukko 2. Kohteen 1 kylmäkoneet.....	36
Taulukko 3. Voimalaitoksilta lähtevän kaukolämmön menoveden soveltuvuusaika vuoden 2018 mukaan.....	37
Taulukko 4. Kokonaisinvestoinnin erittely .....	42
Taulukko 5. Arvioidut huolto- ja käyttökustannukset.....	43
Taulukko 6. Lämpöpumppujärjestelmän vuosittainen sähkönkulutus.....	43
Taulukko 7. Kohteen 1 sähkön hinta .....	44
Taulukko 8. Sähkön siirron hintaerittely .....	44
Taulukko 9. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 1 .....	46
Taulukko 10. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 2 .....	46
Taulukko 11. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 3 .....	47
Taulukko 12. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 4 .....	47
Taulukko 13. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 5 .....	48
Taulukko 14. Esimerkkien 1-5 yhteenveto .....	48

# 1 Johdanto

Ympäristöpäästöjen kiristyvät rajoitukset ja päästöoikeuksien hintojen nousu pakottavat energiayhtiöitä kehittämään kaukolämmityksen energiatehokkuutta ja ratkaisuja. Energiantuotannolla on suuri vaikutus Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Yksi Suomen energiantuotannon aiheuttamien ympäristöpäästöjen vähentämisen keino on lisätä hukkaan menevien lämpöenergiavirtojen hyödyntämistä. Myös lämmitysratkaisujen markkinatilanteen muuttuminen ohjaa kaukolämpöyhtiöitä kehittämään toimintaansa. Kaukolämmön kanssa kilpailevista lämmitysmuodoista perinteinen öljyn käyttö vähenee, kun taas erilaisten lämpöpumppuratkaisujen määrä lisääntyy hyvää vauhtia ja alalle tulee uusia toimijoita. (Kaukolämpöalan strategia 2013, 5.)

Suurimmat hukkalämpövirrat syntyvät teollisuuden prosesseissa. Teollisuudessa lämpöä voidaan ottaa talteen esimerkiksi poistohöyryistä, prosessi- ja savukaasuista sekä jäte- ja jäähdytysvesistä, joiden mukana arvioidaan menevän lämpöä hukkaan vuosittain jopa noin 54 TWh. Nykyisin teollisuuden hukkalämpöä hyödynnetään kaukolämpönä melko vähän, mutta tulevaisuudessa se on todennäköisesti merkittävä kaukolämmönlähde. Teollisuuden tuotannon hukkalämpövirroista voitaisiin arvioiden mukaan hyödyntää taloudellisesti noin 4 TWh vuosittain. Sen rahallinen säästövaikutus teollisuudelle olisi jopa 200 miljoonaa euroa. Tämä lämpömäärä riittäisi lämmittämään vuosittain noin 200 000 omakotitaloa. Teollisuuden käyttämästä energiasta arvioidaan menevän hukkaan jopa 37 % eli yli kolmannes. (Hukkalämmön hyödyntämisestä suursäästöt teollisuudelle 2014; Suomalaiskodit lämpimiksi teollisuuden hukkalämmöllä 2014; Tuotannon hukkalämpö hyödyksi n.d.)

Opinnäytetyössä tuli selvittää Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella sijaitsevien teollisuuden kiinteistöjen hukkalämpövirtoja ja niiden käyttömahdollisuuksia kaksisuuntaisessa kaukolämpöverkossa. Tutkimuksessa tuli myös arvioida hukkalämpövirtojen hyödyntämisen vaatimia investointeja ja niiden taloudellista kannattavuutta.

## 2 Tutkimusasetelma

Toimeksiantaja, Jyväskylän Energia, pyrkii selvittämään uusia vaihtoehtoja kaukolämpöliiketoiminnan kehittämiseen. Yksi kaukolämpöverkon tulevaisuuden kehityssuunta on sen kaksisuuntaistaminen, eli kaukolämmön asiakkaat voisivat myydä ylimääräisen lämmön takaisin energiayhtiölle. Kiristyvät ympäristöpäästörajoitukset ja päästöoikeuksien hinta tekevät hukkalämpöjen hyödyntämisestä yhä kannattavampaa pitkän tähtäimen toimintaa.

Tutkimuksen tulokset voivat vaikuttaa myös Jyväskylän Energian toiseksi suurimman tuotantolaitoksen, Rauhalahden voimalaitoksen, korvaamiseen sen käyttöajan päättyessä. Koko Rauhalahden voimalaitoksen tuotantoa potentiaaliset hukkalämmöt eivät riitä korvaamaan, mutta ne voivat vaikuttaa oleellisesti esimerkiksi uuden voimalaitoksen mitoitukseen tai muihin tulevaisuuden ratkaisuihin.

Valtakunnallisesti teollisuuden hukkalämpöä hyödynnetään jo melko paljon. Teollisuudessa suuret tuotantoyksiköt tarvitsevat usein suuria määriä lämpöä. Tällaisten tuotantoyksiköiden yhteydessä on usein oma voimalaitos, jossa voidaan tuottaa taloudellisista syistä lämpöä myös esimerkiksi kaukolämpöverkkoon. Tällöin kaukolämpöverkkoon syötettävää ylimääräistä lämpöä voidaan pitää hukkalämmön hyödyntämisenä. Hukkalämpövirroissa on kuitenkin vielä valtavasti hyödynnettävää potentiaalia ja mahdollisuuksia parantaa sekä paikallista että valtakunnallista energiatehokkuutta ja vähentää ympäristöpäästöjä sekä kehittää kaukolämpöliiketoimintaa.

### 2.1 Tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella sijaitsevien teollisuuskohteiden hukkalämpövirtoja olisi mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkossa. Tutkimuksessa pyrittiin myös saamaan tietoa kyseisten teollisuuskohteiden hukkalämpövirroista. Ongelmanasettelussa hyödynnettiin seuraavia tutkimuskysymyksiä: Miltä teollisuuslaitoksilta olisi mahdollista saada suurimmat ja potentiaalisimmat hyödynnettävät lämpömäärät? Kuinka suuria laiteinvestointeja hyödyntäminen vaatisi? Millainen olisi hyödynnettävien lämpövirtojen



kannattavin liittymistapa kaukolämpöverkkoon? Kuinka suuret lämpömäärät verkkoon olisi mahdollista syöttää? Ovatko kohteiden hukkalämmön hyödyntämisen vaatimat investoinnit riittävän kannattavia toteutettaviksi? Kuinka paljon Jyväskylän Energia olisi valmis maksamaan kyseisistä lämpövirroista?

Tutkimuksen alkuvaiheessa kartoitettiin Jyväskylän Energian kaukolämpöverkkoalueella ja sen läheisyydessä sijaitsevat teollisuuslaitokset ja niiden potentiaaliset hukkalämmön määrät ja muut oleelliset ominaisuudet. Tutkimuksen jälkimmäisessä vaiheessa keskityttiin kaikkein potentiaalisimpaan kohteeseen ja sen vaatimiin laitteistoinvestointeihin. Kannattavuustarkasteluun valittiin kohde, jonka hukkalämpömäärät olivat kaikkein suurimmat. Tutkimuksen aineistonkeruu rajattiin teollisuuskiinteistöihin eli pois rajautuivat julkiset kiinteistöt ja asuinrakennukset. Tarkastellun kohteen, eli kohteen 1, savukaasujen hukkalämpö rajattiin pois teknis-taloudellisesta tarkastelusta. Tarkastelun tavoitteena oli hankkia uutta tietoa, jotta tulevaisuudessa hukkalämpöjen hyödyntämisen eteen olisi helpompi tehdä konkreettisia toimia. Raportin tietoperusta koostuu kaukolämmön ja kaksisuuntaisen kaukolämmön perusteista sekä niiden tulevaisuuden näkymistä. Tietoperustan tärkeimpiä lähteitä ovat alan kirjallisuus- ja internetlähteet.

## 2.2 Tutkimusmenetelmät

Teollisuuslaitosten tuottamia hukkalämpövirtoja kartoitettiin kyselylomakkeen avulla (ks. liite 1). Kyselyä täydennettiin puhelinhaastatteluilla. Opinnäytetyön selvityksessä käytettiin kvalitatiivista kyselylomaketta ja haastattelua. Teollisuuslaitoksilta kerättyä aineistoa analysoitiin lähinnä kvantitatiivisilla laskelmilla ja taulukoilla. Aineisto kerättiin Jyväskylän kaukolämpöalueella ja sen läheisyydessä sijaitsevien teollisuuskohteiden mahdollisista hukkalämpöenergian määristä ja laaduista. Teollisuuskohteita kartoittaessa käytettiin Jyväskylän Energia Oy:n asiakas- ja kaukolämpöverkkotietokantoja. Asiakastiedot ovat salassa pidettäviä, joten niitä ei ole mainittu tässä raportissa.

### 3 Toimeksiantaja

Jyväskylän Energia Oy on Jyväskylän kaupungin omistama JE-konsernin emoyhtiö. Jyväskylän Energian ja sen tytäryhtiöiden liiketoiminta perustuu sähkön, lämmön ja veden tuotantoon ja jakeluun, sekä lämmön ja veden myyntiin omistamissaan verkoissa. Vuonna 2017 yhtiö tuotti yhden prosentin Suomen sähköstä ja noin 1,1 TWh lämpöä. JE-konserni työllisti vuonna 2017 yhteensä 254 henkilöä. Jyväskylän Energia Oy:llä oli henkilöstöä tuolloin 207 henkilöä. Jyväskylän Energia Oy:n tytäryhtiöt ovat JE-Siirto Oy, Jyväskylän Energiantuotanto Oy, Jyväskylän Voima Oy ja Wiitaseudun Energia Oy. Jyväskylän Voima Oy:stä Jyväskylän Energia Oy omistaa 81,4 %. Muut tytäryhtiöt ovat 100 - prosenttisesti emoyhtiön omistuksessa. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt n.d.; Yhteiskuntavastuureportti 2017, 2018.)

JE-Siirto Oy on Jyväskylän kantakaupungin sähköverkon haltija. Yhtiön liiketoiminta perustuu oman sähköverkkonsa käyttöön, ylläpitoon, suunnitteluun ja rakentamiseen, sekä sähkön mittaamiseen. Henkilöstöä yhtiöllä oli vuonna 2017 23 henkilöä. Yhtiön liikevaihto oli tuolloin 22,8 miljoonaa euroa. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt n.d.; Yhteiskuntavastuureportti 2017, 2018.)

Jyväskylän Energiantuotanto Oy tuottaa lämpöä Jyväskylän alueen kaukolämpöverkoon sekä sähköä ja höyryä. Yhtiön tuotantolaitokset ovat Rauhalahden voimalaitos, Savelan voimalaitos, ja Jyväskylän kymmenen aluelämpökeskusta. Yhtiö työllisti vuonna 2017 15 henkilöä. Kaukolämmöntuotantokapasiteetti on noin 570 MW, teollisuuslämmön 110 MW ja sähkön 115 MW. Yhtiö käyttää polttoaineenaan lähinnä paikallista puuta ja turvetta. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2017 noin 25,5 miljoonaa euroa. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt n.d.; Yhteiskuntavastuureportti 2017, 2018.)

Jyväskylän Voima Oy perustettiin vuonna 2006 Keljonlahden voimalaitoksen perustamista varten. Uusi voimalaitos valmistui kesällä 2010. Keljonlahdessa sijaitseva alueen suurin lämpöä ja sähköä tuottava voimalaitos, kuuluu Jyväskylän Voima Oy:lle. Jyväskylän Energia Oy:n lisäksi yhtiöllä on omistajia konsernin kumppaneissa. Henkilöstöä yhtiöllä oli vuonna 2017 yhdeksän henkilöä. Yhtiön liikevaihto oli tuolloin 47,3

miljoonaa euroa. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt n.d.; Yhteiskuntavastuuraportti 2017, 2018.)

Jyväskylän Energia Oy osti Wiitaseudun Energia Oy:n loppuvuodesta 2018. Yhtiö toimii 1.12.2018 alkaen Jyväskylän Energian tytäryhtiönä ja tuottaa Viitasaaren keskustan alueelle kaukolämpöä. Yhtiö myös myy ja jakelee vettä Viitasaaren keskustan lisäksi Kärnän ja Kymönkosken kylille. WSE liiketoimintaan kuuluu myös jäteveden hoito Kymönkosken ja Viitasaaren keskustan alueilla. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt. n. d.) Yhtiö on toiminut vuodesta 2014 lähtien siitä asti, kun Viitasaaren Lämpö Oy ja Viitasaaren Vesi Oy yhdistyivät. Yhtiö tuottaa vuodessa noin 50 GWh lämpöä noin 400:lle kaukolämpöasiakkaalleen. Liikevaihto on noin 3,6 miljoonaa euroa, josta 2,6 miljoonaa tulee lämpöliiketoiminnasta ja noin 1 miljoonaa tulee vesi- ja jätevesiliiketoiminnasta. (Tytär- ja osakkuusyhtiöt n.d.; Yhteiskuntavastuuraportti 2017, 2018; Yritys n.d.)

Jyväskylän Energia Oy, Kuopion Energia Oy, Lappeenrannan Energia Oy ja Savon Voima Oyj perustivat vuonna 2018 sähkön myyntiin keskittyvän energiapalveluyhtiö nimeltä Väre. Uuden yhtiön myötä osakasyhtiöiden on mahdollista keskittää sähkön myynti ja muut sitä tukevat palvelut yhdeksi toiminnaksi. Väreellä on noin 250 000 asiakasta ympäri Suomen ja yhtiö työllistää suoraan noin 40 henkilöä. (Väreestä 2018.)

Toimeksiantaja tässä tutkimuksessa oli Jyväskylän Energia Oy, joka vastaa esimerkiksi Jyväskylän alueen sähkön, kaukolämmön ja veden siirtämisestä asiakkaille. Kaukolämpöasiakkaiden määrä on ollut tasaisessa nousussa ja vuonna 2017 niitä oli yhtiöllä 4881 kappaletta. Jyväskylän Energia Oy:n liikevaihto oli noin 202,2 miljoonaa euroa vuonna 2017. (Yhteiskuntavastuuraportti 2017, 2018.)

## 4 Kaukolämpö

### 4.1 Yleistä

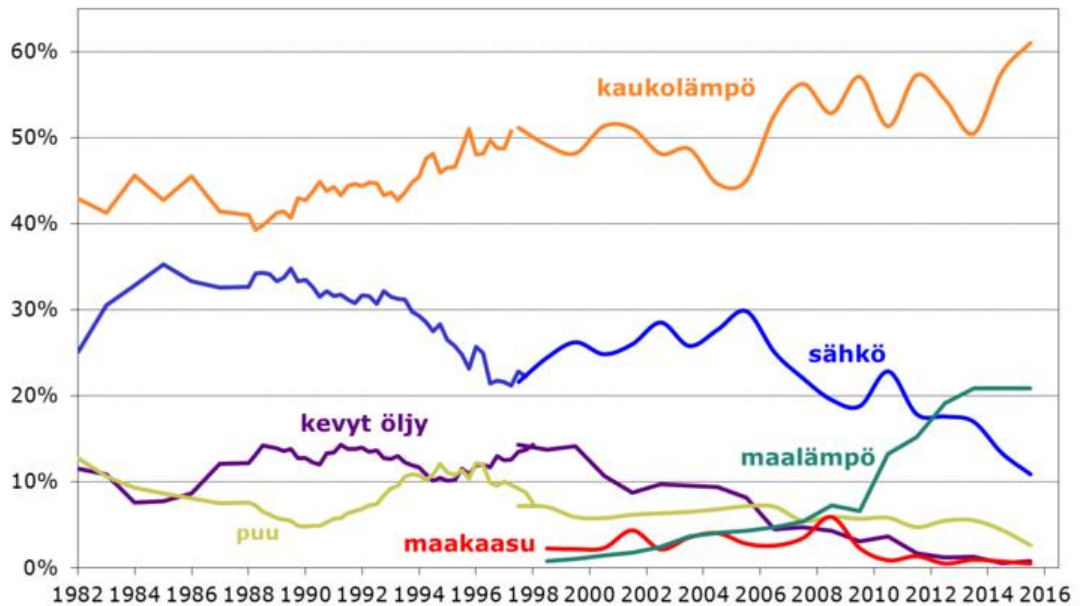
Kaukolämpö on alueellinen keskitetty lämmitysjärjestelmä, jota käytetään tyypillisesti rakennusten ja niiden käyttöveden lämmittämiseen. Kaukolämmöllä voidaan

myös tuottaa teollisuudelle tarvittu lämpö esimerkiksi tuotantoprosesseja varten. Kaukolämpöverkolla voidaan siirtää lämpöä kohteisiin joko veden tai höyryn välityksellä. Suomessa käytetään yleisesti väliaineena vettä. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 11.) Vesi on värjätty vihreäksi, jotta mahdollisten vuotojen paikantaminen olisi helpompaa. Kaukolämpövesi on puhdistettu ja sen happi on poistettu korroosion estämiseksi. (Lämpöä kotiin verkosta n.d.) Kiinteistöjen lämmityksen lisäksi kaukolämmöllä voidaan esimerkiksi pitää alueita sulana talviaikaan. Tyypillisiä sulana pidettäviä kohteita ovat esimerkiksi kaupunkien kävelykadut. (Kaukolämmön asiakkuus n.d. Kaukolämpö on energiatehokas, käyttövarma ja ympäristöystävällinen vaihtoehto rakennusten lämmitykseen. Käyttövarmuus johtuu pitkälti tehokkaasta organisoinnista ja ammattitaidosta esimerkiksi huolto- ja kunnossapitotöiden osalta. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 12.)

Liiketoimintana kaukolämmitys kilpailee rakennuskohtaisten lämmitysjärjestelmien, esimerkiksi perinteisen öljylämmityksen ja nykyaikaisen lämpöpumppujärjestelmän kanssa. Kaukolämpöä tuottavat tyypillisesti energiayhtiöt, jotka ovat usein paikallisten kaupunkien omistuksessa. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 25-27; Kaukolämmön asiakkuus n.d.)

Vuonna 2016 Suomen lämpötilakorjattu kokonaislämmitysenergiankulutus oli noin 96 TWh. Siitä katettiin kaukolämmöllä noin 36 TWh eli noin 37,5 %. Kolme seuraavaksi yleisintä lämmitysmuotoa olivat sähkö 20 TWh, puupolttoaineet 19 TWh ja öljy 12 TWh. Kaukolämmön ja sähkön osuuksiin ei ole kuitenkaan huomioitu niiden tuotanto- ja siirtohäviöitä. Eri lämmitysenergian kuluttajista kaikkein merkittävin on asuinrakennusten lämmitys. Toiseksi merkittävin kuluttaja ovat julkiset ja kaupalliset rakennuksen. Kolmanneksi suurin kuluttaja on teollisuus. (Älykäs kaupunkienergia 2018, 10.)

Kuviossa 1 on esitettyä Suomen rakennusten lämmitysmuotojen prosentuaaliset markkinaosuudet vuosilta 1982-2016.



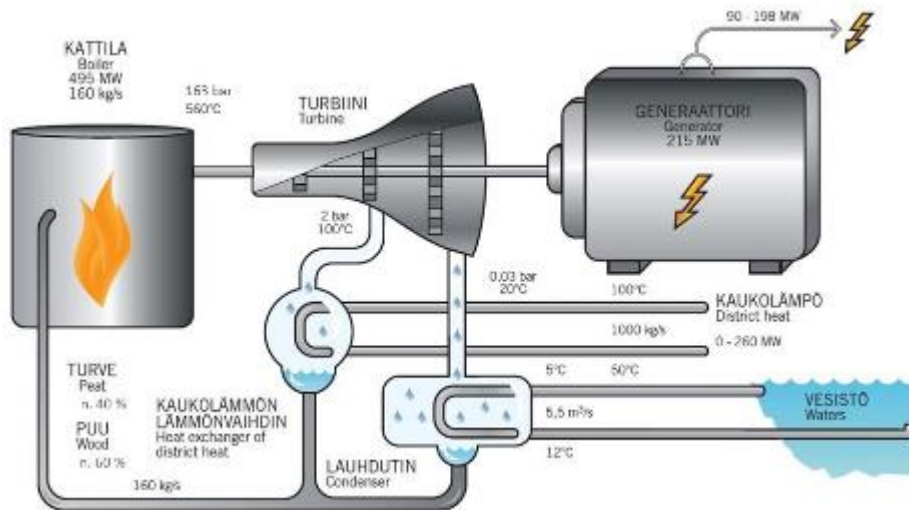
Kuvio 1. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet uusissa ja peruskorjatuissa rakennuksissa (Kaukolämmön asiakkuus n.d.)

Kaukolämpö on Suomen rakennuskunnassa kaikkein yleisin lämmitysmuoto. Kuviosta 1 käy ilmi, että kaukolämmityksen osuus kiinteistöjen lämmitysmuodoista on lisääntynyt 1980-luvulta alkaen. Vuonna 2016 kaukolämmön osuus uusissa ja peruskorjatuissa rakennuksissa oli yli 60 %. Lämpöpumppujen käytön lisääntyminen näkyy kuviossa 1 maalämmön lisääntymisenä. Vuonna 2016 maalämpö oli lämmönlähteenä hieman yli 20 %:ssa uusista ja peruskorjatuista rakennuksista.

## 4.2 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämpöä tuotettiin noin 38,3 TWh vuonna 2017. Tuotetun kaukolämmön kokonaismäärästä noin 24,7 TWh tuotettiin sähkön ja lämmön yhteistuotantona ja noin 13,6 TWh lämmön erillistuotantona. (Uusiutuvien energianlähteiden käyttö kasvoi sähkön ja lämmöntuotannossa 2017 2018.) Kaukolämpöä voidaan tuottaa lämpökeskuksissa, teollisuuden oheislämpönä tai CHP-voimalaitoksissa eli yhdistettynä sähkön ja lämmön tuotantona. Lämpökeskuksella tarkoitetaan lämpöä tuottavaa laitosta, kun taas voimalaitos on yleisesti joko sähkötä ja lämpöä tai vain sähkötä tuottava laitos. Lämpökeskuksia voidaan käyttää joko kaukolämmön peruskuorman tuottamiseen, huipputehontarpeen kattamiseen tai varalaitoksina. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 25.) Suurten ja tehokkaiden tuotantolaitosten etuna on, että niissä voidaan

käyttää monia eri polttoaineita. CHP-voimalaitokset ovat tyypillisesti suuria ja ne käyttävät lämpökeskuksiin nähden hyvällä hyötysuhteella. Kaikkein tehokkainta onkin tuottaa kaukolämmön peruskuorma CHP-voimalaitoksissa. Kuviossa 2 on esitetty yksinkertaistettu CHP-voimalaitoksen toimintakaavio. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 47; Mäkelä & Tuunanen 2015, 11-26; Kaukolämpö n.d.)



Kuvio 2. Lauhdevoimalaitoksen toimintakaavio (Yhteiskuntavastuuraportti 2017, 2018)

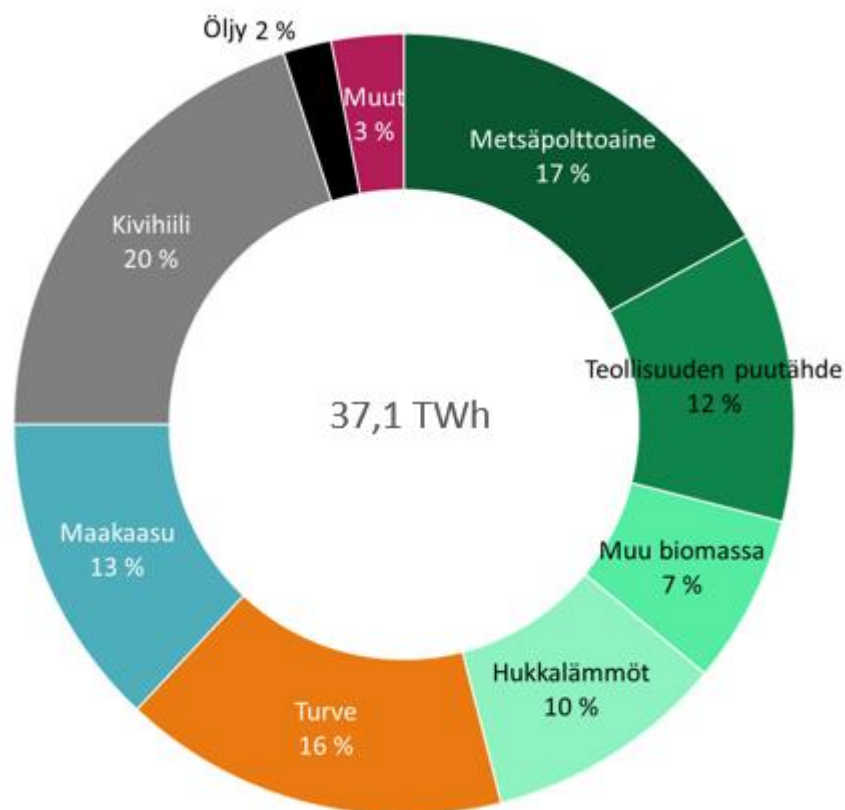
Erilaisia höyryvoimalaitostyyppjejä on kaksi. Väliottolauhdevoimassa kaukolämmitykseen hyödynnettävä höyry otetaan turbiinin väliotosta kaukolämpövaihtimelle. Vastapainevoimalaitoksessa höyry johdetaan turbiinin takapäältä kaukolämmönvaihtimeen. Tällöin voidaan myös toimittaa välioton höyryä suoraan asiakkaalle. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 47.)

Kaukolämpöverkon lämpötilaa ja virtausta ylläpidetään tyypillisesti usealla eri lämmöntuotantolaitoksella. Laitokset sijaitsevat yleensä eri puolilla verkkoa, jotta tuotannon riittävydestä voitaisiin varmistua eri tilanteissa ja jotta tavallinen tuotanto saataisiin optimoitua. Peruskuormalaitoksilla tuotetaan tyypillisesti noin 80 % vuotuisesta lämpöenergiasta ja noin 60 % huipputehontarpeesta. Loppu energian- ja tehontarve tuotetaan huippulämpökeskuksilla. Huippu- ja varalämpökeskukset sijoitetaan verkostoon mahdollisimman optimaalisesti. Sijaintiin vaikuttavat verkoston rakenne, pumppauskustannukset ja tehon- sekä energiantarve. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 30-31; Älykäs kaupunkienergia 2018, 13.)

Lämpöpumppujen käyttö kaukolämmöntuotannossa on yleistynyt. Lämpöpumppujen avulla voidaan esimerkiksi nostaa lämpövirran lämpötilaa, mikä on usein välttämätön toimenpide esimerkiksi hukkalämmön hyödyntämiselle kaukolämpöverkossa. (Kaukolämmön tuotanto uudistuu n.d.) Myös suurten lämpöpumppujen hyödyntämismahdollisuuksia kaukolämpöverkossa on tutkittu viime vuosina. VALOR Partners Oy:n tekemässä selvityksessä arvioitiin suurten lämpöpumppujen potentiaaliksi Suomen kaukolämmöntuotannossa noin 3-4 TWh, joka on noin 9-13% koko maassa myydystä kaukolämmön määrästä. (Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä 2016, 44.)

### 4.3 Polttoaineet

Suomessa kaukolämpö tuotetaan pääasiassa puuperäisillä polttoaineilla, maakaasulla, turpeella ja kivihiilellä. Kaukolämmitys mahdollistaa melkein minkä tahansa polttoaineen käytön lämmön lähteenä. Erilaisten polttoaineiden käyttö vaikuttaa erityisesti energiantuotantokustannuksiin ja toiminnan ympäristövaikutuksiin. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 35.)



Kuvio 3. Suomen kaukolämmön lähteet 2018 (Kaukolämpö n.d.)

Kuviossa 3 on esitettyä Suomen kaukolämmön lähteet vuodelta 2018. Toimitetusta 37,1 TWh:sta tuotettiin 20 % kivihiilellä. Muita fossiilisia polttoaineita poltettiin maakaasuna 13 % ja 2 % öljynä. Puhtaasti uusiutumattomilla polttoaineilla tuotettiin siis yhteensä noin 35 % kaukolämmöstä. Uusiutuvilla polttoaineilla tuotettiin virallisesti noin 36 % Suomen kaukolämmöstä. Hitaasti uusiutuvan turpeen osuus oli noin 16 % ja hukkalämpöjen osuus oli 10 %. Muiden lähteiden osuus oli 3 %. Tulevaisuuden näkymissä on odotettavissa kivihiilen merkittävä vähentyminen ja puupolttoaineiden raju lisääntyminen. Myös turpeen poltto tulee todennäköisesti vähentymään, kun taas hukkalämpöjen määrä lisääntyy. (Kaukolämpö n.d.; Kaukolämmön tuotanto uudistuu n.d.)

Jyväskylän Energia tuotti vuonna 2017 kaukolämmöstään puulla 52,4 %. Turpeen osuus oli noin 46,4 %. Öljyä käytettiin vain 1,2 %. Koko energiantuotannosta tuotettiin uusiutuvilla energianlähteillä noin 53,1 %. Sähkön tuotannosta Jyväskylän Energia tuotti 1,5 % biokaasulla Keltinmäen biokaasukeskuksessa. (Yhteiskuntavastuuraportti 2017, 2018.)

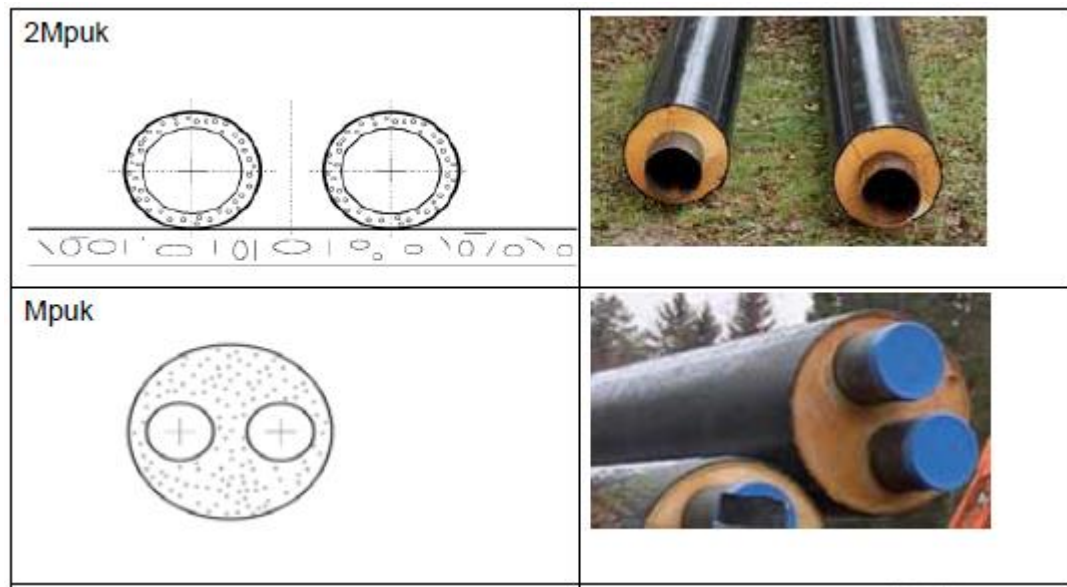
Suomen suurin teollisuuslämmön käyttäjä on metsäteollisuus, jossa lämpö tuotetaan pääosin omilla uusiutuvilla polttoaineilla. Esimerkiksi erilaiset jäteliemet ja puun kuori tuottavat suuren osan metsäteollisuuden tarvitsemasta lämmöstä. Kaikesta Suomen teollisuuslämmöstä jopa puolet tuotetaan sellunvalmistuksen talteenotosta saadulla mustalipeällä. Teollisuuslämpöä tuotettiin 53,7 TWh vuonna 2017. (Uusiutuvien energialähteiden käyttö kasvoi sähkön ja lämmön tuotannossa 2017, 2018.)

#### 4.4 Jakelu

Kaukolämmön jakeluverkko koostuu siirto-, runko- ja talojohdoista. Kaukolämpöjärjestelmän rakentamisessa verkosto on useimmiten kaikkein kallein osa. Verkoston rakennuskustannukset ovat tyypillisesti korkeat suuren putkimäärän ja kaivuutöiden takia. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50-51.) Kaukolämpöjohtojen keskimääräiset verototomat rakentamiskustannukset olivat vuonna 2017 yksiputkisilla eli 2Mpuk-johdoilla noin 476 €/m ja kaksiputkisilla eli Mpuk-johdoilla noin 231€/m (Johtorakennuskustannukset 2017, 2018, 3.)



Kuviossa 4 on esitettyä kaksi erilaista teollisesti valmistettua kaukolämpöputkikannetta. Varsinainen ero vaihtoehdoilla on putkien eristystapa. 2Mpukissa meno- ja paluuputki ovat omien eristeiden ja suojakuorien sisällä. Mpukissa virtausputket sijaitsevat keskenään saman polyuretaanieristeen ja polyeteenisuojakuoren sisällä. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 57.)



Kuvio 4. Mpuk ja 2Mpuk -kanavat (Mäkelä & Tuunanen 2015, 57)

Nykyisin kaukolämpöjohdot rakennetaan teollisesti valmistetuista kaukolämpöelementeistä, jotka koostuvat virtausputkesta, putken eristyksestä ja suojakuoresta. Lämmöneristeenä käytetään yleensä polyuretaania ja suojakuori on polyeteeniä. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 56.)

Verkoston kestävyys ja huoltotöiden määrä on avainasemassa kaukolämmön kannattavuuden kannalta. Huolto- ja kunnossapitotöistä aiheutuu rahallisten kustannuksien lisäksi haittaa esimerkiksi kaupungin liikenteelle. Kaukolämpöverkon käyttöajan tulisi Suomessa olla noin 30-50 vuotta. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50-51.)

Kaukolämpöjohdot mitoitetaan tarvittavan tehonsiirron eli kunkin verkon osan huippukulutuksen mukaan. Keskenään samankokoiset teräksiset meno- ja paluuputket kulkevat vierekkäin maan alla noin 0,5-1 metrin syvyydessä. Joissain tapauksissa

putket voivat kulkea myös maan päällä esimerkiksi kannakoituna siltojen rakenteisiin. Siirtojohto kulkee tyypillisesti lämmöntuotantolaitosten ja eri alueiden välillä. Kaukolämpövesi jaetaan runko- ja jakelujohdoilla siirtojohdoista talojohdoihin. Talojohdoista käytetään myös nimitystä liittymisjohto, sillä talot yhdistyvät niiden avulla muuhun kaukolämpöverkkoon. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50-51; Lämpöä kotiin verkosta n.d.)

Kaukolämpöputkisto mitoitetaan Suomessa yleensä 120 °C:n mukaan. Kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilan mukaan 65-115 °C:seen. Paluueden lämpötila on noin 45-60 °C. Keskimääräiset lämpötilat ovat menovedelle noin 85 °C ja paluuedelle noin 50 °C. Verkoston enimmäispaine on 16 bar. Suomen kaukolämpöverkosta yli 90 % koostuu teräksisistä putkista. Muita käytössä olevia putkimateriaaleja ovat kupari ja muovi. Muovisessa ns. matalalämpöverkossa lämpötila on tavallisesti suurimmillaan 80 °C. Enimmäispaine on tyypillisesti 4-10 bar. Muovisista putkista koostuva verkko on ns. kevytkaukolämpöverkko, jota käytetään esimerkiksi uusilla asuinalueilla, joiden rakennukset ovat energiatehokkaita. Tällöin lämmöntarve on pieni. Kevytkaukolämpöverkon rakentamisesta aiheutuvat investointikustannukset ovat pienemmät kuin raskaan teräsputkista koostuvan kaukolämpöverkon rakennuskustannukset. Toisaalta matalalämpöisessä verkossa rakennuskustannuksia nostaa suurempi putkikoko, joka johtuu pienemmästä käytettävissä olevasta lämpötilaerosta. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 56; Kala, Laukkanen, Siitonen, Siitonen & Ståhl 2010, 49; Kaukolämmön tuotanto uudistuu n.d.; Kaukolämmön käsikirja 2006, 155; Älykäs kaupunkienergia 2018, 16.)

Kaukolämpöverkon putket mitoitetaan kyseisen verkoston osan tarpeiden mukaan. Putket valitaan niin, että laskennallisesta putkihalkaisijasta valitaan seuraava suurempi koko mahdolliset tehonlisäykset huomioiden. Laskennallinen putkikoko laskeaan kaavalla 1:

$$d_{lask} = \sqrt{\frac{4 \times q_v}{\pi \times v_{mit}}} \quad (1)$$

jossa

$d_{lask}$  = laskennallinen putkihalkaisija, m

$q_v$  = kaukolämpöveden virtaama, m<sup>3</sup>/s

$v_{mit}$  = mitoituksessa käytettävä kaukolämpöveden virtausnopeus, m/s

Putkien mitoitukseen vaikuttavat tarvittu kaukolämpöteho, jäähtymä ja tehontarpeen vaihtelu. Kaukolämpöverkoston mitoittaessa lasketaan tarvittu teho kaavalla 2:

$$\phi = \rho \times q_v \times c_p \times \Delta T \quad (2)$$

jossa

$\phi$  = kaukolämpöteho, kW

$\rho$  = kaukolämpöveden tiheys, kg/dm<sup>3</sup>

$q_v$  = kaukolämpöveden virtaama, dm<sup>3</sup>/s

$c_p$  = kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kg × K) ja

$\Delta T$  = kaukolämpöveden jäähtymä, K.

#### 4.5 Painehäviöt ja -erot

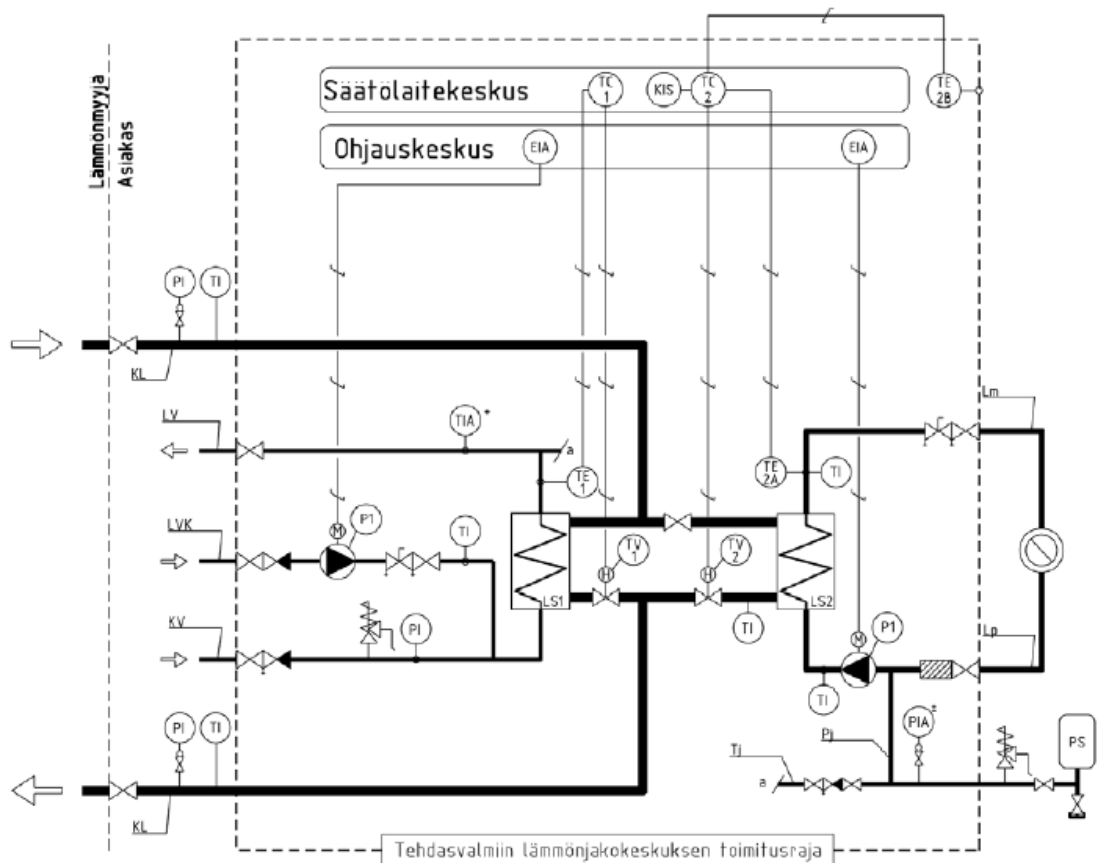
Kaukolämpöverkon meno- ja paluuputken välinen paine-eron suuruus riippuu verkon rakenteesta. Tuotantolaitosten läheisyydessä paine-ero voi olla jopa yli 10 bar.

Muissa verkon kohdissa paine-ero on tyypillisesti kuitenkin paljon pienempi. Liitettäessä uusia lämmönlähteitä kaukolämpöverkkoon, on huomioitava siinä kohdassa normaalioloissa vallitsevat paineet ja paine-erot. (Sirola & Tiitinen 2018, 3.)

Kaukolämpöverkostossa tapahtuu väistämättä paine- ja lämpötilahäviöitä. Siirtojoh-tojen häviöt putkikilometriä kohden ovat tyypillisesti noin 0,5-1 bar. Runko- ja jakelu-johtojen painehäviöt ovat noin 2 bar putkikilometrillä ja talojohdoilla 1-2 bar putkiki-lometrillä. Verkoston painehäviöitä kompensoidaan verkoston varrelle sijoitetuilla välipumppaamoilla. Paineen ylläpidon toteutus välipumppaamoilla laskee huomatta-vasti siitä koituvia kustannuksia, verrattuna pelkillä tuotantolaitoksen pumpuilla to-teutettuun paineen ylläpitoon. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 47-54.)

## 4.6 Asiakslaitteet

Lämmönjakokeskus yhdistää asiakkaan laitteiston kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöveden lämpöenergia siirretään lämmönjakokeskuksen kautta kuluttajan käyttöön. Rakennuksen lämmönjakojärjestelmän vesi ja kaukolämpövesi pysyvät erillään lämmön siirtyessä lämmönvaihtimien välityksellä. Lämmönjakokeskuksessa on omat lämmönsiirtimet eri kulutuskohteille esim. tilojen lämmitykselle ja käyttöveden lämmitykselle. Kaukolämpöä käyttävän rakennuksen kannattaa toteuttaa myös ilmanvaihdon tuloilman lämmittäminen kaukolämmön avulla. Lämmönjakotapa voi olla joko patteri-, lattia-, ilma- tai ilmanvaihtolämmitys (Lämpöä kotiin verkosta n.d.). Kaukolämpövedestä lämpö siirretään rakennuksen omaan lämmitysjärjestelmään lämmönvaihtimen avulla. Kaukolämpövesi ei koskaan sekoitu kiinteistön vesien kanssa. Suomessa asiakkaan kaukolämpötehoa säättävät lämmönjakokeskuksen säätölaitteet. Käytännössä säätö tapahtuu säätämällä kaukolämpöveden virtausta. Lämmönjakokeskuksen tärkeimmät osat ovat pumput, säätölaitteet ja lämmönsiirtimet. Muita laitteita teollisesti valmistetussa lämmönjakokeskuksessa ovat esimerkiksi anturit, toimintojen hälyttimet, mittarit ja lianerottimet. Laitteet on lämpöeristetty ja veden virtaussuunnat on merkitty virtausnuolin ja tekstein. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 64-65). Kuviossa 5 on esitetty tyypillinen kaukolämmön kytkentäkaavio.



Kuvio 5. Kaukolämpökytkentä (Rakennusten kaukolämmitys 2014, 32)

Rakennuksissa kaukolämmön liitäntä sijaitsee ensisijaisesti samassa tilassa muiden yhdyskuntateknisten järjestelmien, kuten veden, sähkön ja tietoliikenteen, kanssa. Keskitettäessä talojohdot ja -kaapelit samaan kaivantoon säästetään kustannuksissa. Tekninen laitetila pyritään sijoittamaan kiinteistössä mahdollisimman lähelle kaukolämmön runko- ja jakelujohtoja, jotta liittymisjohdot jäisivät lyhyiksi ja kaivuun tarve erityisesti rakennuksen alla ja sisällä olisi vähäinen. Laitteiden asuinhuoneistoon aiheuttama ääni tulee pysyä alle sallitun äänitason ylärajan. Teknisen laitetilän lämpötila tulee olla 10 – 35 °C ja siellä on oltava riittävä ilmanvaihto. (Rakennusten kaukolämmitys 2014, 4-5.)

#### 4.7 Lämmönvaihtimet

Suomen kaukolämpöjärjestelmissä lämmönvaihtimet ovat useimmiten kytketty vastavirtasiirtimiksi. Tällöin kaukolämpövesi ja asiakkaan lämmitysjärjestelmän vesi

kulkevat vaihtimen läpi keskenään eri suuntiin. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 64-69; Çengel & Ghajar 2015, 648-650.)

Kiinteistön lämmönvaihtimet mitoitetaan rakennuksen lämmitystehontarpeen mukaan niin, että kaukolämpöveden jäähtymä olisi mahdollisimman tehokas kaikissa käyttötilanteissa (Rakennusten kaukolämmitys 2014, 12). Käyttöveden lämmönsiirtimen teho lasketaan toisiopuolen mitoitusvirtaaman ja vaihtimen yli vallitsevan lämpötilaeron avulla. Ilmanvaihdon lämmönsiirron tehontarpeeseen vaikuttaa ilmavirran lämmitykseen tarvittu lämpöteho lisäksi lämmön talteenoton tehokkuus. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 64-69.)

Kaukolämmön historiassa on suosittu erilaisia lämmönvaihtintyyppisiä, joita on edelleen kytkettynä kaukolämpöverkkoihin. Erilaisilla lämmönvaihtimilla on keskenään erilaisia lämpötekniisiä ominaisuuksia. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 68). Erilaisia lämmönvaihtimia ovat esimerkiksi:

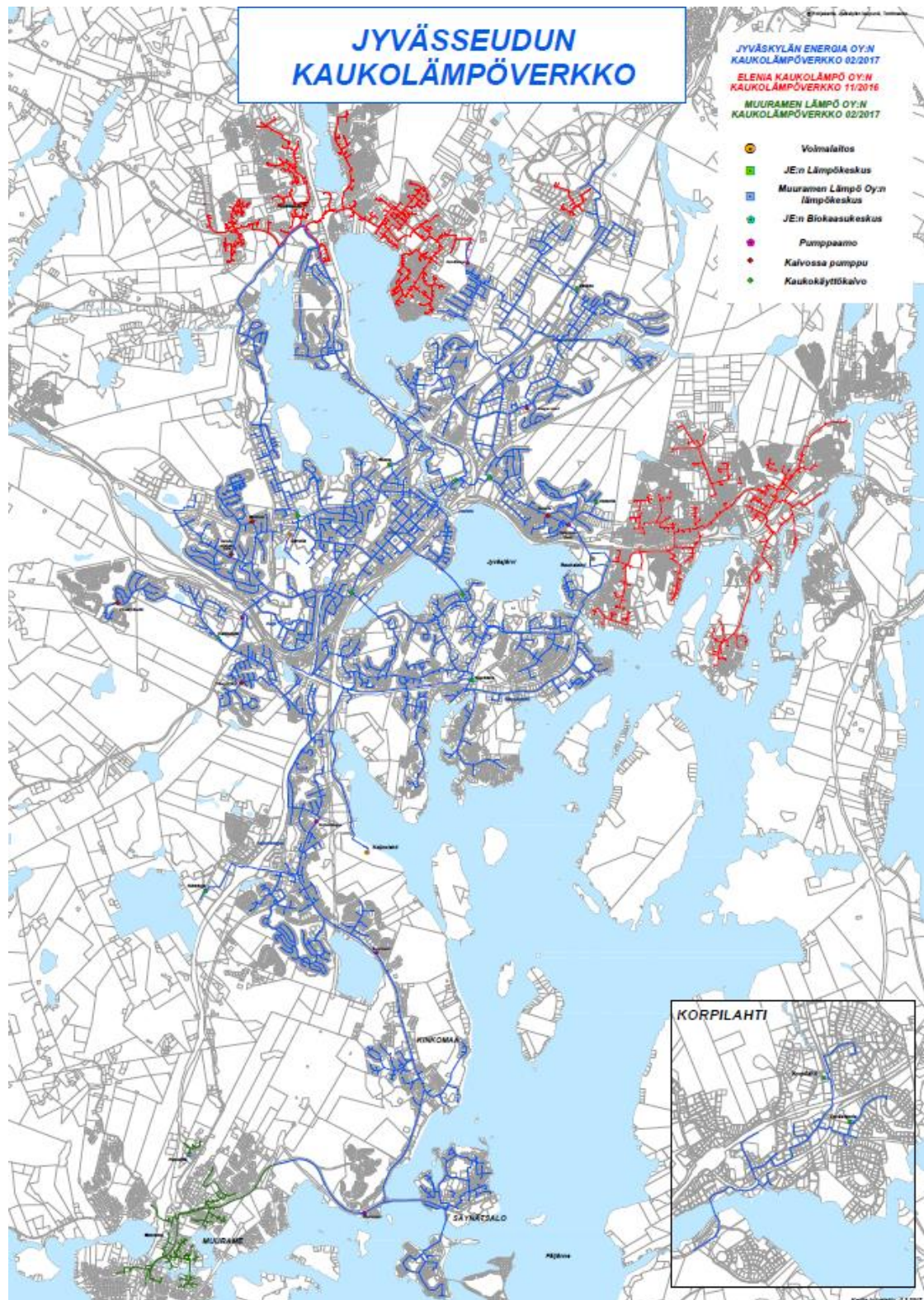
- levylämmönvaihtimet,
- kierukkalämmönvaihtimet ja
- suoraputkilämmönvaihtimet.

Levylämmönvaihtimen levyt voidaan kiinnittää toisiinsa joko juottamalla tai tiivisteellä. Juotetut levylämmönvaihtimet ovat kaikkein yleisin ratkaisu esimerkiksi rakennusten lämmönjakokeskuksissa. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 70.) Levylämmönvaihtimet sopivat erityisen hyvin lämmönsiirtoon kahden nesteiden välillä. Tällöin nesteiden välinen paine-ero tulee kuitenkin olla melko pieni. Putkilämmönvaihtin voi toimia joko myötä- tai vastavirtaperiaatteella. (Çengel & Ghajar 2015, 648-650.)

Lämmitysjärjestelmän optimoimiseksi kannattaa jokaiselle erilaiselle lämmityspiirille olla oma lämmönvaihtin säätöineen. Lämmitysjärjestelmän erilaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi toiminta-aika ja lämpötila. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 65.)

## 4.8 Jyväskylän Energian kaukolämpöverkot

Suurin osa Jyväskylän kaupungin alueen kaukolämpöverkosta on Jyväskylän Energian omistamaa. Yhtiön kaukolämpö tuotetaan lähinnä sähkön ja lämmön yhteistuotannolla. Jyväskylän Energialla oli vuonna 2017 kaukolämpöverkkoa noin 469 km. Yhtiön kaukolämpöverkot ovat perinteisiä korkealämpöisiä verkkoja. Kaukolämmön asiakkaita yhtiöllä oli vuonna 2017 noin 4881. (Yhteiskuntavastuuraportti 2017, 2018). Kuviossa 6 on esitettyä vuoden 2017 kartta Jyväskylän alueen kaukolämpöverkoista. Jyväskylän Energia Oy:n omistama kaukolämpöverkko on esitettyä kuviossa sinisellä.



Kuvio 6. Jyväskylän alueen kaukolämpöverkot vuonna 2017



#### 4.9 Kaukolämmön tulevaisuus

Päästölupien hinnan nousu tulevaisuudessa kannustaa teollisuutta vähentämään ympäristöpäästöjä. Yksi teollisuuden keinoista vähentää ympäristöpäästöjen määrää on laitteistojen ja toimintojen sähköistäminen. Todellista ympäristöpäästöjen vähentymistä sähköistäminen edistää kuitenkin vain, mikäli sähkö on tuotettu ympäristöystävällisellä tavalla. Sähkön hyödyntäminen on taloudellisesti kannattavaa lähinnä sen ollessa edullista ja kun sillä mahdollistetaan esimerkiksi hukkalämmön hyödyntäminen. Kaukolämmön tuotannossa voidaan hyödyntää sähköä esimerkiksi lämpöpumppujen avulla. Kaukolämpöverkkoon pyritäänkin lisäämään ei-polttavia lämmöntuotantotekniikoita. Energijärjestelmät pyritään tulevaisuudessa integroimaan toisiinsa tiiviimmin kuin ennen. (Hiilineutraali Suomi 2030-luvulla? n.d.)

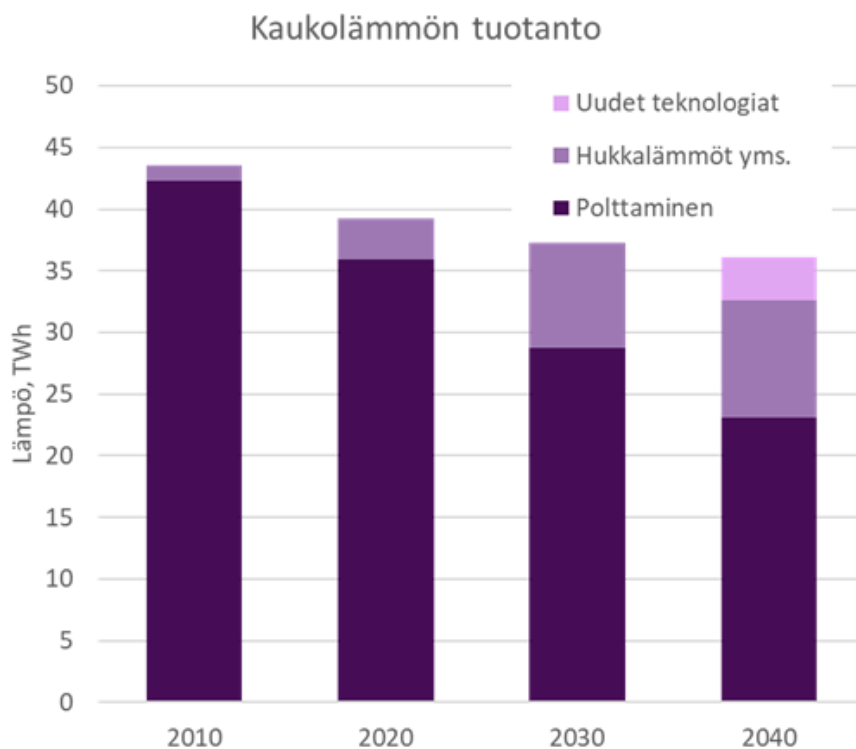
Odotettavissa on, että kiinteistöjen lämmitystarve pienenee ja jäähdytyksen tarve kasvaa tulevaisuudessa. Myös tehon- ja energiantarpeen välisen suhteen arvellaan muuttuvan. Erityisesti uusilla asuinalueilla lämmöntarve on tyypillisesti pieni, koska uudisrakennukset ovat energiatehokkaita. (Kaukolämmön tuotanto uudistuu n.d.; Kaukolämpöalan strategia 2013, 4-5.)

Uudet energiatehokkaat asuinalueet mahdollistavat erilaisia energiateknisiä ratkaisuja. Tällöin voidaan esimerkiksi hyödyntää enenevässä määrin kevytkaukolämpöverkkoa, joka on tavalliseen korkealämpöiseen raskaaseen kaukolämpöverkkoon verrattuna edullisempi rakentaa. Hukkalämpövirtoja ja esimerkiksi aurinkokeräimillä tuotettua lämpöä on mahdollista hyödyntää matalalämpöisessä kaukolämpöverkossa huomattavasti helpommin kuin korkealämpöisessä verkossa. (Kaukolämmön tuotanto uudistuu n.d.; Älykäs kaupunkienergia 2018, 16-48.)

Suomen hallitus teki lakiesityksen lokakuussa 2018 ns. hiililaista, jonka mukaan kivihiilen käyttö energiantuotannossa kielletään Suomessa 1.5.2029 alkaen (HE 200/2018 2018). Nykyisin kivihiiltä käytetään esimerkiksi suurissa CHP-laitoksissa. Kivihiilen käytön korvaaminen uusiutuvilla polttoaineilla vaatii erilaisia teknisiä ratkaisuja. Nykyisin sitä poltetaan esimerkiksi pölypolttona puupelletin kanssa. Suomessa

kehittelään myös biohiilen valmistus- ja käyttötekniikkaa, joiden avulla voidaan korvata kivihiilen käyttöä. (Kaukolämmön tuotanto uudistuu n.d.)

Raskasta polttoöljyä korvataan uusiutuvilla vaihtoehdoilla. Esimerkiksi bioöljyn käyttöön siirtyminen vaatii suhteellisen pieniä muutoksia käytössä olevaan tekniikkaan ja laitteistoihin. Bioöljy valmistetaan puuhakkeesta ja muista puumateriaaleista. Bioöljyä voidaan valmistaa esimerkiksi pyrolyysitekniikalla. (Kaukolämmön tuotanto uudistuu n.d.)



Kuvio 7. Kaukolämmön tuotanto tulevaisuudessa (Hiilineutraali Suomi 2030-luvulla? n.d.)

Kuviossa 7 on esitettyä 2010 ja 2020 kaukolämmöntuotannon kehitys sekä ennusteet vuosille 2030 ja 2040. Ennusteiden mukaan hukkalämmön hyödyntäminen lisääntyy tulevaisuudessa kaukolämmön tuotantomuotona ja alalle kehitetään uusia teknologioita.

Kaukolämmön tuotannossa pyritään täysin eroon fossiilisista polttoaineista sekä turpeesta. Tulevaisuudessa siirrytään hyödyntämään yhä lisääntyvässä määrin hukkalämpöä, geotermistä energiaa ja muita uusia ratkaisuja. Polttolaitoksissa siirrytään

fossiilisen polttoaineen ja turpeen polttamisesta puupolttoaineiden käyttöön. Käytettävät puupolttoaineet ovat metsäteollisuuden sivutuotteita, hakkuutähteitä, metsänhoidollisten hakkuiden pienpuuta sekä kierrätettyä puuta, eli puupolttoainetta ei hankita kaatamalla metsää energiantuotannon tarpeisiin. Kaikkialla Suomessa ei kuitenkaan ole kotimaista puupolttoainetta saatavilla riittävästi, joten osa puupolttoaineesta tuodaan ulkomailta. Vaikka kaukolämmön kulutuksen määrä vähenee tulevaisuudessa, puun kulutus kasvaa energiakäytössä. On myös odotettavissa, että yhteistuotannon määrä vähenee ja lämpölaitosten määrä lisääntyy tulevaisuudessa. (Hiilineutraali Suomi 2030-luvulla? n.d.)

Suomen teollisuustuotanto kasvaa ja siksi myös sen energiankulutus lisääntyy. Esimerkiksi vuosina 2016-2017 teollisuuden energiankäyttö lisääntyi Suomessa noin 2%. Metsä- ja kemianteollisuus ovat Suomessa merkittäviä teollisuuden aloja ja niiden kasvusta aiheutuu myös niiden lisääntyvä energiankulutus. Puupolttoaineiden kulutus on kasvanut energianlähteistä eniten erityisesti metsäteollisuudessa. Kasvu johtuu osittain lisääntyneestä tuotantokapasiteetista. Puupolttoaineiden osuus teollisuuden kuluttamasta energiasta on noin 39 % ja se on ollut viime vuosina nousussa, kun taas fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus ovat olleet laskussa. Metsäteollisuuden osuus Suomen teollisuuden energiankulutuksesta on noin 60%. Toimialan oman sähköntuotannon takia metsäteollisuuden osuus Suomen teollisuuden sähkön netto-ostoista on noin 40 %. (Hiilineutraali Suomi 2030-luvulla? n.d.; Teollisuuden energiankäyttö kasvoi kaksi prosenttia vuonna 2017, 2018.)

## 5 Kaksisuuntainen kaukolämpö

### 5.1 Yleistä

Kaksisuuntainen kaukolämpö mahdollistaa kaukolämpöä kuluttaville asiakkaille ylimääräisen lämpöenergian myynnin. Asiakas voi halutessaan tuottaa lämpöä myyntiä varten. Esimerkiksi mittaustiedon ja -teknologian kehittyminen edesauttavat kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon kehitystä ja mahdollisuuksia. (Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat 2016; Tulevaisuuden asiakasratkaisut n.d.) Ruotsissa tuotettiin noin 6,4% kaukolämmöstä ylijäämälämpöä hyödyntämällä

jo 2010 -luvun alkupuolella. Ruotsin teollisuuden rakenne muistuttaa hyvin pitkälti Suomen teollisuuden rakennetta. (Bröckl, Immonen & Vanhanen 2014, 11.)

Asiakkaiden kiinnostus lämmön myyntiin johtuu lähinnä saatavasta taloudellisesta hyödystä. Kiinnostusta lisäävät myös ympäristölliset ja imagolliset näkökulmat. Hukkalämmön myynti on useimpien teollisuusasiakkaiden näkökulmasta ydinliiketoiminnan ulkopuolista toimintaa, mikä omalta osaltaan rajoittaa kiinnostusta. (Bröckl ym. 2014, 12.)

Kaukolämmön kaksisuuntaistaminen voi vastata keskitetyn ja hajautetun lämmöntuotannon yhdistämisen haasteeseen. Kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon haasteena on pientuotannon kilpailukyky perinteiseen keskitettyyn kaukolämmön tuotantoon verrattuna. Hajautetun lämmöntuotannon käytön edellyttämien investointien takia kaksisuuntainen lämpökauppa osoittautuu usein taloudellisesti kannattamattomaksi. Kaukolämpöverkkojen laaja-alainen kaksisuuntaistaminen vaatiikin käytännössä pientuotannon kilpailukyvyyn parantumista. Kaukolämpöverkkoon voidaan syöttää esimerkiksi teollisuuden hukkalämpöä ja aurinkoenergialla tuotettua lämpöä. Kaukolämpöverkon kaksisuuntaistamisella voidaan parantaa sen kilpailukykyä muihin lämmitysmuotoihin nähden. (Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat 2016.)

Hukkalämmön hyödyntäminen tulee olla taloudellisesti kannattavaa ja teknisesti toteutettavissa. Teknitaloudelliset vaatimukset toteutuvat helpoiten teollisuuskohteissa, joissa hukkalämpömäärät ovat usein suuret. Pienlämmöntuotantoa ei pidetä yhtä kannattavana vaihtoehtona. Kiinnostusta hukkalämmön hyödyntämiseen voi laskea esimerkiksi itsetuotetun kaukolämmön ja hukkalämmön hintaero. Kaukolämpöyhtiön kannalta on kannattavaa hyödyntää hukkalämpöä lähtökohtaisesti vain silloin kun se on halvempaa kuin itse tuotettu kaukolämpö. Mikäli kaukolämmön peruskuorma tuotetaan CHP-voimalaitoksilla, saatetaan haluta välttää lämmön syöttämistä kaukolämpöverkon paluupuolelle esimerkiksi voimalaitoksen sähköntuotannollisista syistä. (Bröckl ym. 2014, 13-16.)

Kaukolämpöyhtiö voi maksaa parasta hintaa hukkalämpövirrasta, joka on syntyessään mahdollisimman lähellä paikallisen kaukolämpöverkon menoveden lämpötilaa.

On myös mahdollista, että tuotantolaitoksen sijainti kaukolämpöverkossa vaikuttaa hukkalämmön kauppahintaan. Paikallisen verkon siirtokapasiteetti tuo myös omalta osaltaan haasteita taloudelliseen kannattavuuteen. (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit 2016, 8-10.)

## 5.2 Teollisuuden hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpönä

Hukkalämmön hyödyntäminen on tyypillistä energia-alan kiertotaloutta. Tulevaisuudessa on mahdollista hyödyntää myös tavallisten kiinteistöjen hukkalämpövirtoja kaukolämmössä. Teollisten tuotantolaitosten sivuvirrat ovat kuitenkin tyypillisesti paljon suurempia ja niissä on suuremmat lämpömäärät. Suurempien lämpömäärien käytöstä on huomattavasti helpompi saada taloudellista hyötyä kuin esimerkiksi tavallisten kiinteistöjen pienistä lämpövirroista. (Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat 2016; Sirola & Tiitinen 2018, 1.)

Teollisuuslaitoksissa syntyy erilaisissa prosesseissa valtavasti hukkalämpöä. Lämmön siirron yhteydessä tapahtuu aina jonkin verran lämpöhäviöitä ja energiatehokkuuden kannalta paras vaihtoehto on hyödyntää ylimääräinen lämpö heti samassa prosessissa, jossa se on syntynyt. On myös tehokasta käyttää prosessin hukkalämpöä tehtaan muussa prosessissa, esimerkiksi rakennuksen lämmityksessä. Jos kaikkea hukkalämpöä ei voida hyödyntää tehtaan omaan käyttöön, voidaan sitä hyödyntää mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi kaukolämpöverkossa. Mikäli lämpöä ei ole teknistaloudellisesti kannattavaa hyödyntää suoraan, voidaan sillä tuottaa sähkö esimerkiksi ORC-sähkövoimalaitoksissa. (Kataikko & Maaskola 2014, 6-16; Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat 2016; Sirola & Tiitinen 2018, 1.)

Teollisuuden hukkalämmön hyödyntämistä on siis useimmiten kannattavaa kartoittaa seuraavassa järjestyksessä:

1. laitoksen sisäiset käyttömahdollisuudet,
2. laitoksen ulkopuoliset käyttömahdollisuudet,
3. sähkön tuotanto lämmön avulla.

Teollisuuden hyödyksi käyttämästä ylijäämälämmöstä suurin osa käytetään tehtaan alueella ja vain murto-osa sen ulkopuolella (Tuotannon hukkalämpö hyödyksi n.d.). Laitoksen sisäisillä käyttömahdollisuuksilla tarkoitetaan hukkalämmön hyödyntämistä sekundäärienergiana esimerkiksi tuotantoprosesseissa tai kiinteistön lämmityksessä. Tuotanto- tai muissa prosesseissa hukkalämmön hyödyntämiskeinoja ovat esimerkiksi kytkentämuutokset, lämpöpumput, termokompressorit ja komprimointi. (Heikkilä & Kiuru 2014, 11-13.)

Kaukolämpöverkon lämpötilatason takia joudutaan hukkalämpövirran lämpötilaa useimmiten nostamaan ennen sen ohjaamista kaukolämpöverkkoon. Paine- ja lämpötilataso optimoidaan ”priimaamalla”. Mikäli hukkalämpö on jo valmiiksi riittävän korkeassa lämpötilassa, voidaan se syöttää lämmönvaihtimen avulla kaukolämpöverkon menopuolelle. Mikäli lämpötila on verkkoa alhaisempi, tarvitaan järjestelmään lämpöpumpputekniikkaa nostamaan lämpötilataso riittävän korkeaksi. Jokainen verkkoon liitettävä lämmönlähde käyttäytyy yksilöllisesti. (Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat 2016; Sirola & Tiitinen 2018, 1.)

Tyypillisiä haasteita hukkalämmön hyödyntämisessä ovat sen vaihtelut esimerkiksi tehtaan tuotannon mukaan. Lämpövirrat voivat vaihdella erittäin suuresti vuodenajan tai vuorokaudenajan mukaan, mikä aiheuttaa energiayhtiölle hankaluuksia arvioida ja varmistaa riittävä lämmönsaanti kaukolämpöverkolle. Tuotantolaitoksen tulee myös olla lähellä asutusta yms. kaukolämmön käyttöpaikkaa ja kaukolämpöverkon läheisyydessä. Suuret teollisuuslaitokset sijaitsevat tyypillisesti taajama-alueiden ulkopuolella. Lämmön varastoinnin korkeista kustannuksista ja lämpöhäviöistä johtuen hukkalämpöä täytyy syntyä juuri silloin, kun lämmölle on tarvetta. Kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon toimintaan vaikuttavat kaukolämpöverkkojen erot esimerkiksi koon, verkon-, tuotannon- ja asiakasrakenteen puolesta. (Sirola & Tiitinen 2018, 1; Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat 2016.)

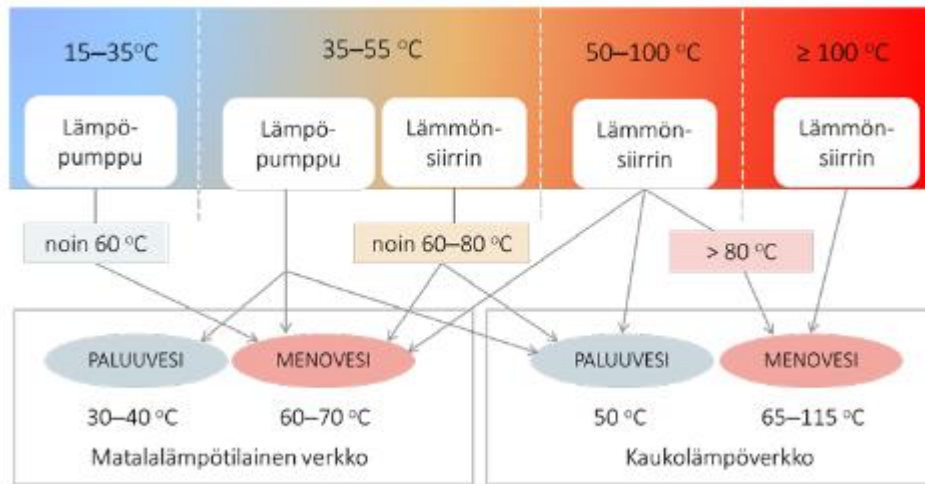
Kaukolämpöverkkoon liittymisen mahdollisuus ja liitântätapa on selvitettävä tapauskohtaisesti. Selvityksessä on tarkasteltava esimerkiksi:

- verkkoon siirrettävän lämmön arvoa

- hukkalämmön syrjäyttämää muuta kaukolämmöntuotantoa
- syötettävän veden lämpötilaa ja sen säätöä
- pumpausta ja verkostopaineita
- toimitusvarmuutta
- koko järjestelmän toiminnan optimointia
- verkon käyttöä ja sen hallintaa
- verkon mitoitusta ja pullonkauloja
- liittymiskohtaa ja -tapaa
- laitteiden ja laitteistojen investointi- ja ylläpitovastuita ja kustannusjakoa, koskien myös huippu- ja varatehon hankintaa sekä ylläpitoa. (Sirola & Tiitinen 2018, 2.)

Hukkalämmön myyjän on varauduttava mahdollisiin kaukolämpöverkon vikatilanteisiin, joissa verkko ei pysty ottamaan lämpöä vastaan. Tällöin myyjän on pystyttävä ohjaamaan lämpö muualle tai jopa pysäytettävä tuotantonsa. (Sirola & Tiitinen 2018, 2.)

Käytännön haasteena on myös se, että CHP-tuotantolaitoksissa lämpöä tuottavien energiayhtiöiden ei välttämättä kannata hyödyntää hukkalämpöä paluuveden lämmitykseen, koska se laskee voimalaitoksen hyötysuhdetta ja saadun sähkön määrää. Hukkalämmön syötöstä aiheutuvaa paluuveden lämpötilan nousua voidaan kompensoida esimerkiksi lisäämällä paluuveden piiriin kulutuskohteita. Haasteita ilmenee myös kaukolämmön toimitusvarmuudessa. (Kala ym. 2010, 50.)



Kuvio 8. Ylijäämälämmön käyttö lämpötilatasoittain (Ylijäämälämmön hyödyntäminen 2014, 13)

Hukkalämmön talteenottotekniikka valitaan sen mukaan, missä lämpötilassa ja missä muodossa lämpövirta on. Kuviossa 8 on esitettyä eri lämpötilatasojen hyödyntämismahdollisuudet kaukolämpöverkoissa ja niiden vaatimat laitteet. Matalalämpöisessä kaukolämpöverkossa hukkalämpöjen hyödyntäminen on huomattavasti helpompaa kuin korkealämpötilaisessa verkossa. Hukkalämmön hyödyntäminen on mahdollista matalalämpöisessä kaukolämpöverkossa jopa alle 35 °C lämpötilassa lämpöpumpun avulla. Korkealämpöisessä kaukolämpöverkossa voidaan hyödyntää vähintään 35 °C lämpöistä hukkalämpövirtaa lämpöpumpun avulla. Kaukolämpöverkon toiminnan kannalta tehokkain vaihtoehto olisi syöttää hukkalämpöä menoveteen, mikä on kuitenkin mahdollista vain yli 80 °C lämpövirroilla. Alle 80 °C lämpövirta joudutaan hyödyntämään kaukolämpöverkon paluupuolelle. Hukkalämmön syöttäminen paluuveteen on lähtökohtaisesti kannattavampaa, mikäli kaukolämpöverkossa ei tuoteta sähköä vastapainevoimalaitoksella (Kala ym. 2010, 50). Kuviossa 8 puuttuu hukkalämmön hyödyntämismahdollisuus korkealämpöisen kaukolämpöverkon menoveteen lämpöpumpun avulla.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Jyväskylän Energia Oy:n kaukolämpöverkon läheisyydessä sijaitsevien teollisuuskohteiden hukkalämpövirtojen hyödyntämismahdollisuuksia joko meno- tai paluuputkistoissa. Jyväskylän Energia Oy:n kaukolämmön peruskuorma tuotetaan CHP-voimalaitoksilla. Tästä syystä hukkalämpövirtoja tulisi



ensisijaisesti syöttää kaukolämpöverkon menopuolelle, jotta sähkön tuotanto ei vähenisi hukkalämpöjen takia.

Matalalämpöisen hukkalämmön hyödyntämisessä on haasteena paluupuolelle syöttämisen lisäksi sen vuosittainen rajallinen hyödyntämisaika. Lähtökohtaisesti alle 80 °C hukkalämpöä ei voida hyödyntää paikallisessa menovedessä. Yli 118 °C hukkalämpöä voidaan sen sijaan hyödyntää menoveden lämmityksessä ympäri vuoden.

Hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttavia ominaisuuksia ovat sen:

- Lämpötilataso
- Entalpiavirran eli lämpötehon suuruus
- Väliaine ja faasi
- Väliaineen kemialliset ominaisuudet
- Väliaineen puhtaus (Heikkilä & Kiuru 2014, 10.)

Väliaineen ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi mahdollisuuksiin hyödyntää lämpöä. Lämmön väliaine ja faasi vaikuttavat sen hyödyntämisen kannattavuuteen ja helppouteen. Ominaislämpökapasiteetiltaan ja tiheydeltään suurempien aineiden, kuten nesteen ja höyryn, lämpöä on tyypillisesti helpompaa hyödyntää kannattavasti kuin esim. ilman sisältämää lämpöä. Kannattavuus ja helppous johtuu aineensiirron tehokkuudesta ja aineen tilavuudesta. Väliaineen kemiallisia ominaisuuksia ovat esim. myrkyllisyys, pH ja syövyttävyys. Kemiallisten ominaisuuksien takia investointikustannukset nousevat, mikäli joudutaan käyttämään huonosti lämpöä johtavia tai kalliita materiaaleja. Esimerkiksi ammoniakkikaasun myrkyllisyyden vuoksi käytetään usein ylimääräistä lämmönvaihdingpiiriä. Tällöin menetetään kytkennöissä osa energiasta huonomman asteisuuden takia. Väliaineen epäpuhtaus lisää järjestelmän käyttö-, huolto- ja kunnossapitokustannuksia, koska ennen lämmön talteenottoa voidaan tarvita epäpuhtauksien erotusmenetelmiä. (Heikkilä & Kiuru 2014, 55.)

### 5.3 Vaadittu laitteisto ja kytkennät

Teollisuuden hukkalämpöä syntyy monissa eri lämpötiloissa. Suuri osa on kuitenkin matalalämpötilaista. Tavallisen korkealämpöisen kaukolämpöverkon alueella saadun

matalalämpöisen hukkalämpövirran lämpötilaa on nostettava lämpöpumpulla, jotta se voidaan syöttää kaukolämpöverkkoon. (Bröckl ym. 2014; Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit 2016, 8-9.) Lämpöpumppujen tuottaman veden maksimilämpötila on nykyisin noin 90-100 °C. Korkea vaadittu lämpötila laskee lämpöpumpun tehokerrointa. Alhaisen lämpötilan lämpöpumput ovat huomattavasti edullisempia kuin korkean lämpötilan pumput. (Älykäs kaupunkienergia 2018, 16.)

### 5.3.1 Lämmönvaihtimen valinta

Lämmönvaihtimen ominaisuuksiin vaikuttavat lämmönsiirtopinta-ala ja -pituus. Pinta-alan ja pituuden vaikutus korostuvat erityisesti virtaavien nesteiden lämpötilaeron ollessa alhainen. Tarvittava ensiö- ja toisiovesivirta riippuu lämmöntarpeesta ja mitoituslämpötiloista. Tarvittu lämpöteho, virtaama ja lämmönjakokeskuksen sallittu korkein painehäviö ohjaavat lämmönvaihtimien valintaa. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 66-69.)

Lämmönvaihtimen teho voidaan laskea kaavoilla 3 ja 4:

$$\phi = q_v \times \rho \times c_p \times \Delta T \quad (3)$$

tai

$$\phi = q_m \times c_p \times (T_m - T_p) \quad (4)$$

joissa

$\phi$  = lämmönsiirtimen teho, kW

$q_v$  = virtaama, dm<sup>3</sup>/s

$\rho$  = tiheys, kg/dm<sup>3</sup>

$c_p$  = ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kg × K)

$\Delta T$  = lämpötilaero, K

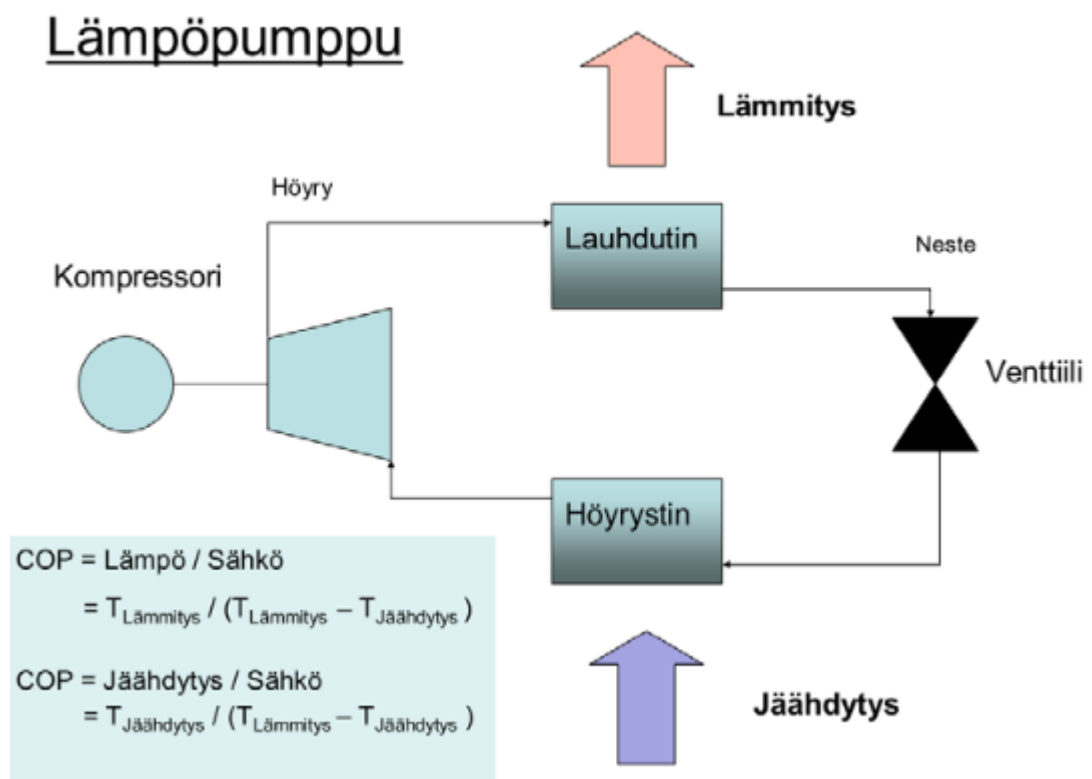
$q_m$  = massavirta, kg/s

$T_m$  = menoveden lämpötila, °C

$T_p$  = tuloveden lämpötila, °C (Mäkelä & Tuunanen 2015, 69.)

### 5.3.2 Lämpöpumput

Lämpöpumpuilla hyödynnetään viileää lämpöä nostamalla sen lämpötilaa. Lämpöpumppprosesseja on erilaisia, mutta ne kaikki perustuvat Carnot:n prosessiin. Lämpöpumput voidaan jakaa avoimen kierron ja suljetun kierron lämpöpumppeihin. Avoimeen kiertoon perustuvat esimerkiksi termokompressorit ja komprimointilaitteet. Sorptiolämpöpumput ja kompressorilämpöpumput perustuvat suljettuun kiertoon. (Kataikko & Maaskola 2014, 16.) Kuviossa 9 on esitettyä lämpöpumppprosessin toimintaperiaate.



Kuvio 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Kataikko & Maaskola 2014, 15.)

Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella, COP. Yksinkertaistettuna COP-arvo voidaan laskea vertaamalla hyödyksi saadun lämpötehon määrää käytettyyn ulkoiseen tehoon. Teollisuudessa COP-kertoimet vaihtelevat laajasti välillä 0,4-30, lämpöpumppprosessista ja kohteesta riippuen. (Kataikko & Maaskola 2014, 18.)

Kaukolämpöratkaisuille tyypillinen korkea vaadittu lämpötila heikentää lämpöpumpun hyötysuhdetta, mikä aiheuttaa taloudellisia haasteita ratkaisujen

kannattavuudelle (Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit 2016, 8.) Lämpöpumpun käytön taloudellinen kannattavuus riippuu käytännössä sen käyttämän sähkön ja tuotetulla lämmöllä korvattun lämmön hintaerosta (Kataikko & Maaskola 2014, 16).

## 6 Opinnäytetyön toteutus

Yritysten esikartoituksessa käytettiin Jyväskylän Energia Oy:n asiakastietokantoja. Kysely lähetettiin 16 eri yritykselle Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella. Kirjallinen vastaus kyselyyn saatiin vain kuudelta yritykseltä. Viideltä yritykseltä kerättiin vastaus joko puhelimitse tai sähköpostitse. Vastaus saatiin siis yhteensä 11 yritykseltä. Lopuilta viideltä ei saatu vastausta. Puhelimitse vastanneista yrityksistä kaksi ilmoitti, että hukkalämpövirtoja ei enää ole tai tuotanto on loppumassa lähitulevaisuudessa. Usealta yritykseltä saatiin vastaus, että hukkalämpövirtoihin ei ole tapahtunut vuonna 2015 tehdyn tutkimuksen jälkeen merkittäviä muutoksia.

Tutkimuksessa käytetty kyselylomake luotiin Webropol-ohjelmistolla. Tulosten käsittelemiseen ja laskelmien tekoon käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa ja kytkentäkuvat piirrettiin AutoCAD Plant -ohjelmalla.

Tutkimuksen suurimpien teollisuuslaitosten lämpövirtoja on tutkittu ja niistä saatiin myös tähän tutkimukseen kaikkein tarkimmat ja luotettavimmat vastaukset. Tyypillisesti pienemmät tuotantolaitokset eivät ole tutkineet lämpöenergiavirtojaan. Kyseisistä kohteista saadut vastaukset olivat epätarkempia ja vaikeammin saatavissa. Erityisesti pienen kokoluokan yrityksiltä saatiin palautetta, että osa kysymyksistä oli liian vaikeita. Esimerkiksi kysymykset 5 ja 6 koettiin vaikeiksi. Kysymykset on esitetty liitteessä 1. Monilla tuotantolaitoksilla ei siis ollut tietoa hukkalämpövirtojensa määrästä ja tehosta, eikä siitä, kuinka monen tunnin aikana vuodessa niitä esiintyy. Teollisuuden pienen kokoluokan tuotantolaitoksien hukkalämpövirroissa havaittiin tarvetta kartoittamiselle ja tutkinnalle.

Asiakastietojen salaamiseksi opinnäytetyössä ei ole mainittu teollisuuskohteiden yrityksiä nimeltä. Teollisuuskohteet toimivat betoni-, elintarvike-, metalli- ja

teknologiateollisuudessa. Taulukossa 1 on esitettyinä ne yritykset, joiden tuotantolaitoksilla syntyi hukkalämpöä. Taulukossa jätettiin pois yritys, jonka tuotanto oli loppumassa. Teollisuuskohteet on nimetty nimillä Kohde 1-9.

Taulukko 1. Kohteiden hukkalämmöt

Kohde	Toimi-ala	Hukkalämpömäärä (MWh/a)	Tuntia (h/a)	Lämpötilat (°C)	Olomuoto
<b>Kohde 1</b>	Elintarviketeollisuus	8800	4000-8760	Alle 35 ja 35-60	Vesi ja kaasu
Kohde 2	Teknologiateollisuus	1000-2000	3650-5110	Alle 35 ja 35-60	Ilma ja vesi
Kohde 3	Metalliteollisuus	1000	8760	35-60	Ilma
Kohde 4	Betoniteollisuus	Ei arviota	150	Alle 35	Ilma
Kohde 5	Betoniteollisuus	Ei arviota	Ei arviota	35-60	Höyry
Kohde 6	Metalliteollisuus	Ei arviota	8760	Alle 35	Ilma ja vesi
Kohde 7	Metalliteollisuus	Ei arviota	4000	35-60, 150, 180	Ilma ja vesi
Kohde 8	Elintarviketeollisuus	Ei arviota	Yli 1440	35-60	Savukaasut
Kohde 9	Metalliteollisuus	Ei arviota	1760	Alle 35	Ilma

Osassa kohteista oli vuoden 2015 tutkimuksen jälkeen tehty parannuksia lämmitysjärjestelmiin ja muita energiatehokkuustoimenpiteitä. Tutkimuksessa kävi ilmi, että hukkalämpöjen hyödyntämistä on lisätty omassa käytössä ja kiinnostus energiatehokkuutta kohtaan on lisääntynyt viime vuosina. Hukkalämpöä on alettu hyödyntää esimerkiksi kiinteistöjen lämmön lähteenä. Tulos tukee sitä, että yleisesti uskotaan energiatehokkuustoimenpiteiden lisääntyneen valtakunnallisesti.

Tutkimuksessa suurin osa hukkalämpövirroista olivat lämpötiloiltaan alle 60 °C. Niitä voitaisiin siis lämpötilan puolesta hyödyntää kaukolämpöverkossa paluuveden lämmityksessä. Hukkalämmön taloudellinen hyödyntäminen kaukolämpöverkon menovedessä vaatii vähintään noin 80 °C lämpötilaa (Kala ym. 2010, 50).

## 7 Teknis-taloudellisen tarkastelun kohde

Tutkimuksen laajuussyistä tarkempaan teknis-taloudelliseen tarkasteluun valittiin vain yksi teollisuuskohteeksi. Kohde valittiin siksi, että sen vuosittaiset hukkalämpömäärät olivat huomattavasti suuremmat kuin muilla kohteilla. Valittu kohde on taulukon 1 kohde 1. Tarkasteltu kohde on elintarviketeollisuuden tuotantolaitos, joka käyttää suuria määriä lämpöä tuotantoprosesseissaan. Kohteesta 1 saadut vastaukset olivat muilta teollisuuslaitoksilta saatuihin vastauksiin verrattuna tarkkoja ja yksityiskohtaisia.

## 7.1 Kohteen lämpövirrat

Kohteen tuotannon vaatima lämpö tuotetaan kiinteän polttoaineen lämpölaitoksella, joka sijaitsee tuotantolaitoksen läheisyydessä. Lämpölaitoksen savukaasujen hyödyntäminen rajattiin pois tutkimuksesta. Kohteella on olemassa kaukolämpöliittymä, mutta hukkalämmön omakäytön takia kaukolämpöä käytetään nykyisin vain lyhyen ajan vuodessa. Hukkalämpöä hyödynnetään jo esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin kohteen kylmäkoneiden tuottamaa hukkalämpöä. Kyselyn vastauksessa saatiin tieto, että kohteen 1 kylmäkoneiden tuottamaa hukkalämpöä olisi vuodessa noin 8 000 MWh. Myöhemmin saatiin tietoa kohteen 1 edustajalta, että kylmäkoneilla syntyykin hukkalämpöä käytännössä enemmän. Kylmäkoneilla syntyy hukkalämpöä vuosittain noin 21 600 MWh eli 21,6 GWh. Lämpömäärä on merkittävä taloudellisesti ja energiatehokkuuden kannalta.

Kohteessa syntyy hukkalämpöä myös lämpölaitoksen savukaasuissa ja teollisuusjätevedessä. Savukaasuissa on arvioitu menevän hukkaan taloudellisesti hyödynnettävää lämpöä vuosittain noin 8 000 MWh. Teollisuusjätevettä syntyy päivittäin keskiarvotilavuudeltaan noin 700 m<sup>3</sup> päivässä. Jäteveden mukana laitokselta poistuu vuosittain noin 5 000 MWh lämpöenergiaa, josta voitaisiin arvion mukaan hyödyntää noin 800 MWh. Jäteveden lämpötila on 17 – 40 °C ja sen lämpötilojen keskiarvo on noin 27 °C. Kohteen 1 teollisuusjäteveden hukkalämmön hyödyntämistä ei tarkasteltu taloudellisesta näkökulmasta pienen lämpömäärän ja tutkimuksen laajuuden takia.

## 7.2 Kohteen tarkasteltava laitteisto

Tarkastelussa keskityttiin kohteen kylmäkeskuksen hukkalämpövirtoihin, koska ne olivat energiamäärällisesti huomattavasti suuremmat kuin kohteen jäteveden hukkalämmöt. Kylmäkeskuksessa on kolme kylmäkoneetta. Vuoden kylmimmän ajan tuotantolaitoksen kylmäkeskus tuottaa kylmätehoa pelkällä kylmäkone 1:llä. Kesäaikaan, kun varastojen yms. jäähdytyksen tarve on suurempi, tuotetaan huipputeho kylmäkoneella 2. Kylmäkone 3 on varalla huoltoseisokkeja ja katkoksia varten. Kohteen 1 kylmäkeskuksen kylmäkoneet ovat taulukossa 2.

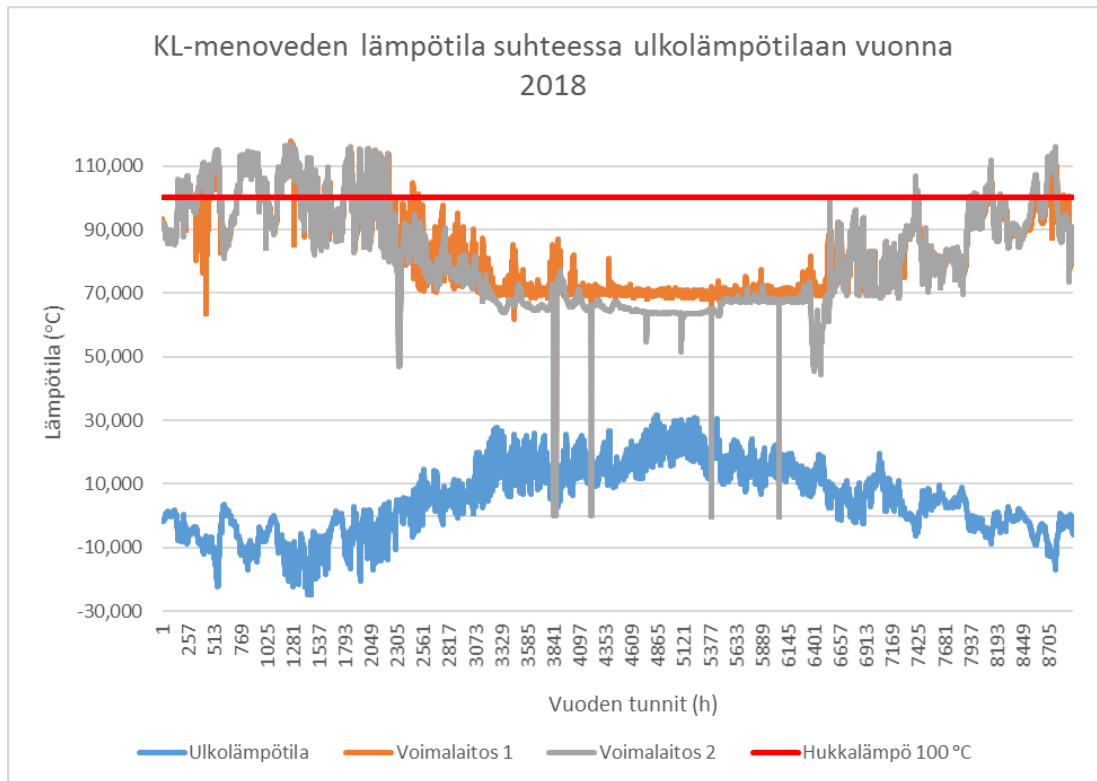
Taulukko 2. Kohteen 1 kylmäkoneet

Kylmäkeskuksen kylmäkoneet	Käyttötilanne	Käyttöaika vuodessa	Kylmäteho (kW)
Kylmäkone 1	Peruskuorma	Koko vuoden	1500
Kylmäkone 2	Huipputeho	Kesäisin	870
Kylmäkone 3	Varateho	Huoltoseisakit ja muut katkokset ym.	1200

Kylmäkoneiden jäähdytysaineena käytetään ammoniakkia eli R717-kylmäainetta. Ammoniakki on väliaineena todella tehokas, koska sen lämmönsiirtokyky tilavuuteen nähden on todella korkea. Ammoniakkikiertoon perustuvat kylmäntuottojärjestelmän komponentit ovat fyysiseltä kooltaan pieniä. Ammoniakki on kuitenkin erittäin myrkyllistä. Kylmäkoneilta NH<sub>3</sub>-kaasu puhalletaan lauhduttimille, jotka siirtävät väliaineen sisältämän lämmön ulkoilmaan. Hukkalämpövirran lämpötila on keskimäärin noin 80 °C.

### 7.3 Kaukolämpöverkon lämpötila

Hukkalämpövirran lämpötilan on oltava suurempi kuin lämmitettävän kaukolämpöveden lämpötila, jotta lämpö siirtyy vaihtimissa haluttuun suuntaan. Lämpöä syötetään kaukolämpöverkon menoveteen, joten lämpötilatason on oltava sen mukainen. Kaukolämmön menoveden lämpötila vaihtelee vallitsevan ulkolämpötilan mukaan. Menoveden lämpötila on siis korkeimmillaan talvella kylmimpään aikaan ja matalimmillaan kesällä lämpimimpään aikaan. Kuviossa 10 on esitettyä voimalaitoksilta lähtevän kaukolämmön menoveden lämpötila suhteessa ulkolämpötilaan vuonna 2018.



Kuvio 10. Kaukolämmön menoveden lämpötila suhteessa ulkolämpötilaan vuonna 2018

Jyväskylän Energia Oy:n kaukolämpöverkon menoveden lämpötila pysyi jatkuvasti alle 100 °C:n vuonna 2018 yli 7500 tunnin ajan. Yhtiö on teettänyt tutkimuksen menoveden lämpötilan optimoimisesta vuosien 2017 ja 2018 aikana. Tutkimuksen tuloksena menoveden lämpötilaa voitiin laskea. Taulukossa 3 on esitettyä vuoden 2018 tuntien määrä, jolloin voimalaitoksilta lähtevän kaukolämmön menoveden lämpötila oli alle 100 °C.

Taulukko 3. Voimalaitoksilta lähtevän kaukolämmön menoveden soveltuvuus aika vuoden 2018 mukaan

Voimalaitos	KL-veden Lämpötila alle 100 °C (h/a)	Keskiarvo (h/a)
Voimalaitos 1	7647	<b>7582</b>
Voimalaitos 2	7516	

Vuonna 2018 kaukolämpöverkon menoveden lämpötila oli pitkiä aikoja 100 °C:n yläpuolella vain vuoden alusta maaliskuun alkuun asti ja joulukuun 20. päivästä vuoden



loppuun. Kuitenkin myös tuona noin 3,5 kuukauden pituisena aikana menoveden lämpötila oli ajoittain jopa alle 90 °C.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin hukkalämmön lämpötilan nostoa 100 °C:seen ja kyseisten investointien kannattavuutta. 100 - celsiusasteista hukkalämpöä voitaisiin syöttää kaukolämpöverkon menoveteen lähes ympäri vuoden. Priimaamatonta hukkalämpöä voitaisiin syöttää kaukolämpöverkon menoveteen vain satunnaisesti vuoden lämpimimpään aikaan.

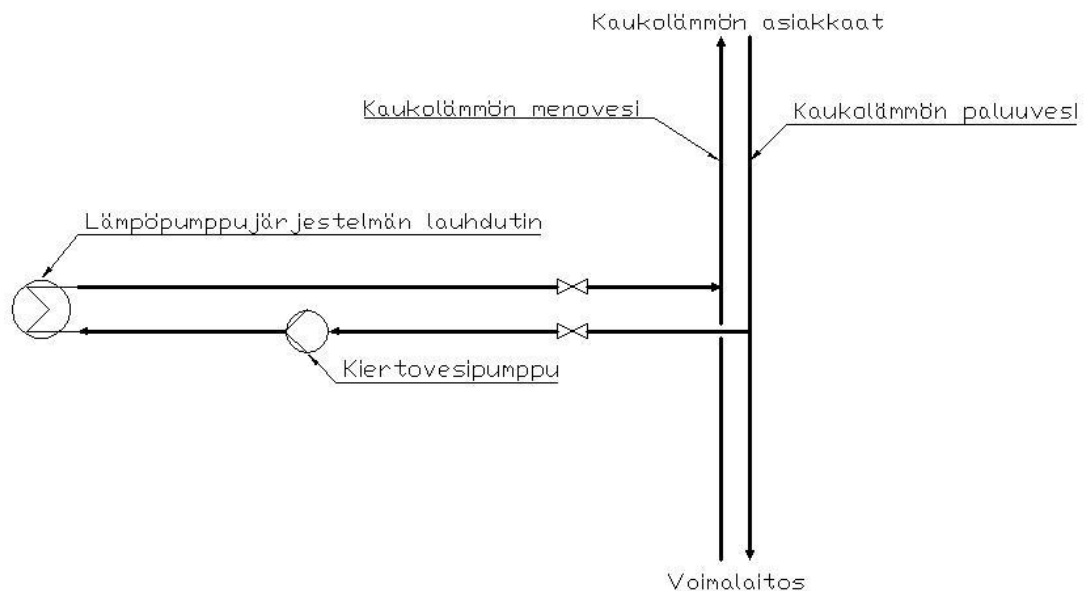
Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon korkean menoveden lämpötilan takia paluueden lämpötilassa on ilmennyt pieniä haasteita. Paluueden lämpötila on noin 43-65 °C. Verkon lämpötilatason noustessa lämpöhäviöt kasvavat, sähköntuotanto heikenee ja savukaasupesurin toiminta huononee. Paluueden lämpötilan tulisi siis olla niin alhainen kuin mahdollista. Jyväskylän Energia Oy:n kaksi CHP-voimalaitosta ovat keskenään erilaisia, ja kaukolämmön paluueden lämpötila vaikuttaa niiden toimintaan eri tavoilla. Keljonlahden voimalaitoksella paluueden lämpötila vaikuttaa lähinnä sähkön tuotantoon. Rauhalahden voimalaitoksella se vaikuttaa myös savukaasupesurin toimintaan ja käyttöaikaan. Sekä savukaasupesurin toiminta että sähkön tuotanto ovat myös taloudellisesti erittäin merkittäviä tekijöitä ja siksi huomioitava suunniteltaessa lämmönlähteiden liittämistä kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöveden riittävän jäähtymän varmistamiseksi sitä joudutaan joissain tilanteissa jäähdyttämään voimalaitoksella järvivedellä. Energiatehokkuuden kannalta tämä ei ole järkevää, eikä paluueden lämpötilaa kannata tarkoituksella nostaa hukkalämmöillä. Savukaasupesurin toimintaa voidaan pitää lämmöntuotantolaitoksen oman hukkalämmön hyödyntämisenä, sillä se lämmittää kaukolämpöveden paluuvettä savukaasujen hukkalämmöllä. Palatessaan voimalaitokselle kaukolämpövesi kulkee ensimmäisenä savukaasupesurin lämmönvaihtimen kautta. Paluulämpötila määrittää myös voimalaitoksen lauhduttimessa vallitsevan lauhtumispaineen.

Paluueden lämpötilan noususta aiheutuvien taloudellisesti merkittävien haasteiden takia Jyväskylän Energian ei todennäköisesti ole toistaiseksi kannattavaa ostaa lämpöä kaukolämpöverkon paluuveteen. Vaikka verkon paluuveteen syötetty energia jääkin verkon haltijan hyödyksi, ei sen syöttäminen ole edellä mainittujen

haittavaikutuksien takia toistaiseksi kaukolämpöyhtiölle kannattavaa. Toisaalta suuren kokonaisvirtaaman takia pienen kokoluokan lämmön syöttäminen paluuveteen ei riittäisi nostamaan sen lämpötilaa merkittävästi.

#### 7.4 Syöttö kaukolämpöverkkoon

Tarkastelussa kohteen 1 kytkentä kaukolämpöverkkoon toteutetaan ottamalla verkosta rinnankytkentänä jäähtynyttä paluuvettä, joka lämmitetään takaisin menolämpötilaan ja syötetään sitten menoveteen. Kohde toimii siis periaatteellisesti kuten lämpökeskus. Lämpöpumppujärjestelmän mitoituksessa paluuveden lämpötila on noin 65 °C, josta se nostetaan kohteen 1 hukkalämmön ja lämpöpumppujen avulla noin 100 °C lämpötilaan. Kuviossa 11 on esitettyä yksinkertaistettu prosessikaavio kohteen 1 esimerkkiliitännästä kaukolämpöverkkoon.



Kuvio 11. Kohteen yksinkertaistettu kytkentä kaukolämpöverkkoon

Kaukolämpöverkon lämmön vastaanottokykyyn vaikuttavat johtojen putkikoko, virtaama, painetaso ja verkon yhdensuuntaisen johdon suurin mahdollinen

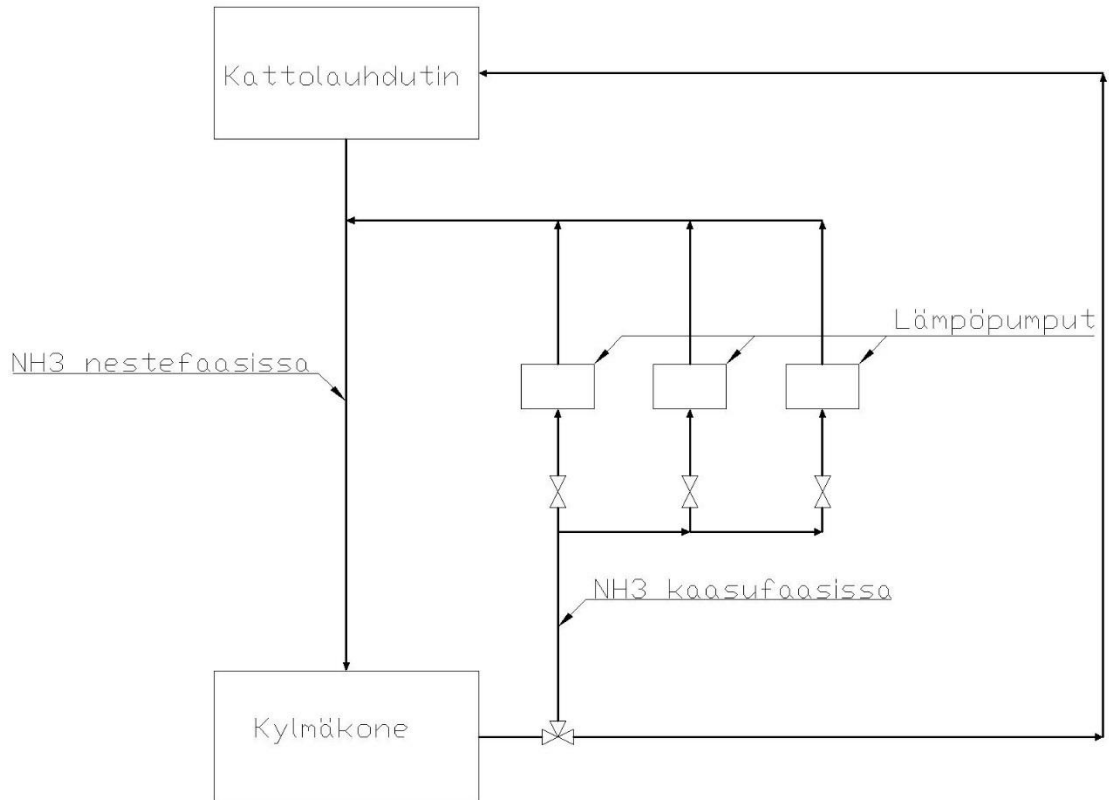
lämpötilaero. Valitun kohteen alueen kaukolämpöverkon ominaisuuksia tarkastellessa todettiin, että verkko pystyy putkikoon puolesta ottamaan vastaan kohteen hukkalämmön, koska lämpö syötetään runkolinjaan. Kohteen 1 hukkalämpö saadaan kulutettua kaukolämpöverkossa vuodenajasta riippumatta.

## 7.5 Vaaditut laitteistot ja niiden investoinnit

Kohteen 1 hukkalämpövirtojen osittainen syöttäminen kaukolämpöverkkoon vaatii investointeja laitteistoihin ja rakennuskustannuksiin. Hukkalämpövirran lämpötilan korotuskeinoksi valittiin lämpöpumppujärjestelmä. Lämpöpumppuinvestointien tiedot ja hinta-arvio pyydettiin teollisuuden lämpöpumppuratkaisuja toimittavalta Calefa Oy:ltä. Lämpöpumppujärjestelmän hinnaksi Calefa Oy arvioi 650 000 € ilman arvonlisäveroa. Konttiin toteutettuna ratkaisuna järjestelmän hinta olisi ollut 695 000 €. Kohteen 1 tapauksessa ei kuitenkaan arvioitu tarvittavaksi konttiratkaisua, koska teollisuuslaitokselta uskottiin löytyvän tilaa lämpöpumppujärjestelmälle.

### 7.5.1 Lämmöntalteenotto ja lämpöpumppujärjestelmä

Hukkalämmön talteenottojärjestelmä sijoitetaan ammoniakkikiertoon ennen kattolauhduuttimia. Ammoniikki ajetaan kaasumaisena korkeassa lämpötilassa lämpöpumppujen höyrystimille. Höyrystimiltä lauhtunut ammoniakki palaa nestemäisenä takaisin kylmäkoneille. NH<sub>3</sub> kaasua voidaan myös ajaa kylmäkoneilta suoraan kattolauhduuttimille. Kuviossa 12 on esitettyä yksinkertaistettu kytkentäesimerkki talteenoton liittämistä kylmäkoneiden jäähdytysainekiertoon.



Kuvio 12. Kylmäkoneiden jäähdytysaineen kierron yksinkertaistettu esimerkki

Lämmöntalteenottolaitteistoa ei ole taloudellisesti kannattavaa mitoittaa täydelle teholle, mikäli saatava hukkalämpövirta ei ole vuoden- ja vuorokauden ajasta riippumatta täysin stabiilia. Kohteen 1 kylmätehotarve vaihtelee vuoden aikana niin, että kesällä tarvitaan kylmää enemmän kuin talvella varastojen jäähdytyksen tarpeen takia. Tästä syystä järjestelmä mitoitettiin osatehoiseksi. Kylmäkoneiden keskimääräinen hukkalämpöteho on noin 2,5 MW. Laitteistojen mitoitustehoksi valittiin 2 MW.

Lämpöpumppujärjestelmä koostuu kolmesta lämpöpumpusta, kiertoovesipumpuista, automaatiojärjestelmästä ja lämpöpumppujen yhdysputkista. Lämpöpumput ovat teholtaan 675 kW ja niiden kompressorit ovat tuplaruuvikompressoreita. Järjestelmän COP-arvo on noin 3,9 ja suurin mahdollinen lämpöteho noin 2025 kW. Ammoniakkikaasu menee lämpöpumppujen höyrystimille mitoitustilassa 80 °C ja poistuu lämpötilassa 25 °C. Kaukolämpövesi tulee lämpöpumppujärjestelmän lämmönvaihtimelle lämpötilassa 65 °C ja poistuu lämpötilassa 100 °C.

### 7.5.2 Rakennuskustannukset

Investointi vaatii kohteeseen DN 150 kokoisen kaukolämpöliittymän. Liittymisjohdot yhdistyisivät noin 400 metrin päässä olevaan DN 200 runkolinjaan. Liittymisjohtoja tarvitaan siis noin 400 metriä. Arviolta rakennuskustannuksia kyseinen matka toisi noin 300 €/metri eli yhteensä 120 000 €. Laskelmissa on käytetty Energiategollisuus ry:n vuonna 2018 julkaisemia keskivertaisia johtorakennuskustannuksia vuodelta 2017. Kustannuksissa on huomioituna kaivuutyöt ja putkistot laitteineen. Rakennustöistä voisi koitua myös jonkin verran haittaa tuotantolaitoksen tuotteiden logistikkalle, sillä linja kaivetaan lastausalueen vieritse alueen poikki.

### 7.5.3 Kokonaisinvestoinnit

Arvioitu kokonaisinvestointi koostuu lämpöpumppujärjestelmän, sähköliittymän ja rakennustöiden hinnasta. Taulukossa 4 on esitetty kokonaisinvestoinnin erittely.

Taulukko 4. Kokonaisinvestoinnin erittely

<b>Kokonaisinvestointi</b>	
Investointi	Arvioitu hinta (€)
Lämpöpumppujärjestelmän kokonaishinta CALEFA Oy (alv0)	650000
Sähköliittymä	38805
Rakennuskustannukset	120000
<b>Yhteensä</b>	<b>808805</b>

Kokonaisinvestointikustannukseksi saatiin noin 808 805 €. Lämpöpumppujärjestelmän hinta ja rakennuskustannukset ovat karkeahkoja arvioita. Sähköliittymän hinta on JE-Siirto Oy:n liittymän perustamishinnoittelu mukainen. Lämpöpumppujärjestelmän yhteenlaskettu enimmäissähkötehon tarve noin 550 kW. Sähköliittymän koko on 630 kVA.

### 7.5.4 Käytön aikaiset kustannukset

Investointikustannusten lisäksi toiminnasta aiheutuu myös käytön aikaisia kustannuksia, jotka koostuvat huolto- ja käyttökustannuksista sekä kulutetusta sähköstä. Tarkastelussa kaukolämpöyhtiö maksaa kaikki investointikustannukset ja käytön aikaiset jatkuvat kustannukset. Sähkön kustannukset ovat vuosittain huomattavasti

suuremmat kuin muut käytön aikaiset kustannukset. Vuosittaisia huolto- ja käyttökustannuksia on arvioitu oheisessa taulukossa 5.

Taulukko 5. Arvioidut huolto- ja käyttökustannukset

<b>Huolto- ja käyttökustannukset</b>	
Kerroin kokonaisinvestoinnista	0,03
Kiinteä kustannus viikkotarkistuksista (€/a)	7464
Muut huolto- ja käyttökustannukset (€/a)	24264,15
<b>Huolto- ja käyttökustannukset yhteensä (€/a)</b>	<b>31728</b>

Muuttuvien huolto- ja käyttökustannusten arvioitiin olevan noin 3 % koko investoinnin kustannuksista. Lisäksi kustannuksia aiheutuu ulkopuoliselta toimijalta ostetuista viikoittaisista tarkastuksista. Yhteensä huolto- ja käyttökustannuksia kertyy vuosittain noin 31 728 €. Taulukon 5 kustannuksissa ei huomioitu sähkön kulutuksesta aiheutuvia kustannuksia. Sähkön kustannukset ovat arvioitu erikseen taulukoissa 6-8. Calefa Oy:n lämpöpumppujärjestelmän hintaan kuuluu sen huollot takuuajan voimassaoloaikana. Takuu aika on kaksi vuotta.

Tarkastellun investoinnin taloudellisen kannattavuuden kannalta hukkalämmön priimauksen vaatiman sähkön hinta on investoinnin kokonaiskustannuksen ohella kaikin merkittävin tekijä. Lämpöpumppujärjestelmän vuosittaista sähkönkulusta on arvioitu oheisessa taulukossa 6.

Taulukko 6. Lämpöpumppujärjestelmän vuosittainen sähkönkulutus

<b>Lämpöpumppujärjestelmän sähkön tarve (MWh/a)</b>	
Sähköteho (MW)	0,55
Tuntia vuodessa (h)	7582
<b>Sähköntarve (MWh/a)</b>	<b>4170,1</b>

Lämpöpumppujärjestelmän sähkön tarvetta tarkastellessa käytettiin yksinkertaisuuden ja puuttuvien lähtötietojen takia oletusta, että järjestelmä kuluttaa sähköä täydellä sähköteholla kaikissa tilanteissa. Todellisuudessa sähkön kulutus on hieman pienempi.

Tutkimuksessa huomattiin sähköstä aiheutuvien kustannusten olevan kaikkein merkittävin tekijä taloudellisen kannattavuuden arvioinnissa. Sähkön hintaa on arvioitu erittelyssä, joka on esitettyinä taulukossa 7.

Taulukko 7. Kohteen 1 sähkön hinta

<b>Kohteen sähkön hinta</b>	
Sähkön siirron hinta (€/MWh)	17,1
Sähköenergian hinta (€/MWh)	40,0
Sähkövero (€/MWh)	8,7
<b>Yhteensä (€/MWh)</b>	<b>65,8</b>
<b>Yhteensä (€/a)</b>	<b>274326,0</b>

Sähkön kokonaishinnassa on huomioitu energian ja siirron hinta sekä sähkövero. Sähköenergian hinta tuo laskelmaan huomattavaa epätarkkuutta, koska sen tulevaisuuden kehityssuunnasta ei ole tarkkaa tietoa. Myös sähkön siirron hinta ja sähköverojen määrä voi muuttua tulevaisuudessa. Kohteen 1 lämpöpumppujen sähkön kokonaishinnaksi saatiin noin 274 000 € vuodessa. Sähkön hinnassa suurin muuttuva tekijä on sähköenergian hinta. Laskelmassa käytettiin sähköenergialle hintaa 0,04 €/kWh eli 40 €/MWh. Sähkön markkinahinnan nousu olisi taloudellisesti hyvä Jyväskylän Energia Oy:n toiminnalle, mutta tarkasteltavassa investoinnista se tekisi kannattamattoman.

Sähkön siirron hinta koostuu useasta eri komponentista. Siirron osuus sähkön kokonaishinnasta on suurta tehoa vaativilla teollisuuskohteilla verrattain pienempi, kuin yksityisillä kuluttaja-asiakkailla. Kohteen 1 sähkön siirron hinnan erittely on esitettyinä taulukossa 8.

Taulukko 8. Sähkön siirron hintaerittely

<b>Sähkön siirron erittely</b>	
Sähkön kulutus (MWh/kk)	401,5
Tehomaksu (€/kk)	1204,5
Energiamaksu (€/kk)	4577,1
Perusmaksu (€/kk)	149,27
Yhteensä (€/kk)	5930,87
<b>Yhteensä (€/a)</b>	<b>71170,44</b>

Sähkön siirto on hinnoiteltu JE-Siirto Oy:n 1-aikaisen tehosiirron hinnoilla. Teollisuuskohteissa sähkön siirto hinnassa ei tyypillisesti huomioida loistehomaksua. Loistehon syntymistä pyritään välttämään ja syntynyttä loistehoa kompensoidaan. Sähkön siirrostä kertyy vuodessa noin 71 000 € kustannuksia.

## 8 Investointien taloudellinen kannattavuus

Laskelmat tehtiin eri hukkalämmön myyntiarvoilla ja sähköenergian hinnoilla. Esimerkit 1-3 toteutettiin eri hukkalämmönhinnoilla ja esimerkit 4 ja 5 eri sähköenergian hinnoilla. Jyväskylän Energia Oy maksaisi koko investoinnin ja toiminnan aiheuttamat jatkuvat kustannukset. Teollisuuskohteita voi saada myydyllä hukkalämmön suoran taloudellisen hyödyn lisäksi huomattavaa lisähyötyä lämmön talteenotosta aiheutuvan kylmäkoneiden vuotuisen sähkönkulutuksen vähentymisestä. Kuumakaasulinjasta hyödyksi poistettava lämpö saattaa vähentää kylmäkoneiden sähköntarvetta. Takaisinmaksuajan laskelmissa ei huomioitu investoinnin lainan koron vaikutusta. Korkeita kuitenkin huomioitiin luvussa 9 tuotantokustannusten herkkyydessä kuvaajassa 13.

Opinnäytetyön laskelmissa arvioitiin toiminnan taloudellista kannattavuutta eri osapuolien näkökulmasta. Laskelmissa käytettiin myydylle hukkalämmölle hintoja 1, 3 ja 5 €/MWh. Kyseiset hinnat ovat siis arvioita siitä rahallisesta hyödystä, jota verkon haltija olisi valmis maksamaan teollisuuskohteen hukkalämmöstä. Haasteita taloudellisen kannattavuuden arvioinnille Jyväskylän Energian näkökulmasta tuo yhtiön vaihteleva lämmön tuotannon omakustannushinta ja valtakunnallinen sähkön hinta. Lämmöntuotannon omakustannushinnaksi arvioitiin keskimäärin 22 €/MWh ja esimerkeissä 1-3 sähköenergian hintana käytettiin 40 €/MWh. Taulukossa 9 on esitettyä taloudellisen kannattavuuslaskelman erittely kaukolämpöyhtiön näkökulmasta esimerkkinä 1. Esimerkissä hukkalämmöstä maksettava hinta on 3 €/MWh.



Taulukko 9. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 1

Kannattavuus kaukolämpöyhtiölle	
Investointikustannukset (€)	808805
Huolto- ja käyttökustannukset (€/a)	31728
Sähkö (€/a)	274326
Ostettu lämpö (MWh/a)	15164
Lämmön tuotannon omakustannehintaa (€/MWh)	22
Lämmön korvaaman oman tuotannon arvo (€/a)	425350,2
Lämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	3
Lämmöstä maksettu hinta (€/a)	45492
Hyöty (€/a)	73804
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>10,96</b>

Esimerkkihinnittelulla 1 investoinnin takaisinmaksuaikaksi saatiin noin 11 vuotta.

Suora rahallinen hyöty hukkalämmön myymisestä olisi teollisuuslaitokselle noin 45 492 € vuodessa. Taulukossa 10 on esitettyä esimerkkihinnittelun 2 mukainen erittely, jossa kaukolämpöyhtiön hukkalämmöstä maksama hinta on 5 €/MWh. Laskelman investointikustannukset, jatkuvat kustannukset ja lämmön määrä ovat samat kuin esimerkissä 1.

Taulukko 10. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 2

Kannattavuus kaukolämpöyhtiölle	
Lämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	5
Lämmöstä maksettu hinta (€/a)	75820
Hyöty (€/a)	43476
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>18,6</b>

Hukkalämmön hinnoitteluesimerkillä 2 investoinnin takaisinmaksuaika olisi noin 18,6 vuotta. Tällöin teollisuuslaitoksen suora taloudellinen hyöty hukkalämmön myynnistä olisi noin 75 820 € vuodessa. Taloudellinen hyöty kaukolämpöyhtiölle olisi noin 43 000 € vuodessa. Taulukossa 11 on esitettyä kannattavuuslaskelma hinnoitteluesimerkillä 3, jossa hukkalämmöstä maksettu hinta on 1 €/MWh. Vaikka kaukolämpöyhtiö maksaisi hukkalämmöstä vain esimerkin 3 mukaisesti, jäisi takaisinmaksuaika käytetyillä sähkön hinnoilla silti melkein kahdeksan vuotiseksi.

Taulukko 11. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 3

<b>Kannattavuus kaukolämpöyhtiölle, esimerkki 3</b>	
Lämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	1
Lämmöstä maksettu hinta (€/a)	15164
Hyöty (€/a)	104132
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>7,8</b>

Teollisuuslaitoksen saama suora taloudellinen hyöty myydystä hukkalämmöstä jäisi esimerkissä 3 hieman yli 15 000 euroon, eikä se todennäköisesti olisi suuren kokoluokan teollisuuslaitoksen näkökulmasta kannattavaa. Taloudellinen hyöty kaukolämpöyhtiölle olisi tällöin noin 104 000 € vuodessa.

Sähkön hinta vaikuttaa investoinnin taloudelliseen kannattavuuteen hyvin merkittävästi. Taulukoissa 12 ja 13 on esitettyä toiminnan kannattavuus kaukolämpöyhtiölle eri sähköenergian hinnoilla. Laskelmissa sähkön siirron hinta ja sähkövero sekä sähkön määrä ovat aiempien laskelmien mukaisia. Esimerkeissä 4 ja 5 on käytetty esimerkin 1 mukaista hukkalämmön hintaa eli 3 €/MWh.

Taulukko 12. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 4

<b>Kannattavuus kaukolämpöyhtiölle, esimerkki 4</b>	
Lämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	3
Lämmöstä maksettu hinta (€/a)	45492
Sähköenergian hinta (€/MWh)	<b>30</b>
Hyöty (€/a)	115505
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>7,0</b>

Taulukossa 12 käytettiin sähköenergian hintana 30 €/MWh. Sähkön hinnan laskiessa investoinnin takaisinmaksuaika laski huomattavasti, ja kaukolämpöyhtiön olisi mahdollista maksaa teollisuuslaitokselle korkeampaa hintaa hukkalämmöstä. Sähkön hinnan lasku 10 €/MWh:lta laski investoinnin arvioitua takaisinmaksuaikaa 11 vuodesta seitsemään vuoteen. Kyseinen muutos on sähkön hinnassa noin 15 % ja sen vaikutus takaisinmaksuaikaan on noin 36 %. Taulukossa 13 on esitettyä kannattavuuslaskelman esimerkki 5, jossa sähköenergian hinta on 50 €/MWh.

Taulukko 13. Taloudellinen kannattavuus, esimerkki 5

Kannattavuus kaukolämpöyhtiölle, esimerkki 5	
Lämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	3
Lämmöstä maksettu hinta (€/a)	45492
Sähköenergian hinta (€/MWh)	50
Hyöty (€/a)	32103
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>25,2</b>

Sähköenergian hinnan nousu 50 euroon megawattitunnilta pidensi arvioitua takaisinmaksuaikaa 25:een vuoteen. Teollisuuden investoinnin takaisinmaksuajaksi 25 vuotta on hyvin pitkä aika, eikä kyseisiä investointeja yleensä toteuteta taloudellisista syistä. Kaukolämpöyhtiön saama taloudellinen hyöty hankkeesta olisi noin 32 000 € vuodessa.

## 9 Johtopäätökset

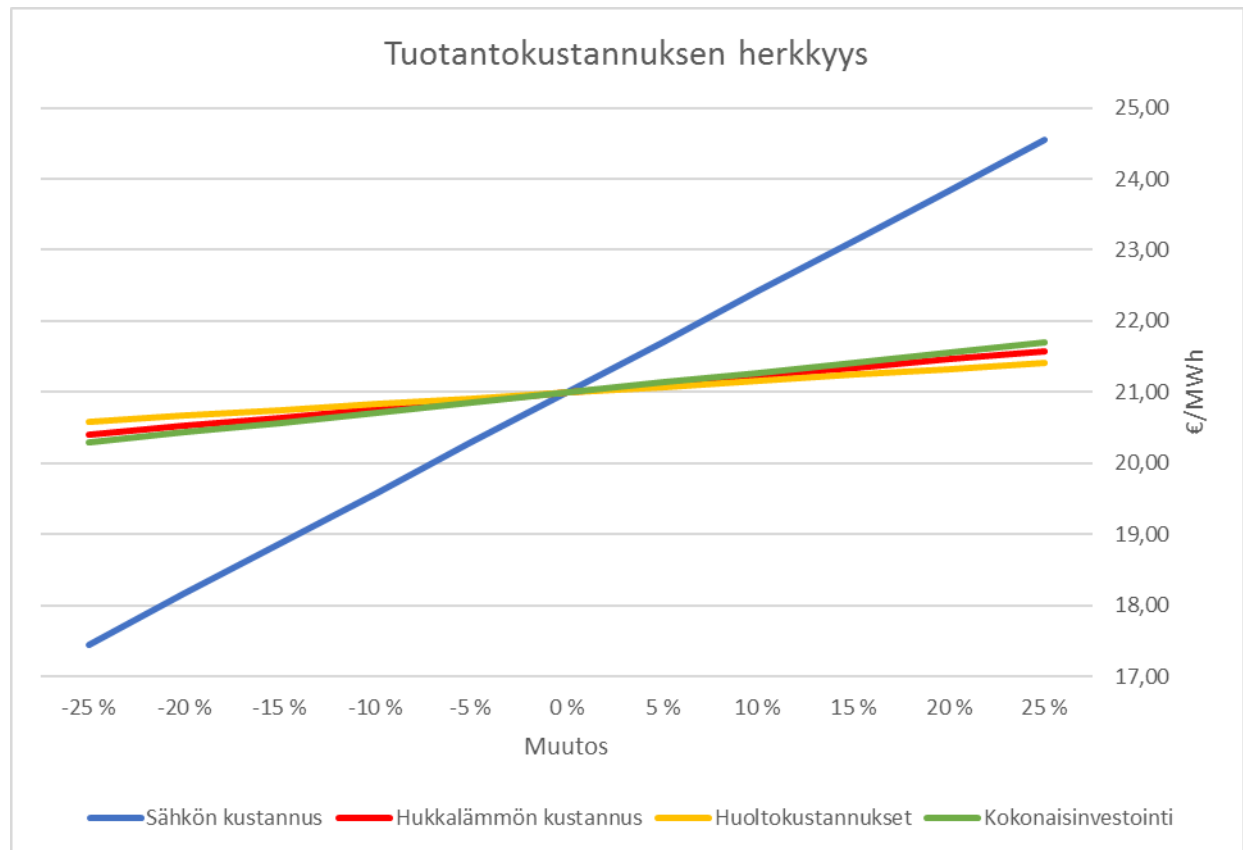
Eri hinnoitteluesimerkeillä investoinnin kannattavuudessa oli paljon vaihtelua. Esimerkeissä vertailtiin hukkalämmöstä maksettavan hinnan ja sähköenergian hinnan muutoksen vaikutuksia investoinnin takaisinmaksuajaan. Taulukossa 14 on esitettynä hinnoitteluesimerkkien 1-5 takaisinmaksuajat yhteenvetona.

Taulukko 14. Esimerkkien 1-5 yhteenveto

Yhteenveto	
Sähköenergian hinta 40 €/MWh	
Hukkalämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	1
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>7,8</b>
Hukkalämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	3
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>11,0</b>
Hukkalämmöstä maksettu hinta (€/MWh)	5
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>18,6</b>
Hukkalämmöstä maksettu hinta 3 €/MWh	
Sähköenergian hinta (€/MWh)	30
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>7,0</b>
Sähköenergian hinta (€/MWh)	50
<b>Takaisinmaksuaika (a)</b>	<b>25,2</b>

Sähkön hinta on suurin muuttuva tekijä tämän kaltaisten investointien kannattavuuden kannalta. Tämän hetkinen lämmön ja sähkön hinnan välinen suhde on

haasteellinen sähköä kuluttavien hukkalämmön hyödyntämiskäytöjen kannalta. Hukkalämmöstä maksettavan hinnan on oltava huomattavasti pienempi kuin kaukolämpöyhtiön lämmöntuotannon omakustannushinta, mikäli lämpövirta vaatii pöytämaasta sähkön avulla. Kuviossa 13 on esitettyä kohteen 1 hukkalämmön avulla kaukolämpöverkkoon tuotetun lämmön tuotantokustannuksiin vaikuttavien tekijöiden herkkyys.



Kuvio 13. Tuotantokustannuksen herkkyys

Kuviosta 13 käy ilmi, että hukkalämmöstä maksettu hinta ja huoltokustannusten muutokset vaikuttavat tuotannon kokonaiskustannukseen vain vähän. Myöskään investoinnin kokonaiskustannuksella ei ole kovin merkittävää vaikutusta tuotantokustannuksiin. Sen sijaan sähkön hinnan muutos vaikuttaa toiminnan taloudelliseen kannattavuuteen hyvin vahvasti, mikä ilmenee kuvaajassa sähkön kustannuksen käyrän kulmakertoimen jyrkkyytenä. Kuvaajassa on kuvattu hintojen muutoksen vaikutusta 25 %:n muutoksella. Hukkalämmöstä maksettu hinta on kuvaajan 0 % muutoksen kohdalla 3 €/MWh. Sähkön kokonaishinta muutoksen kohdassa 0 % on sama kuin taulukossa 7 eli noin 65,8 €/MWh, josta sähköenergian hinta on 40 €/MWh.

Investoinnin korkokanta on 3 % ja käyttöaika 20 vuotta. Laskutoimituksessa ei määritetty investoinnille jäännösarvoa.

Tarkastellun kokonaisinvestoinnin takaisinmaksuaika on hinnoitteluesimerkistä riippumatta melko pitkä. Pelkästään suoran taloudellisen hyödyn saamiseksi Jyväskylän Energian ei ole tutkimuksen mukaan toistaiseksi kannattavaa alkaa hyödyntää tarkastellun teollisuuskohteen hukkalämpöä kaukolämpöverkossaan. Yhtiöllä voi kuitenkin olla muita motiiveja taloudellisesti riskialttiin investointihankkeen toteuttamiselle. Ainakin valtakunnallinen energiatehokkuus ja päästöjen vähentäminen toimivat yhtiön ajureina tämän tyyppisten tutkimusten toteuttamiselle. Myös kaukolämpöyhtiön varatehokapasiteetin lisäys tai kaukolämmön toimitusvarmuuden parantaminen voivat kiinnostaa yhtiötä. Hukkalämpöjen hyödyntämisen vaikutus tulevaisuudessa vaadittuun muuten toteutettuun lämmöntuotantotehoon ja -tapaan saattaa myös olla merkittävä. Energiateollisuus ry:n vuonna 2013 julkaisemassa kaukolämmön strategiassa yhtenä pitkän tähtäimen tavoitteena on hukkalämpöjen hyödyntäminen. Kaukolämpöalalla pyritään tulevaisuudessa hyödyntämään myös hukkalämpöjä ja sen toiminnan tavoitteet voivat olla tärkeämpiä kuin välitön suora taloudellinen hyöty.

Teollisuuslaitoksen näkökulmasta tutkimuksen hanke olisi kannattava, koska sen toteuttaminen ei vaadi teollisuuskohteelta investointeja. Eri hinnoitteluesimerkeillä pienin suora taloudellinen hyöty hukkalämmön myynnistä on noin 15 000 € vuodessa ja suurin noin 76 000 € vuodessa. Jyväskylän Energia Oy voi lisäksi tarjota teollisuuskohteelle palvelua kylmäkoneiden stabiilin toiminnan takaamisesta vuoden kaikkina aikoina. Tämä voisi tuoda kohteelle huomattavaa taloudellista lisähyötyä sähkön kulutuksen pienentymisenä. Tutkimuksessa ei ole arvioitu lämmön talteenoton tarkkoja vaikutuksia kylmäkoneiden sähkönkulutukseen.

Hukkalämmön syöttämistä kaukolämpöverkon paluuveteen ei tarkasteltu teknis-taloudellisesta näkökulmasta, koska paluuveden lämmittämistä ei pidetty kannattavana. Yhden kohteen hukkalämmön syöttö kaukolämpöverkkoon ei todennäköisesti nostaisi paluuveden lämpötilaa merkittävästi sähköntuotannon ja savukaasupesurin kannalta, mutta laaja hukkalämpöjen käyttö paluuveden lämmityksessä saattaisi tuoda huomattavia haasteita.

## 10 Pohdinta

Opinnäytetyön tuloksena saatiin päivitettyä tietoa Jyväskylän Energia Oy:n kaukolämpöverkon alueella sijaitsevien teollisten tuotantolaitosten hukkalämpövirroista ja lämpömäärältään suurimman kohteen hukkalämmön käyttömahdollisuuksista kaukolämpöverkossa. Laskelmissa päädyttiin siihen tulokseen, että tarkastellun hukkalämpövirran syöttäminen kaukolämpöverkkoon ei ole kaukolämpöyhtiölle kannattavaa pelkin välittömin taloudellisin perustein. Hukkalämmön priimauksesta aiheutuvien sähkökustannusten takia tarkastellun investoinnin tyyppiset hankkeet todettiin lähtökotaisesti haasteellisiksi taloudellisin perustein.

Opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin muilta osin, mutta erilaisten kaukolämpöverkon liittymistapojen vertailu jäi vähäiseksi ja tarkkaa hintaa, jonka Jyväskylän Energia Oy olisi valmis maksamaan teollisuuden hukkalämmöstä, ei saatu määritettyä. Myös menolinjassa teollisuuskohteen jälkeisten kaukolämpöasiakkaiden lämpötehontarvetta olisi voitu tutkia tarkemmin. Opinnäyteyössä onnistuttiin perehtymään kaukolämpöverkkoon syötettävän lämmön vaatimuksiin ja käytettyihin tekniikoihin sekä investointien rakenteeseen ja mittasuhteisiin. Vastausten keräämisessä oli haasteita, koska kysely koettiin osin haasteellisena. Kaikilta tutkimuksen teollisuusyrityksiltä ei saatu vastausta kyselyyn. Mikäli tutkimuksen toteutukseen olisi ollut enemmän aikaa, olisi voitu avustaa niitä kohteita hukkalämpöjensä kartoittamisessa, joilta ei saatu vastausta kyselyyn. Rajallisen ajan takia tutkimuksessa jouduttiin tyytymään niiden toimijoiden vastauksiin, joiden hukkalämpövirtoja on tutkittu aikaisemmin. Pienemmiltä toimijoilta ei siis saatu vastauksia yhtä hyvin kuin suurilta toimijoilta.

Opinnäytetyön kannattavuuslaskelmia ei voida pitää täysin tarkkoina, koska niissä on tehty oletuksia, arvioita ja yksinkertaistuksia. Laskuissa on käytetty esimerkiksi vuotuisia lämpömääriä ja niiden keskiarvoa, koska käytettävissä ei ollut tarkkaa mittaus-tietoa. Useista prosessin osista puuttuu erilaisia mittauksia, vaikka teollisuuslaitos onkin pyrkinyt lisäämään hyödyllisen mittaustiedon määrää. Tarkoilla mittaustiedoilla laskelmista olisi saatu tarkempia ja esimerkiksi vuoden aikaista vaihtelua olisi voitu arvioida huomattavasti tarkemmin. Vuoden ajasta riippuva vaihtelu hukkalämpövirroissa vaikuttaa esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmän optimaaliseen

mitoitustehoon. Kaukolämmön menoveden lämpötilaa kartoittaessa on käytetty vuoden 2018 toteutunutta mittausdataa, koska kaukolämpöyhtiö on kyseisen vuoden alkupuolella alentanut menoveden lämpötilatasoa, eivätkä aikaisemmat vuodet toimi yhtä hyvänä esimerkkinä. Muuten tutkimuksessa olisi huomioitu useamman vuoden menoveden lämpötiloja. Todennäköisesti vuotuinen kaukolämpöverkkoon syötetty lämpömäärä todellisuudessa hieman pienempi, mutta niin myös sähkönkulutus.

Tutkimuksen aikana ilmenneitä epävarmuustekijöitä olivat kyselyillä saatujen vastausten luotettavuus ja tulevaisuuden ennustamisen vaikeus. Haasteena oli se, että kuinka tarkkaa ja oikeellista tietoa kohteiden kyselyyn vastaavilla henkilöillä on omista hukkalämpövirroistaan ja ovatko tulokset pysyviä. Tutkimuksen kohteet olivat teollisuuden kohteita, ja eri teollisuuden alojen tulevaisuuteen vaikuttavat monet tekijät. Jäi myös harkinnan varaan, voidaanko luottaa teollisuuslaitokselta saatujen lämpövirtojen pysyvän jatkossa samanlaisena kuin ne tutkimuksen aikaisten tietojen mukaan olivat. Laskelmissa epätarkkuutta aiheuttivat myös esimerkiksi Jyväskylän Energian kaukolämmön omakustannushinnan vaihtelu sekä valtakunnallinen sähkön hinnan tulevaisuuden kehitys. Teoriaosuuden luotettavuuteen vaikuttaa esimerkiksi tietolähteiden ajantasaisuus. Erityisesti lämpöpumppujen osalta on tapahtunut viime vuosina niin paljon kehitystä, että monissa tietolähteissä oli jo hieman vanhentunutta tietoa.

Jyväskylän Energia Oy voi hyödyntää tutkimuksen kyselyn tuloksia mahdollisissa jatkotutkimuksissaan. Tutkimuksen taloudellisen kannattavuuden tarkastelun tuloksia yhtiö voi pitää alustavana tiedon lähteenä, mikäli yhtiö päättää jatkaa kohteen 1 hukkalämpöjen hyödyntämisen tutkimuksia. Vaikka laskelmiin liittyykin useita muuttujia, voidaan pitää melko varmana, ettei hankkeessa päästä teollisuuden näkökulmasta lyhyisiin takaisinmaksuaikoihin, mikäli hukkalämpövirran lämpötilaa on priimattava sähkön avulla. Teollisuudessa lyhyenä takaisinmaksuaikana voidaan pitää alle kolmea vuotta.

Jatkoselvityksissä tulisi tarkastella kohteen 1 hukkalämmön hyödyntämisestä aiheutuvia vaikutuksia kylmäkoneiden sähkönkulutukseen. Lämpöpumppujärjestelmän sähkön kulutuksen tarkentamiseksi tulisi tarkastella lämpöpumppujen tarkkaa

sähkönkulutusta, sillä opinnäytetyön laskelmissa käytettiin enimmäisarvoja. Jatkoselvityksissä kannattaisi tarkastella myös kohteen 7 hukkalämpövirtoja. Kohde 7:n tuotantolaitoksella esiintyy hukkalämpövirtoja myös yli 100 °C lämpötilassa ja niitä voitaisiin hyödyntää kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä ilman lämpövirran priimausta. Tällöin taloudellisen kannattavuuden suurin haaste eli sähkön kulutus olisi hyvin vähäistä ja kohteen hukkalämpöjen syöttö kaukolämpöverkkoon voisi olla myös taloudellisesti kannattavaa. Kohteen hukkalämpövirtojen kartoitus vaatisi todennäköisesti mittauksien lisäämistä prosesseihin.

Yleisen energiatehokkuuden kannalta on tärkeää, että tämän tutkimuksen kaltaisia tutkimuksia tehdään. Teollisuuden hukkalämpövirroissa on suuri potentiaali vähentää paikallisia ympäristöpäästöjä ja sen kautta koko Suomen päästöjä sekä vähentää primäärienergian kulutusta. Valtion kunnianhimoisten päästövähennysten saavuttamiseksi tehokas hukkalämpöjen hyödyntäminen on tulevaisuudessa tärkeää.



## Lähteet

Bröckl, M., Immonen, I. & Vanhanen, J. 2014. Lämmön pientuotannon ja pienimuotoisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöliiketoiminnassa. Helsinki: Gaia Consulting Oy. Viitattu 18.2.2019. [https://energia.fi/files/981/Lammon\\_pientuotannon\\_ja\\_ylijaamalammon\\_hyodyntaminen\\_kaukolampotoiminnassa20141215.pdf](https://energia.fi/files/981/Lammon_pientuotannon_ja_ylijaamalammon_hyodyntaminen_kaukolampotoiminnassa20141215.pdf)

Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J. 2015. Heat and mass transfer : fundamentals & applications (SI Units). New York: McGraw-Hill Education.

HE 200/2018. 2018. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi hiilen energiakäytön kieltämisestä ja oikeudenkäynnistä markkinaoikeudessa annetun lain 1 luvun 2 §:n muuttamisesta. Julkaisu Finlexin verkkosivuilla lokakuussa 2018. Viitattu 29.3.2019. <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2018/20180200>

Heikkilä, I. & Kiuru, T. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Helsinki: Motiva. Viitattu 16.2.2015. [http://www.motiva.fi/files/8808/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_-\\_ylijaamalamponenergia-analyysit.pdf](http://www.motiva.fi/files/8808/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_-_ylijaamalamponenergia-analyysit.pdf)

Hiilineutraali Suomi 2030-luvulla? N.d. Julkaisu Energiateollisuus ry:n verkkosivuilla. Viitattu 6.2.2019. [https://energia.fi/energiateollisuuden\\_edunvalvonta/eduskuntavaalit\\_2019](https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/eduskuntavaalit_2019)

Hukkalämmön hyödyntämisestä suursäästöt teollisuudelle. 2014. Motivan tiedote 21.1.2014. Viitattu 12.2.2019. [https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2014/hukkalammon\\_hyodyntamisesta\\_suursaatot\\_teollisuudelle.6153.news](https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2014/hukkalammon_hyodyntamisesta_suursaatot_teollisuudelle.6153.news)

Johtorakennuskustannukset 2017. 2018. Energiateollisuus ry. Sisäinen lähde. Viitattu 15.2.2019.

Kaksisuuntainen kaukolämpö luo asiakkaille lämmön myyntimarkkinat. 2016. Tiedote Energiateollisuus ry:n verkkosivuilla 22.8.2016. Viitattu 12.2.2019. [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaksisuuntainen\\_kaukolampo\\_luo\\_asiakkaille\\_lammon\\_myyntimarkkinat.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaksisuuntainen_kaukolampo_luo_asiakkaille_lammon_myyntimarkkinat.html)

Kaukolämpötilasto 2017. 2018. Julkaisu Energiateollisuus ry:n verkkosivuilla. Viitattu 15.2.2019. [https://energia.fi/files/2949/Kaukolampotilasto\\_2017.pdf](https://energia.fi/files/2949/Kaukolampotilasto_2017.pdf)

Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. 2016. Pöyry Management Consulting Oy:n hanke Energiateollisuus ry:lle ja Sitralle. Viitattu 26.2.2019. [https://energia.fi/files/598/Kaksisuuntainen\\_KL\\_Yleinen\\_osuusRaportti\\_2016.pdf](https://energia.fi/files/598/Kaksisuuntainen_KL_Yleinen_osuusRaportti_2016.pdf)

Kala, J., Laukkanen, M., Siitonen, E., Siitonen, S. & Ståhl N. 2010. Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä. Energiateollisuus, työ- ja

elinkeinoministeriö. Viitattu 26.2.2019. <https://docplayer.fi/2968184-Tyo-ja-elinkeinoministerio.html>

Kaukolämmön käsikirja. 2006. Energiateollisuus ry. Helsinki: Libris.

Kaukolämpöalan strategia. 2013. Energiateollisuus ry. Viitattu 26.9.2018. [https://energia.fi/files/872/Kaukol\\_strategia\\_FI.pdf](https://energia.fi/files/872/Kaukol_strategia_FI.pdf)

Kaukolämmön tuotanto uudistuu. N.d. Artikkelit Motivan verkkosivuilla. Viitattu 14.2.2019. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon\\_tuotanto\\_uudistuu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_tuotanto_uudistuu)

Kaukolämmön asiakkuus. N.d. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2019. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon\\_asiakkuus](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus)

Kataikko, M. & Maaskola, I. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Helsinki: Motiva. Viitattu 14.2.2019. [https://www.motiva.fi/files/13513/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_Lampopumppu- ja\\_ORC-sovellukset.pdf](https://www.motiva.fi/files/13513/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu- ja_ORC-sovellukset.pdf)

Kaukolämpö. N.d. Artikkelit Motivan verkkosivuilla. Viitattu 15.2.2019. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo)

Lämpöä kotiin verkosta. N.d. Artikkelit Motivan verkkosivuilla. Viitattu 15.2.2019. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa\\_kotiin\\_verkosta](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa_kotiin_verkosta)

Mäkelä, V. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.2.2019. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>

Rakennusten kaukolämmitys. 2014. Energiateollisuus ry:n määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Viitattu 25.2.2019. [https://energia.fi/files/502/JulkaistuK1\\_2013\\_20140509.pdf](https://energia.fi/files/502/JulkaistuK1_2013_20140509.pdf)

Seppänen, T. 2015. Ylijäämälämmön hyödyntäminen Jyväskylän Energian kaukolämpöverkossa. Opinnäytetyö, AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 21.3.2019. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015060412322>

Sirola, V.-P. & Tiitinen, M. 2018. Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä. Julkaisu Energiateollisuus ry:n verkkosivuilla. Viitattu 15.2.2019. [https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot\\_kaukolampoverkkoon\\_tekniset\\_ohjeet\\_20181016.pdf](https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot_kaukolampoverkkoon_tekniset_ohjeet_20181016.pdf)

Suomalaiskodit lämpimiksi teollisuuden hukkalämmöllä. 2014. Tiedote Motivan verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2019. [https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2014/suomalaiskodit\\_lampimiksi\\_teollisuuden\\_hukkalammolla.6123.news](https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2014/suomalaiskodit_lampimiksi_teollisuuden_hukkalammolla.6123.news)

Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. 2016. VALOR Partners Oy:n loppuraportti Energiateollisuus ry:lle. Julkaistu 29.8.2016. Viitattu 12.3.2019. [https://energia.fi/files/993/Suuret\\_lampopumput\\_kaukolampojarjestelmassa\\_Loppuraportti\\_290816\\_paivitetty.pdf](https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf)

Teollisuuden energiankäyttö kasvoi kaksi prosenttia vuonna 2017. 2018. Julkaisu Tilastokeskuksen verkkosivuilla 19.11.2018. Viitattu 12.2.2019. [https://www.stat.fi/til/tene/2017/tene\\_2017\\_2018-11-19\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/tene/2017/tene_2017_2018-11-19_tie_001_fi.html)

Tulevaisuuden asiakasratkaisut. N.d. Julkaisu Energiateollisuus ry:n verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2019. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon\\_asiakkuus/tulevaisuuden\\_asiakasratkaisut](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus/tulevaisuuden_asiakasratkaisut)

Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. N.d. Helsinki: Motiva. Viitattu 12.2.2019. [https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon\\_hukkalampo\\_hyodyksi.pdf](https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf)

Tytär- ja osakkuusyhtiöt. N.d. Jyväskylän Energian tytä- ja osakkuusyhtiöt yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 4.2.2019. <https://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiot/tytar-ja-osakkuusyhtiot>

Uusiutuvien energianlähteiden käyttö kasvoi sähkön ja lämmöntuotannossa 2017. 2018. Julkaisu Tilastokeskuksen verkkosivuilla 1.11.2018. Viitattu 13.2.2019. [https://www.stat.fi/til/salatuo/2017/salatuo\\_2017\\_2018-11-01\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/salatuo/2017/salatuo_2017_2018-11-01_tie_001_fi.html)

Väreestä. 2018. Julkaisu Väreeseen verkkosivuilla. Viitattu 20.2.2019. <https://vare.fi/vareesta/>

Yhteiskuntavastuuraportti 2017. 2018. Julkaisu Jyväskylän Energian verkkosivuilla. Viitattu 20.2.2019. [https://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/2890-JE\\_yhteiskuntavastuuraportti\\_2017.pdf](https://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/2890-JE_yhteiskuntavastuuraportti_2017.pdf)

Ylijäämälämmön hyödyntäminen. 2014. Julkaisu Motivan verkkosivuilla. 13.2.2019. [https://www.motiva.fi/files/13515/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_Ylijaamalamponenergia-analysit.pdf](https://www.motiva.fi/files/13515/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Ylijaamalamponenergia-analysit.pdf)

Yritys. 2018. Julkaisu Wiitaseudun Energian verkkosivuilla. Viitattu 7.2.2019. <http://www.wse.fi/yritys-2>

Älykäs kaupunkienergia. 2018. Pöyry Management Consulting Oy:n loppuraportti Energiateollisuus ry:lle. Viitattu 7.2.2019. [https://energia.fi/files/2862/Alykas\\_kaupunkienergia\\_LOPPURAPORTTI\\_20180614.pdf](https://energia.fi/files/2862/Alykas_kaupunkienergia_LOPPURAPORTTI_20180614.pdf)

# Liitteet

## Liite 1. Kyselylomake

### Hukkalämmöt

**1. Syntyykö teidän kiinteistössä/prosesseissa hukkalämpöä? \***

- Kyllä
- Ei

**2. Jos käytätte kaukolämmön ohella lisälämpöenergiaa, millä sen tuotate? (voit valita usean vaihtoehdon, jos tuotate lisälämpöä monella eri tapaa)**

- Öljy
- Sähkö
- Kaasu
- Muu, mikä?

**3. Arvio hukkalämmön lämpötilasta? (voit valita usean vaihtoehdon, jos hukkalämpöä syntyy useissa eri lämpötiloissa)**

- Alle 35 C
- 35-60 C
- 60-80 C
- Yli 80 C

**4. Hukkalämmön olomuoto? (voit valita usean vaihtoehdon, jos hukkalämpöä syntyy useissa eri olomuodoissa)**

- Vesi
- Höyry
- Ilma
- Savukaasu

**5. Arvio kuinka monta tuntia hukkalämpöä syntyy vuodessa?**

**6. Arvio hukkalämmön tehosta tai energiamäärästä?**

**7. Lisätietoa (esim. millaisessa prosessissa hukkalämpö syntyy?)**

**8. Vaihteleeeko hukkalämpömäärät päivän- tai vuodenajan mukaan?**

**9. Yhteystiedot**

Yritys / Organisaatio *	<input type="text"/>
Etunimi	<input type="text"/>
Sukunimi	<input type="text"/>
Matkapuhelin	<input type="text"/>
Sähköposti	<input type="text"/>
Osoite	<input type="text"/>
Postinumero	<input type="text"/>
Postitoimipaikka	<input type="text"/>