

# Ylijäämälämmön hyödyntäminen Jyväskylän Energian kaukolämpöverkossa

Tuomas Seppänen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015

Energiatekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Seppänen Tuomas	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 13.05.2015
	Sivumäärä 51	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (x)
Työn nimi <b>Ylijäämälämmön hyödyntäminen Jyväskylän Energian kaukolämpöverkossa</b>		
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen Marjukka Konttinen Jukka		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän Energia Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Jyväskylän kaupungin omistamalle energiayhtiölle, Jyväskylän Energialle, jonka toimialaan kuuluu sähkön-, lämmön- ja vedenjakelu, tuotanto ja myynti. Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli tehdä alustava kartoitus Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella sijaitsevista teollisuusyrityksistä, joilla syntyy ylijäämälämpöä prosesseissaan. Toisena tavoitteena oli kerätä tietoperusta Jyväskylän Energialle ylijäämälämmön hyödyntämistekniikoista kaukolämpöverkossa.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperusta koottiin useista eri lähteistä, joissa käsitellään ylijäämälämpöä ja sen hyödyntämistä kaukolämpöverkossa. Tietoperustan avulla on mahdollista selvittää erilaisia lämmöntalteenottotekniikoita erilämpöisille ylijäämälämmöille. Teollisuusyritykset karsittiin prosessiteollisuuden yrityksiin ja niihin oltiin yhteydessä puhelimitse ja Webropol-sivuilla tehdyn kyselyn avulla. Kyselyn avulla selvitettiin perustietoja asiakkaan ylijäämälämmöstä, jonka avulla voidaan arvioida miten lämpöenergia olisi mahdollista siirtää kaukolämpöverkkoon.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin lista Jyväskylän alueen yrityksistä, joilla ylijäämälämpöä syntyy. Tämän tiedon perusteella Jyväskylän Energian on helpompi jatkaa projektia eteenpäin, kuin mahdolliset asiakkaat ovat jo tiedossa.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Ylijäämälämpö, hukkalämpö, ylijäämälämmön hyödyntäminen, lämmöntalteenotto, kaukolämpö		
Muut tiedot		



Author(s) Seppänen Tuomas	Type of publication Bachelor's thesis	Date 13.05.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 51	Permission for web publication: (X)
Title of publication <b>Using waste heat in Jyväskylä Energy's district heating network</b>		
Degree programme Bachelor of Energy Technology		
Tutor(s) Nuutinen Marjukka Konttinen Jukka		
Assigned by Jyväskylä Energy Group		
Abstract <p>Jyväskylä Energy Group is a local electricity, water and district heat provider owned by the City of Jyväskylä. Jyväskylä Energy Group produces, sells and distributes electricity, district heat and water. The first goal of this thesis was to perform a preliminary survey on industrial companies located in the area of Jyväskylä Energy district heating network whose processes produce waste heat. The second goal was to get information about different techniques of utilizing waste heat in district heating network.</p> <p>The theoretical framework of the thesis was collected from several sources dealing with waste heat and using it in district heating network. This information reveals different heat recovery techniques for waste heat in different temperatures. Only process industry companies were selected for this thesis work. The companies were contacted by phone and using Webropol site survey. The survey gathered basic information of the client's waste heat. Based on this information one can define how to transfer waste heat to a district heating network.</p> <p>As a result of this thesis, a list of companies in the Jyväskylä region producing waste heat was compiled. This information helps Jyväskylä Energy to continue their waste heat recovery project.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Waste heat, excess heat, utilization of waste heat, heat recovery, district heating		

# Sisällys

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Jyväskylän Energia Oy.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Kaukolämpö.....</b>	<b>6</b>
3.1	Kaukolämpöverkot .....	6
3.2	Kaukolämmön tuotanto .....	8
3.3	Jyväskylän Energian kaukolämpö .....	10
<b>4</b>	<b>Ylijäämälämpö .....</b>	<b>11</b>
4.1	Ylijäämälämmön määritelmä .....	11
4.2	Ylijäämälämpö Suomessa .....	12
4.3	Vertailukohteina Ruotsi ja muu Eurooppa .....	13
4.4	Energiatehokkuusdirektiivi .....	14
4.5	Näkökulmia ylijäämälämmön hyödyntämiseen .....	16
4.5.1	Haasteita ylijäämälämmön hyödyntämiseen .....	18
4.5.2	Paluuveden lämpötilan vaikutus sähköntuotantoon yhteistuotannossa .....	19
4.6	Ylijäämälämmön talteenotto .....	21
4.7	Talteenottotekniikat .....	25
4.7.1	Lämpöpumppu .....	25
4.7.2	Lämpöpumppu kaukolämpöverkossa .....	28
4.7.3	Lämmönsiirtimet .....	29
4.7.4	Savukaasupesuri .....	32
4.8	Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa .....	33
4.9	Nykyiset sopimukset .....	34
4.9.1	Investointien jakautuminen .....	34
<b>5</b>	<b>Opinnäytetyön toteutus .....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>Asiakaskyselyn tulokset .....</b>	<b>37</b>
6.1	Asiakkaiden tiedot .....	37
6.2	Tulosten tarkastelu .....	40

6.3	Jatkotoimenpiteet .....	42
<b>7</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>44</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>46</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>49</b>
	Liite 1. Pysyvyyssäikä Jyväskylän ulkolämpötiloista .....	49
	Liite 2. Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon kartta .....	50
	Liite 3. Asiakas kysely .....	51
	<b>Kuviot</b>	
	Kuvio 1. Kaukolämpöverkon toimintaperiaate .....	7
	Kuvio 2. Kaukolämpöputket .....	7
	Kuvio 3. Kaukolämmön polttoainejakauma Suomessa vuonna 2014 .....	9
	Kuvio 4. Ylijäämälämmön määritelmä .....	11
	Kuvio 5. Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuudet lämpötilan mukaan .....	21
	Kuvio 6. Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona .....	23
	Kuvio 7. Pysyvyyssäikä ylijäämälämmön lämpötilalle .....	24
	Kuvio 8. Lämpöpumpppu-prosessin toimintaperiaate .....	26
	Kuvio 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate .....	26
	Kuvio 10. COP-arvo lämmönlähteen ja lämpöpumpulla tuotetun nesteen lämpötilan funktiona .....	27
	Kuvio 11. Periaate kytkentä lämpöpumpusta kaukolämpöverkossa .....	29
	Kuvio 12. Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä .....	30
	Kuvio 13. Ylijäämälämmön hyödyntäminen paluuedenlämmityksessä .....	31
	Kuvio 14. Savukaasujen lämpöenergia siirretään lämmönvaihtimella kaukolämpöverkkoon .....	32

## **Taulukot**

Taulukko 1. Kaukolämmön paluulämpötilan muutoksen vaikutus yhteistuotantolaitoksen sähköntuotantoon. Sovellusalue on $TP \pm 2...3 \text{ }^\circ\text{C}$ .....	20
Taulukko 2. Asiakkaiden ylijäämälämmön tiedot .....	38

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Jyväskylän Energia (JE), joka vastaa Jyväskylän alueen kaukolämmön tuotannosta ja jakelusta. Työn ensimmäisenä tavoitteena oli kartoittaa JE:n kaukolämpöverkon alueella sijaitsevat asiakkaat, joilla syntyy ylijäämälämpöä. Ylijäämälämpö on teollisuudessa syntyvää lämpöenergiaa, jota ei käytetä teollisuuden omissa prosesseissa. Kartoituksen jälkeen asiakkaiden ylijäämälämmöt tulisi selvittää tarkemmin mittausten avulla, jotta voidaan laskea tarkemmat tiedot asiakkaan ylijäämälämmöstä. Kartoituksesta saatiin myös tietoa, minkälaisessa teollisuudessa ylijäämälämpöä syntyy eniten. Tällä hetkellä Jyväskylän alueella ei hyödynnetä teollisuudessa syntyvää ylijäämälämpöä kaukolämpöverkossa.

Toinen tavoite oli kerätä tietoa ylijäämälämmöstä ja ylijäämälämmön hyödyntämisestä kaukolämpöverkossa. Raportissa käsitellään ylijäämälämmön perusteita ja teknisiä ratkaisuja erilaisten ylijäämälämpöjen hyödyntämiseen. Työssä käsitellään myös mitä haasteita ja hyötyjä ylijäämälämmön talteenotosta on kaukolämpöyhtiölle. Myös erilaiset lämmön talteenottotekniikat on selvitetty periaatetasolla.

YIT:n vuonna 2010 tehdyn selvityksen mukaan ylijäämälämpöä syntyy teollisuudessa vuoden aikana noin 19 TWh, josta kaukolämpöverkossa voitaisiin hyödyntää karkeasti arvioituna noin 4–5 TWh. Tällä hetkellä Suomessa ylijäämälämpöä hyödynnetään kaukolämpöverkossa vain noin 0,9 TWh. (Kala, Laukkanen, Siitonen, Siitonen & Ståhl 2010, 57.)

Myös uusi EU:n energiatehokkuusdirektiivi määrää, että jäsenvaltioiden on vuoden 2015 loppuun mennessä laadittava kattava arvio tehokkaan yhteistuotannon ja kaukolämmön ja -jäähdytyksen hyödyntämismahdollisuuksista. Energiatehokkuusdirektiivi velvoittaa, että suurempien teollisuuskohteiden (yli 20 MW) ylijäämälämmön

hyödyntämisestä on tehtävä kustannus-hyötyanalyysi. Jyväskylän alueelta löytyy tämän kokoluokan ylittävä teollisuuskohde. (Direktiivi 2012/27/EU)

Kohteiden selvittämisessä käytettiin apuna JE:n toimittamaa listaa kaukolämpöasiakkaista, ja sieltä valikoituihin kohteisiin oltiin yhteydessä puhelimitse ja nettikyselyn avulla. Myös listan ulkopuolisiin teollisuusyrityksiin oltiin yhteydessä.

Ylijäämälämpöasiakkaiden selvitys rajattiin teollisuusasiakkaisiin. Suurin osa yrityksistä on jo tällä hetkellä Jyväskylän Energian kaukolämpöasiakkaita ja tarjoamalla heille mahdollisuutta myydä ylijäämälämpöä kaukolämpöverkkoon asiakassuhdetta voitaisiin syventää. Asiakkaisiin oltiin yhteydessä puhelimitse ja nettikyselyn avulla. Kyselyssä selvitettiin asioita, joiden avulla voi arvioida ylijäämälämpömääriä ja sen lämpötilaa. Näiden tietojen avulla voidaan selvittää miten ylijäämälämpö olisi siirrettävissä kaukolämpöverkkoon.

Parhaimmillaan ylijäämälämmön hyödyntämisestä olisi hyötyä molemmille osapuolille. Teollisuusyritys saisi muuten hukkaan menevästä lämmöstä lisätuloja. Kaukolämpöyhtiön verkon toimivuus olisi joustavampaa ja ylijäämälämmöllä voitaisiin erilaisissa sääolosuhteissa korvata omaa tuotantoa.

Perustiedot ylijäämälämmön hyödyntämisestä on haettu erilaisista lähteistä. Energia-teollisuuden ja Motivan selvitykset ylijäämälämmön hyödyntämisestä ovat olleet tärkeänä osana työtä.

## 2 Jyväskylän Energia Oy

Jyväskylän Energia on Jyväskylässä toimiva energiayhtiö. Yhtiö tuottaa, myy ja jakelee sähköä, lämpöä ja vettä. Jyväskylän Energia omistaa Jyväskylän alueen kaukolämpö-, vesihuolto- ja sähkönsiirtoverkot. Jyväskylän kaupunki omistaa Jyväskylän Energia Oy:n. Jyväskylän Energian tytäryhtiöitä ovat JE-Siirto Oy (100 %) Jyväskylän Energian-tuotanto Oy (100 %) ja Jyväskylän Voima Oy (81,4 %), prosenttiosuudet ovat Jyväskylän Energian omistusosuus kyseisestä tytäryhtiöstä. (JE-yhtiöt n. d.).

JE-Siirto Oy omistaa sähköverkon Jyväskylän kantakaupungissa ja palvelee alueellaan sähkösiirtoasiakkaita. Toiminta koostuu sähköverkon suunnittelusta, rakentamisesta, ylläpidosta ja käytöstä, asiakkaiden liittämisestä verkkoon sekä sähkömittauksesta. (Tytäryhtiöt, n. d.)

Jyväskylän Energiatuotanto Oy tuottaa sähköä, höyryä ja lämpöä. Kaukolämpöä toimitetaan Jyväskylän Energia Oy:n ja Elenia Lämpö Oy:n verkkoihin Jyväskylässä. Yhtiön tuotantolaitokset ovat Rauhalahden ja Savelan voimalaitokset sekä kymmenen aluelämpökeskusta. Sähköntuotannon kapasiteetti on yhteensä 115 MW, kaukolämmön 570 MW ja teollisuushöyryn 110 MW. (Tytäryhtiöt, n. d.)

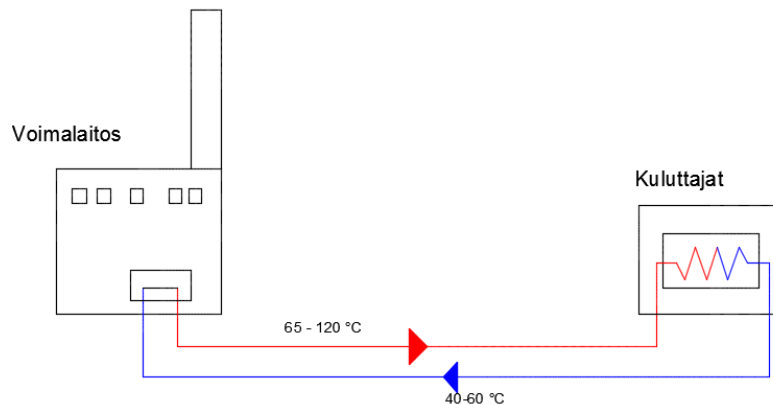
Jyväskylän Voima Oy on perustettu Keljonlahden uuden biovoimalaitoksen toimintaa varten. Voimalaitos otettiin käyttöön kesällä 2010. Voimalaitoksen sähköteho on 130 MW ja kaukolämpöteho 240 MW. Jyväskylän Energia Oy omistaa Jyväskylän Voima Oy:stä 81,4 %:in osuuden. (Tytäryhtiöt, n. d.)

## 3 Kaukolämpö

### 3.1 Kaukolämpöverkot

Kaukolämpö on Suomessa yleinen, ympäristöystävällinen, taloudellinen ja energiatehokas tapa tuottaa lämmitys kaupunki- ja taajama-alueelle. Kaukolämpö kattaa lähes 50 % koko Suomen lämpöenergiankulutuksesta, suurissa kaupungeissa jopa 80–90 % lämpöenergiasta on kaukolämpöä (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006 5). Kaukolämpö on energiatehokas, koska se hyödyntää hukkaan menevän lämmön, jota syntyy sähköntuotannossa, tätä kutsutaan lämmön ja sähkön yhteistuotannoksi. Vuonna 2014 74 % Suomessa tuotetusta kaukolämmöstä tuotetaan CHP-laitoksissa (Combined Heat and Power) sähkön ja lämmön yhteistuotantona. Loput 26 % kaukolämmöstä tuotetaan erillistuotantona lämpölaitoksilla yleensä öljyllä, maakaasulla tai kiinteillä polttoaineella. Vuonna 2014 Suomessa myytiin kaukolämpöä 31,3 TWh ja kaukolämmöntuotantoon liittyvä sähköntuotanto oli 12,6 TWh. (Energiavuosi - kaukolämpö 2014, 2015.)

Kaukolämpöjärjestelmä koostuu kaukolämmöntuotantolaitoksista, kaukolämpöverkosta ja asiakaslaitteista. Kuviossa 1 on esitelty kaukolämpöverkon toimintaa periaatekuvalla. Kaukolämpöverkko koostuu kaukolämpöputkista, kaukolämpökaivoista, välipumppaamoista ja käyttöpaikoista. Tuotantolaitoksilta tuotettu kuuma vesi johdetaan kaukolämpöputkiston menoputken välityksellä asiakkaalle. Kuuma vesi tulee asiakkaan lämmönjakokeskukseen, jossa se luovuttaa lämpöä rakennuksen ja käyttöveden lämmitystä varten. Jäähdytynyt kaukolämpövesi palaa takaisin tuotantolaitokselle paluuputkea pitkin. Kaukolämpövesi on käsitelty mekaanisten epäpuhtauksien ja hapen poistamiseksi, jotta putkistossa ei synny korroosiota. Usein kaukolämpövesi myös värjätään vuotojen paikantamiseksi. (Kaukolämmön toimintaperiaate n. d.)



Kuvio 1. Kaukolämpöverkon toimintaperiaate

Kaukolämpöverkkoon pumpataan paine voimalaitoksenpumpppujen ja välipumppaamoiden avulla, joilla varmistetaan verkon riittävä virtaus ja paine. Paineen on pysyttävä riittävän korkeana, jotta vesi ei pääse höyrystymään. Kaukolämpöverkon menoja paluupuolen putkistojen välille syntyy myös paineero, joka takaa riittävän lämmönsaannin jokaiselle asiakkaalle. Kaukolämpöverkon paine ja paine-erot vaihtelevat jatkuvasti. Yleensä ne ovat korkeammat talvella, jolloin lämmitystarve on suurempi. Korkeimmillaan menojohdon paine on noin 15 baaria, ja asiakkaalla paineeron on oltava vähintään 0,6 baaria (kaukolämpöverkko n. d.). Kaukolämpöjohdot asennetaan maahan vähintään 0,6 metrin syvyyteen, kuviossa 2 näkyy kaukolämpöputket asennettuna. Putket on lämpöeristetty tehokkaasti, lämpöhäviöt ovat 5–15 % välillä riippuen verkon laajuudesta. (Kaukolämpöverkko n. d.)



Kuvio 2. Kaukolämpöputket (Kaukolämpöverkko n. d.)

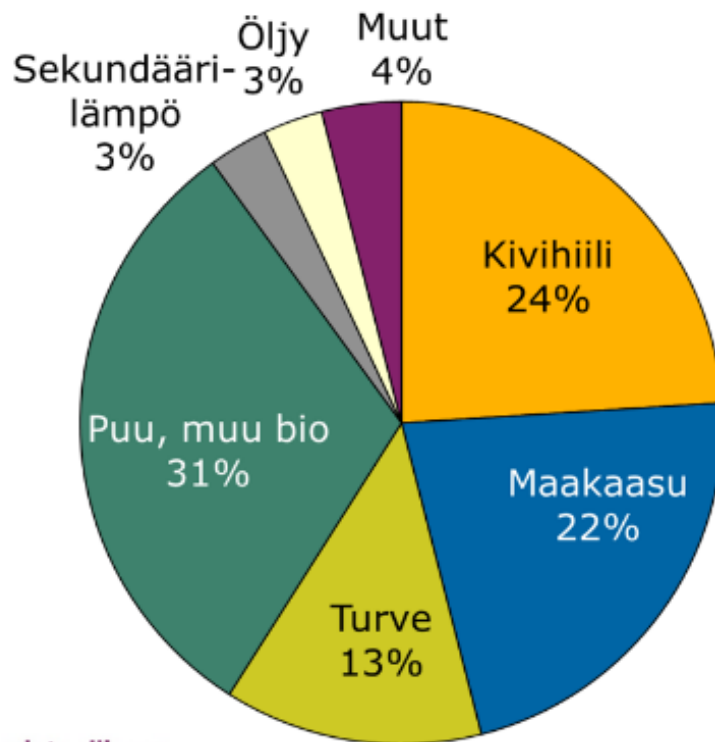
Kaukolämpöverkon menoveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilan funktiona. Menoveden lämpötila on 65–120 °C:een välillä. Alhaisimmillaan menoveden lämpötila on

kesällä, jolloin lämmönkulutus on pienintä. Kaukolämpövesi palaa asiakkailta tuotantolaitokseen 40–60 –°C:isena (Kaukolämmön toimintaperiaate, n. d.) Kaukolämpöverkon lämpötilat vaikuttavat ylijäämälämmön hyödyntämisessä valittuun tekniikkaan ja siihen hyödynnetäänkö sen meno- vai paluuveden lämmityksessä.

## **3.2 Kaukolämmön tuotanto**

Kaukolämpö tuotetaan yleensä isoissa yhteistuotantolaitoksissa, jotka pystyvät kattamaan lähes koko verkon vaatiman huipputehon. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP, Combined Heat and Power) tarkoittaa energiantuotantoa, jossa sähkö ja lämpö tuotetaan samassa voimalaitoksessa. Yhteistuotannon hyötysuhde on parempi, verrattuna pelkään sähköntuotantoon. Yhteistuotannossa polttoaineesta saatava hyötysuhde on jopa 90 %, kun erillisessä sähköntuotannossa päästään parhaimmillaan noin 60 %:iin. (Sähkön ja lämmön yhteistuotanto 2015.) Yhteistuotantolaitoksen sähköntuotannosta ylijäävä lämpö hyödynnetään esimerkiksi kaukolämpöveden lämmitykseen tai prosessihöyrynä.

Suurin osa Suomen kaukolämmöstä tuotetaan puun ja muun biomassan avulla. Kuviossa 3 on esitelty Suomen kaukolämmön polttoainejakauma vuodelta 2014.



Kuvio 3. Kaukolämmön polttoainejakauma Suomessa vuonna 2014 (Energiavuosi - kaukolämpö 2014. 2015)

Kaukolämpöyhtiön kustannuksista suurimman osan aiheuttavat kaukolämpöverkon ja tuotantolaitosten investointien pääomakustannukset (lainojen korot ja lyhennykset). Loput kustannuksista aiheutuvat kiinteistä käyttö- ja hoitokuluista, joihin kuuluvat palkat, vuokrat, sekä muuttuvista kustannuksista, joihin sisältyvät polttoaineen ostot, lämmönostot ja muu energiankulutus (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006, 465-466). Ylijäämälämmöstä maksettavasta hinnasta tulee ottaa huomioon, että tuotantokustannukset ovat vain osa kustannuksista joita kaukolämpöyhtiöllä on. Jolloin ylijäämälämmöstä maksettava hinta on siis huomattavasti vähemmän kuin kaukolämmön hinta, joka Jyväskylässä on noin 60 €/MWh.

### 3.3 Jyväskylän Energian kaukolämpö

Jyväskylän alueella suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona Keljonlahden ja Rauhalahden voimalaitoksilla. Yhteistuotantoa tukevat lisäksi 14 erillistä lämpölaitosta ja biokaasulaitos. (Lämmön tuotanto n. d.).

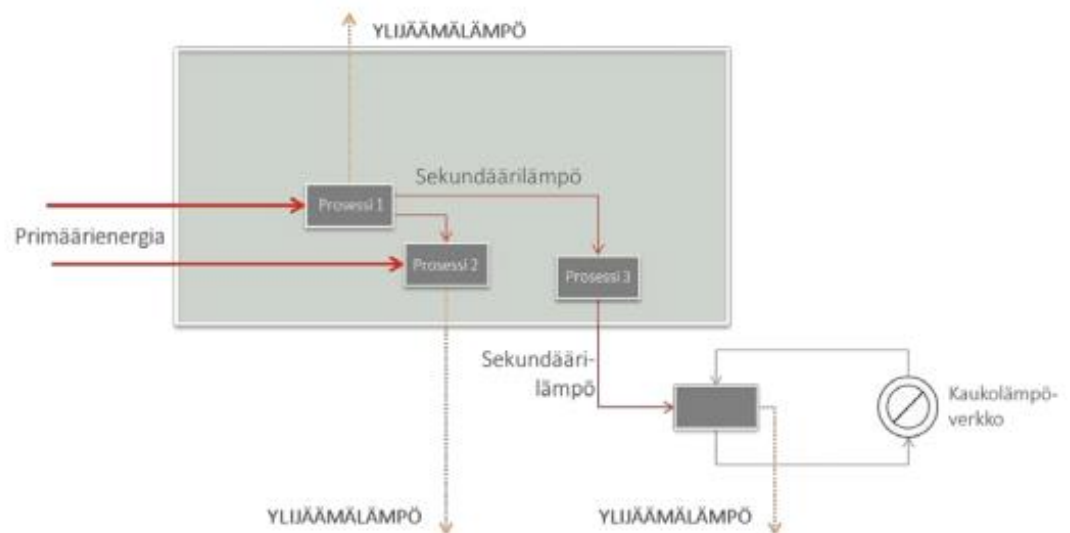
Vuonna 2014 Jyväskylän Energian lämmön myynti oli 1018 GWh, pääpolttoaineena lämmöntuotannossa käytettiin puuta ja turvetta (Yhteiskuntavastuuraportti 2014). Jyväskylän Energia omistaa Jyväskylän kaukolämpöverkon sekä Korpilahden ja Tikkaosken erilliset verkot. Jyväskylän Energia toimittaa myös verkkonsa kautta lämpöä Elenia Lämmön ja Muuramen Lämmön kaukolämpöverkkoihin.

Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen Jyväskylän kaukolämpöverkoissa lisää tuotannon joustavuutta. Tällä hetkellä hankalin tilanne Jyväskylän Energialle on lauhasää, jolloin se joutuu ajamaan molempia voimalaitoksia vajaalla teholla kattaakseen lämmön tarpeen. Kun voimalaitosta ei ajeta täydellä teholla, sen hyötysuhde huononee. Teollisuuden ylijäämälämmöllä voisi olla mahdollista korvata toisen voimalaitoksen käynnistäminen jolloin kustannukset pienenisivät. Ylijäämälämmön hyödyntäminen vähentää myös primäärienergian tarvetta, mikä vähentää yhtiön hiilidioksidipäästöjä.

## 4 Ylijäämlämpö

### 4.1 Ylijäämlämmön määritelmä

Teollisuuden käyttämä energia voidaan jakaa primääri- ja sekundäärienergiään. Primäärienergia on ulkopuolelta hankittua energiaa, esimerkiksi polttoainetta tai sähköä. Primäärienergialla tuotetaan prosessien tarvitsema energia. Esimerkiksi öljykattilalla tuotetaan lämpöä, jota kutsutaan sekundäärienergiaksi. Kun sekundäärienergia poistuu prosessista esimerkiksi jäähdytysveden tai poistoilman mukana laitoksen ulkopuolelle, sitä aletaan kutsua ylijäämlämmöksi. Kuvio 4 esittää prosessikaavion eräältä laitokselta. Ylijäämlämmöksi kuviossa 4 kutsutaan prosesseista ylimääräiseksi jäävää lämpöenergiaa, jota ei hyödynnetä. (Heikkilä & Kiuru 2014, 10.)



Kuvio 4. Ylijäämlämmön määritelmä (Heikkilä & Kiuru 2014, 10.)

Ylijäämlämpö on siis lämpöenergiaa, jota ei käytetä teollisuuslaitoksen prosesseissa hyödyksi, vaan se poistuu laitoksesta esimerkiksi ilman tai veden mukana.

Tässä työssä tutustutaan asiakkaiden kiinteistöihin, joista ylijäämälämpöä olisi saatavilla sellaisia määriä, että sen hyödyntäminen kaukolämpöverkossa olisi kannattavaa. Viime vuosina ylijäämälämmön hyödyntäminen kiinteistön lämmityksessä on yleistynyt nousevien energiakustannusten takia.

## 4.2 Ylijäämälämpö Suomessa

Suomen teollisuus on hyvin energiaintensiivistä. Suurin energian kuluttaja Suomessa on juuri teollisuus, joka kuluttaa lähes puolet kokonaisenergiasta. Suurimmat energiakuluttajat toimivat metsä-, kemian- ja metalliteollisuudessa. (Nivalainen. S. 2011, 43.)

Motivan selvityksen mukaan teollisuudesta syntyvä ylijäämälämmön hyödyntäminen voisi vähentää energiankulutusta jopa 4 TWh vuodessa, mikä on yli 10 % Suomessa käytettävästä kaukolämmöstä. Samalla lämpömäärällä voisi lämmittää vuoden ajan kaikki pääkaupunkiseudun ja kehyskuntien omakotitalot, joita on 200 000. (Motiva 2014.) Energiayhtiöt ja teollisuus kehittävät yhdessä ratkaisuja kuinka tämä ylijäämälämpö saataisiin talteen entistä tehokkaammin. Vuonna 2013 julkaistun kaukolämpöstrategian yksi päätavoitteista on kehittää kaukolämpöjärjestelmää siten, että se mahdollistaa asiakkaiden ylijäämälämmön hyödyntämisen (Kaukolämpöalan strategia 2013). Tällä hetkellä teollisuuden ylijäämälämpö kattaa Suomen kaukolämmöstä noin 3 % eli ylijäämälämpöä hyödynnetään noin 0,9 TWh (Energiavuosi - kaukolämpö 2014. 2015).

Suurimmat yksittäisen ylijäämälämpövirrat löytyvät metsä-, metalli-, elintarvike- ja kemianteollisuudesta. Ylijäämälämpömääriä on syytä tutkia myös muissa prosessite-

ollisuuden yrityksissä ja suurissa konesaleissa ja kauppakeskuksissa. Myös kerrostaloista poistuu lämpöä poistoilman mukana. Nykyisin sen hyödyntäminen on lisääntynyt lämmöntalteenoton tai poistoilmalämpöpumppujen avulla. Kerrostalojen ylijäämälämpömäärät jäävät kuitenkin vähäisiksi. Yleensä kaikki ylijäämälämpö siirretään kohteessa esim. tuloilmaan, lämpimään käyttöveteen, tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään, joten kaukolämpöverkkoon siitä ei riitä hyödynnettäväksi suuria määriä. (Poistoilmalämpöpumppu 2013.)

### **4.3 Vertailukohteina Ruotsi ja muu Eurooppa**

Ruotsi on johtavia maita ylijäämälämmön hyödyntämisessä. Noin 6,4 % kaukolämmöstä tuotetaan ylijäämälämmöllä, mikä vastaa noin 4,5 TWh:n energiamäärää. Energijärjestön arvion mukaan noin puolet taloudellisesti kannattavasta ylijäämälämmöstä on otettu talteen. Ruotsin tavoitteena on Etelä- ja Keski-Ruotsin osalta hyödyntää kaikki yli 55 °C:n lämpö vuoteen 2020 mennessä. Myös Ruotsin energiaintensiivinen teollisuus koostuu sellun- ja paperinvalmistuksesta, terästeollisuudesta sekä kemianteollisuudesta. Ruotsissa potentiaalisimmat ylijäämälämpökohteet on kartoitettu melko kattavasti, mutta pienen ja keskisuuren teollisuuden potentiaalia on tutkittu vähemmän. (Bröckl, Immonen, Vanhanen 2014, 11.)

EuroHeat & Power teki EU:lle selvityksen ylijäämälämpö potentiaalista Euroopan alueella. Selvityksessä arviotiin, että puolet kaikesta primäärienergiasta menee hukkaan lämpöenergiana, mutta kaikkea siitä ei ole mahdollista hyödyntää. Euroheat & Power arvioi, että noin 17 % sähköntuotannon ylijäämälämmöstä olisi mahdollista hyödyntää kaukolämmityksessä tai teollisuudessa. Vastaava luku muussa teollisuudessa on 3 %. (Arnell, Bolin, Holmgren, Staffas, Adolfsson, Lindblad, 2012. 23)

Selvityksen mukaan vuonna 2008 muutamassa Euroopan maassa teollisuuden ylijäämälämpöä hyödynnettiin seuraavasti:

Ranska	0,3 TWh
Ruotsi	4,9 TWh
Tanska	0,8 TWh
Saksa	0,9 TWh
Italia	0,03 TWh

(Arnell, ym. 2012, 23.)

Eniten teollisuuden ylijäämälämpöä hyödynnetään maissa, joissa on myös suuri lämmitystarve. On ymmärrettävää, ettei esimerkiksi Italiassa hyödynnetä paljoa ylijäämälämpöä, koska lämmitystarve on niin paljon pienempi kuin pohjoismaissa. Kaukolämpöverkkoja on myös eniten rakennettu pohjoismaihin.

#### **4.4 Energiatehokkuusdirektiivi**

Euroopan parlamentti ja neuvosto asettivat 25.10.2012 energiaterhokkuusdirektiivin, joka astui voimaan 4.12.2012. Direktiivi tulee ottaa osaksi kansallista lainsäädäntöä 4.6.2014. Energiaterhokkuusdirektiivi määrää paljon toimenpiteitä usealta eri sektorilta. Artikla 14 koskee kaukolämmityksen, kaukojäähdytykset, sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä teollisuuden ylijäämälämpöjen hyödyntämistä. Artiklan mukaan jäsenvaltion on tehtävä kattava arvio kaukolämmityksen, -jäähdytyksen ja tehokkaan yhteistuotannon potentiaaleista. Analyysin lisäksi tulee tehdä kansallinen kustannus-hyötyanalyysi, jossa arvioidaan taloudellisia hyödyntämismahdollisuuksia. Jos analyysi-

sit osoittavat, että hyödynnettävää potentiaalia on olemassa, tulee jäsenvaltion ohjata politiikan avulla tehokkaan kaukolämmityksen, -jäähdytyksen ja yhteistuotannon käyttöön. (Heikkilä & Kiuru 2014 8.)

Artiklan mukaan jäsenvaltion on laadittava 31.12.2015 mennessä kattava arvio tehokkaan yhteistuotannon ja tehokkaan kaukolämmön ja -jäähdytyksen hyödyntämismahdollisuuksista. Arviot tulee päivittää komission pyynnöstä viiden vuoden välein. Tällä tehostetaan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä ja yhteistuotantoa. Lämmityksen ja jäähdytysten tehostamismahdollisuuksissa on nimetty toimenpiteitä myös ylijäämälämmön hyödyntämiseen. Tehostamismahdollisuuksissa mainitaan esimerkiksi, että uuden ylijäämälämpöä tuottavan teollisuuslaitoksen sijoituksessa tulisi ottaa huomioon, onko alueella kulutuskohteita lämmölle. Direktiivissä myös mainitaan, että ylijäämälämpöä tuottavan teollisuuslaitoksen liittämistä kaukolämpöverkkoon tulisi kannustaa.

Arvioita varten on tehtävä kansallinen kustannus-hyötyanalyysi.

Kustannus-hyötyanalyysi koskee

- lauhdevoimalaitosta tai merkittävästi hukkalämpöä tuottavaa teollisuuslaitosta (yli 20MW)
- kaukolämmitys- ja jäähdytysverkkoa tai sen energiantuotantolaitosta (yli 20 MW)
- kustannus-hyötyanalyysin laatimista uuden laitoksen luvituksen yhteydessä (Heikkilä & Kiuru 2014 8.)

Kustannus-hyötyanalyysissä määritellään kustannustehokkain ja hyödyllisin lämmitys- tai jäähdytysvaihtoehto tietyille maantieteelliselle alueelle. Jos arvioinnin tai kustannus-hyötyanalyysin tulos on ”positiivinen” tulee toteuttaa tarvittavat toimenpiteet kohteen kehittämiseksi. Kaukolämmitys- ja kaukojäähdytysverkoista vastaavat yritykset voidaan velvoittaa yhteistyöhön kustannus-hyötyanalyysien tekemisessä. (Heikkilä & Kiuru 2014 8.)

*Suunnitellaan tai uudistetaan merkittävästi hukkalämpöä käyttökelpoisella lämpötilatasolla tuottavaa teollisuuslaitosta, jonka kokonaislämpöteho on yli 20 MW, kustannusten ja hyötyjen arvioimiseksi hukkalämmön käyttämisestä taloudellisesti perusteltua kysyntää varten, mukaan lukien yhteistuotannon tuloksena, ja tämän laitoksen liittämistä kaukolämmitys- ja jäähdytysverkkoon. (Direktiivi 2012/27/EU.)*

Energiatehokkuusdirektiivissä siis määrätään, että suurien teollisuusyritysten ylijäämälämmön hyödyntämisestä tulee tehdä selvitys sen hyödyntämisestä kaukolämpöverkkoon. Direktiivissä myös mainitaan, että uusien teollisuuslaitosten, joissa ylijäämälämpöä syntyy, sijoituksessa tulisi ottaa huomioon, onko lähellä kohteita mihin ylijäämälämmön voisi hyödyntää. Pienempiin teollisuusyrityksiin EU-Direktiivissä ei oteta kantaa.

Myös Energiavirasto valmistelee toiminnanharjoittajille ohjeistusta Energiatehokkuuslain (1429/2014) pykälän § 27 perusteella tehtävää kustannus-hyötyanalyysia. Toiminnan harjoittajat ovat veloitettuja 1.1.2015 lähtien tekemään KH-analyysin tiettyjen uudistusten yhteydessä.

#### **4.5 Näkökulmia ylijäämälämmön hyödyntämiseen**

Viime vuosien aikana kaukolämpöyhtiöiden kiinnostus ylijäämälämmön hyödyntämiseen on lisääntynyt. Monet kaukolämpöyhtiöt ovat tehneet tai tekemässä selvitystä ylijäämälämmön hyödyntämisestä kaukolämpöverkossa (Bröckl, Immonen, Vanhanen 2014, 14). Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa on listattu Suomen kaukolämpöstrategian päätavoitteisiin. Myös Jyväskylän Energian yksi vuoden 2015 tavoitteista on selvittää yritykset, joiden lämpöä voitaisiin hyödyntää kaukolämpöverkossa.

Yksittäisen kohteen valintaan vaikuttaa teholuokka ja lämpötilatasot. Kaukolämpöyhtiöiden näkemys on, että ylijäämälämmönkohteiden minimiteho on noin 100 kW. Siitä pienemmät energiamäärät todettiin useimmiten kannattamattomaksi (Bröckl, ym. 2014, 14). Pienempien kohteiden ylijäämälämpöteho harvoin on tasaista ja sen lämpömäärää voi olla vaikea ennustaa, myös investointien takaisinmaksuajat kasvavat turhan pitkiksi.

Selvityksen mukaan suurimpien kaupunkien ylijäämäpotentiaali olisi karkeasti arvioituna n. 4–6 % luokkaa. Kyseinen osuus olisi teknistaloudellisesti kannattavaa suorittaa vaikka käytössä olisi CHP-tuotantoa (Bröckl, ym. 2014, 14).

Suuri osa asiakkaista on tutkinut tai harkinnut ylijäämälämmön myyntiä. Kiinnostus kustannussäästöihin on päällimmäinen syy ylijäämälämmön myyntiin. Valtaosa lämmön myyntiä harkitsevista yrityksistä on kaukolämmön asiakkaita, joten talteen otettu lämpö voitaisiin syöttää kaukolämpöverkon paluupuolelle. Paluupuolelle syötetty energia voitaisiin vähentää ostettavan kaukolämmön kulutuksesta, jolloin kaukolämpöverkko toimisi periaatteessa lämpövarastona. Tällaisissa tilanteissa ylijäämälämmöstä ei kuitenkaan voida maksaa samaa hintaa kuin kaukolämpöyhtiön myymä lämpö. Kaukolämpö kustannukset muodostuvat monesta muustakin seikasta kun lämmöntuotannosta.

Kaukolämpöyhtiöiden reunaehtoja ylijäämälämmönhankintaan ovat seuraavat:

- Lämmöntuoton tulee sopia yhteen kaukolämpöyhtiön käyttämien tuotantomuotojen kanssa.
- Ylijäämälämmön ostokustannuksen tulee olla edullisempi kuin oma tuotantokustannus.
- Asiakkaan etäisyys kaukolämpöverkosta vaikuttaa siirtoverkon investointikustannuksiin – asiakkaan sijainnin tulee olla sopiva, jotta ylijäämälämmön hyödyntäminen on kannattavaa.
- Asiakaan toimittaman ylijäämälämmön lämpötila ja paine tulee olla sopivat.

- Lämpöä tulisi tarjota silloin, kun sille on tarvetta, ja lämpötoimitukset tulisi mielellään olla ennakoitavissa, jotta tuotannon suunnittelu on mahdollista.
- Lämmön talteenoton ja siirron aiheuttamien investointien takaisinmaksuaika tulee olla riittävän lyhyt.

(Bröckl, ym. 2014, 15–16.)

#### 4.5.1 Haasteita ylijäämälämmön hyödyntämiseen

Viime vuosina ylijäämälämmön hyödyntäminen teollisuudessa on lisääntynyt. Monet teollisuusyritykset hyödyntävät ylijäämälämpöä oman kiinteistön lämmitykseen.

Tämä johtuu energiakustannusten noususta ja lainsäädännöllisistä vaatimuksista pannaan energiatehokkuuteen. (Heikkilä & Kiuru 2014, 8.)

Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkoissa ei kuitenkaan viimevuosien aikana ole noussut merkittävästi.

Syitä tälle ovat

- taloudellinen kannattamattomuus
- talteenotto tekniikan puuttuminen tai sen epäluotettavuus
- ylijäämälämpöä tarjoavan asiakkaan sijainti

(Heikkilä & Kiuru 2014, 8.)

Suurin haaste on, että ylijäämälämmön hyödyntämisestä pitäisi siis saada taloudellisesti kannattavaa sen myyjälle ja ostajalle. Monesti teollisuusyrityksellä ja kaukolämpöyhtiöllä on eri näkemys ylijäämälämmön hinnasta. Kaukolämpöyhtiön pitää hinnoitella ylijäämälämpö omaa tuotantokustannusta pienemmäksi.

Poliittisesti ylijäämälämmön hyödyntämistä voitaisiin helpottaa luokittelemalla se uusiutuvaksi energiaksi. Luokittelumuutos vaatisi EU-tason muutoksen, mutta sellaista ei ainakaan vielä ole vireillä. Energiapolitiikalla voitaisiin vaikuttaa ylijäämälämmön hyödyntämiseen esimerkiksi energiatukien ja verotuksen avulla. Esimerkiksi

Ruotsissa valtiolta on mahdollista saada huomattavaa tukea ylijäämälämmön hyödyntämisen investointeihin (Kala, ym. 2010, 58).

Taloudellinen kannattavuus on yksi suurimpia esteitä ylijäämälämmön hyödyntämiselle. Teollisuudella ja energiayhtiöllä on erilainen näkemys ylijäämälämmöstä. Sopimukset pitäisi saada molemmille osapuolille kannattavaksi.

Monesti energiainvestoinnit kilpailevat yrityksissä tuotantoinvestointien kanssa, ja vaikka energiakustannukset ovat nousseet, niin tuotantoon suunnatut investoinnit menevät edelle. Myös ajankohta, milloin ylijäämälämpöä on tarjolla, vaikuttaa sen kannattavuuteen. Usein ylijäämälämpöä on tarjolla enemmän kesällä, jolloin lämmöntarve kaukolämpöverkoissakin on pienintä.

Pienimpien kohteiden haasteena on ylijäämälämpömäärien vähäisyys ja niiden ennakointi. Tämä aiheuttaa kaukolämpöyhtiöille vaikeuksia säätää kaukolämpöverkon toimintaa. Myös investoinnit ovat miltei samaa luokkaa kuin suuremmissa kohteissa, joten takaisinmaksuajat venyvät liian pitkiksi.

#### **4.5.2 Paluueden lämpötilan vaikutus sähköntuotantoon yhteistuotannossa**

Yhteistuotannossa paluueden lämpötila vaikuttaa sähkön tuotantomäärään. Usein yhteistuotantolaitoksilla pyritään maksimoimaan tuotetun sähkön määrä, jolloin paluueden lämpötilan tulisi olla mahdollisimman matala. Ylijäämälämmön syöttäminen paluuputkeen siis heikentää sähköntuotantoa, koska se nostaa paluueden lämpötilaa. Yhteistuotannossa kaukolämmön- ja sähköntuotannon riippuvuutta kuvataan rakennusasteella. Rakennusaste on sähköntuotannon suhde lämmöntuotantoon. Yhteistuotantolaitoksilla halutaan yleensä maksimoida tuotettavan sähkön määrä. (Nivalainen 2011, 57.)

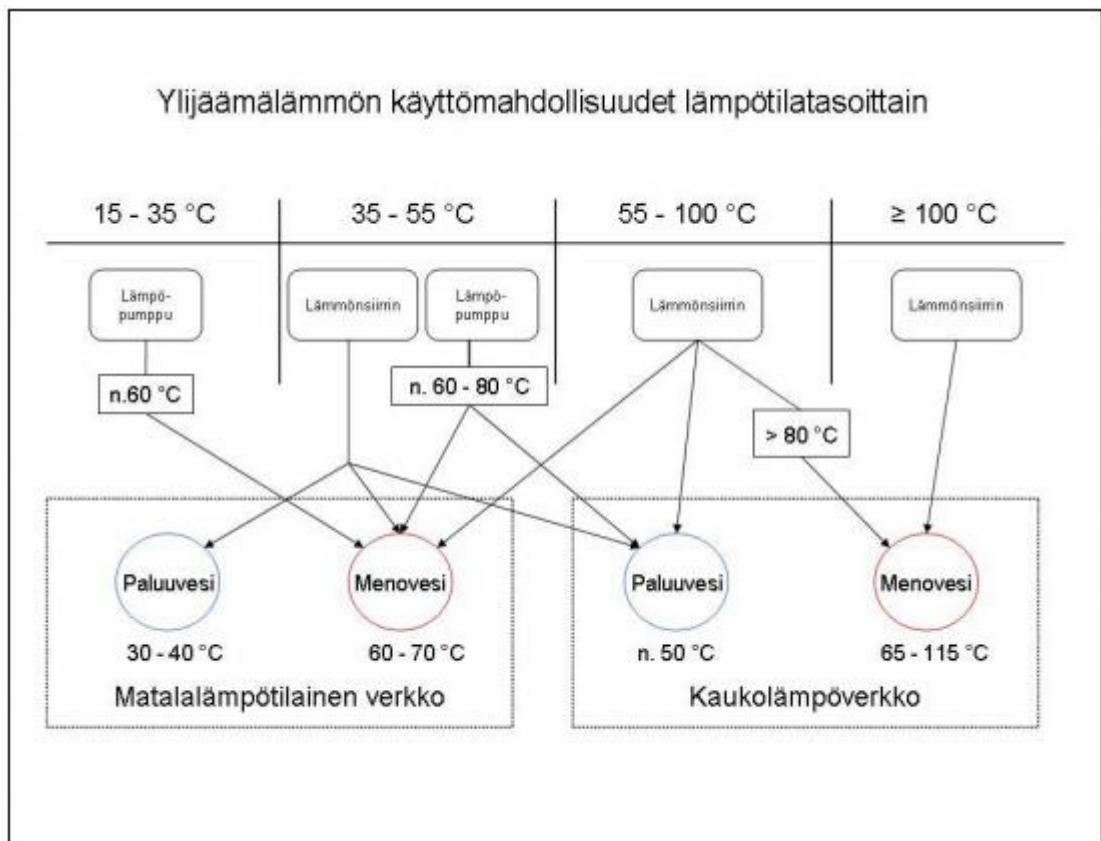
Taulukossa 1 on esitelty laskentakaavat paluueden lämpötilan vaikutuksesta yhteistuotannon sähkön ja lämpötehon muutokseen. TP tarkoittaa paluueden lämpötilaa. Taulukon 1 avulla voidaan siis laskea paluueden muutosten vaikutuksia sähkön ja lämmöntuottoon. Taulukon kaavat on määritetty tietyille voimalaitokselle, mutta taulukon avulla voidaan arvioida paluueden vaikutusta sähkö- ja lämpötehon muutoksiin. Taulukon mukaan esimerkiksi 2 °C:n nousu paluuedessä (65 → 67 °C) vähentää sähköntehoa 0,17 MW ja lämpötehoa 0,36 MW.

Taulukko 1. Kaukolämmön paluulämpötilan muutoksen vaikutus yhteistuotantolaitoksen sähköntuotantoon. Sovellusalue on  $TP \pm 2...3 \text{ °C}$  ( Koskelainen. Ym. 2006 s.495 )

Kattilakuorma	KI-paluu lämpötila	Sähkötehon muutos	Lämpötehon muutos
<b>100,00 %</b>	TP (75 °C)	$-0,035*TP+2,625$	$-0,086*TP+6,450$
	TP (70 °C)	$-0,058*TP+4,060$	$-0,0130*TP+9,1$
	TP (65 °C)	$-0,085*TP+5,522$	$-0,181*TP+11,765$
<b>50,00 %</b>	TP (55 °C)	$-0,050*TP+ 2,743$	$-0,129*TP+7,095$
	TP (50 °C)	$-0,0798*TP+3,993$	$-0,1886*TP+9,430$

## 4.6 Ylijäämälämmön talteenotto

Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuudet riippuvat sen lämpötilasta ja muodosta. Talteenottotekniikka valikoidaan näiden kahden tekijän avulla. Kuviossa 5 on esitelty neljä eri ylijäämälämmön lämpötilatasoa ja sitä kuinka niitä voi hyödyntää.



Kuvio 5. Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuudet lämpötilan mukaan (Kala, ym. 2010, 49)

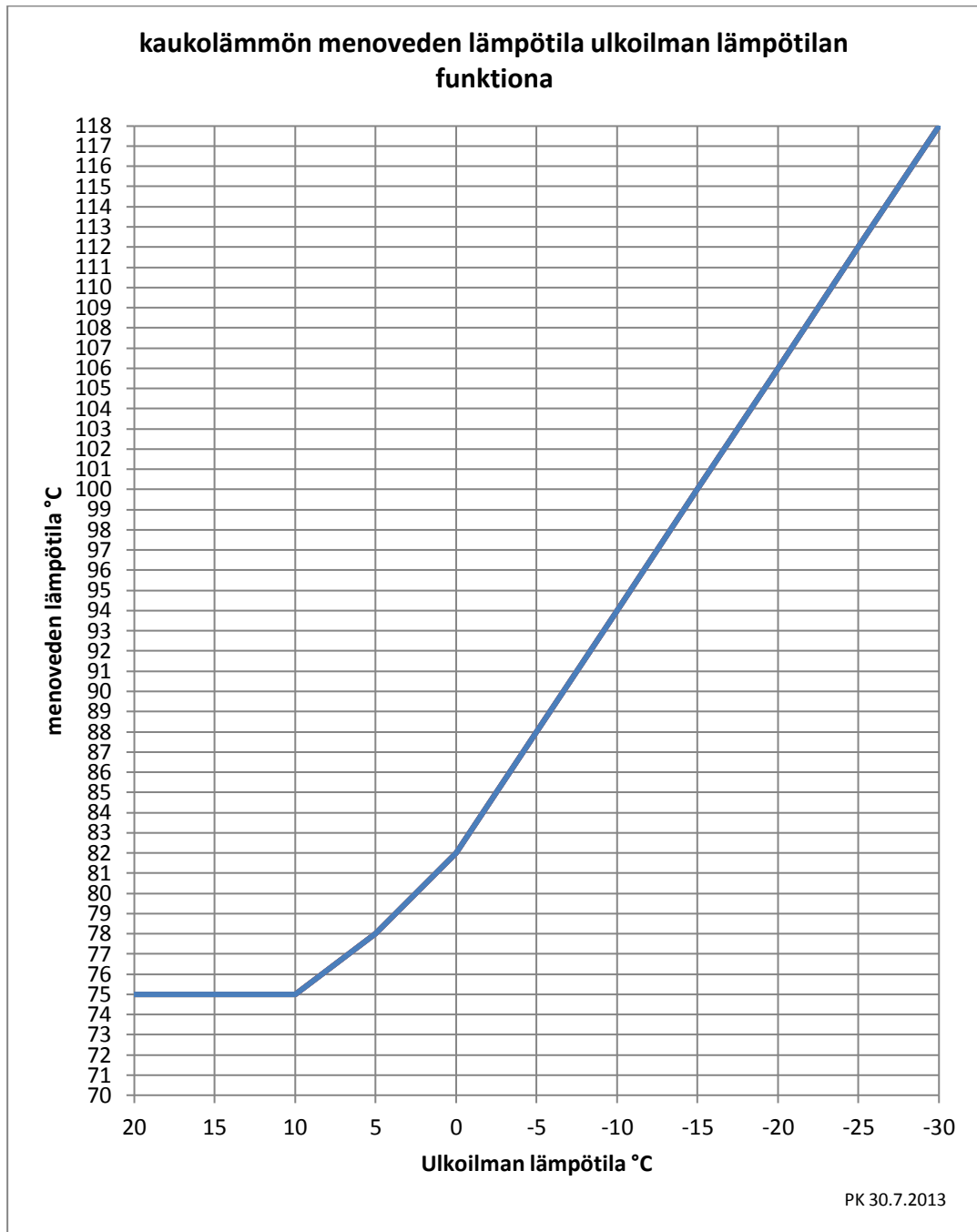
Ylijäämälämmön lämpötilataso vaikuttaa siihen, kuinka lämpö voidaan siirtää kaukolämpöverkkoon ja mitä tekniikkaa käytetään. Kaukolämpöverkon menoveden lämpötila on Suomessa 65–120 °C välillä. Paluveden lämpötila on taas 45–60 °C välillä. Kaukolämpöverkon menoveden lämpötilaan vaikuttaa melko suoraan ulkolämpötila eli asiakkaiden lämmöntarve.

Kaukolämpöverkkoon syötettävän ylijäämälämmön pienin lämpötila on kuvion 5 mukaan 35 °C, jolloin sen lämpötilan nostaminen on vielä taloudellisesti kannattavaa lämpöpumpun avulla. Yli 55 °C:n ylijäämälämmöllä on mahdollista lämmittää kaukolämpöverkon paluuvettä lämmönsiirtimen avulla. Kun ylijäämälämmön lämpötila nousee yli 80 °C:n, ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä on mahdollista.

Suuri osa teollisuudessa syntyvästä ylijäämälämmöstä on mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkon paluuveden lämmitykseen. Lämmöntuottajan kannalta tämä ei välttämättä ole paras ratkaisu, jos verkossa on yhdistettyä lämmön ja sähkön tuotantoa. Paluuveden lämmittäminen vähentää sähköntuotantoa. (Kala, ym. 2010, 50)

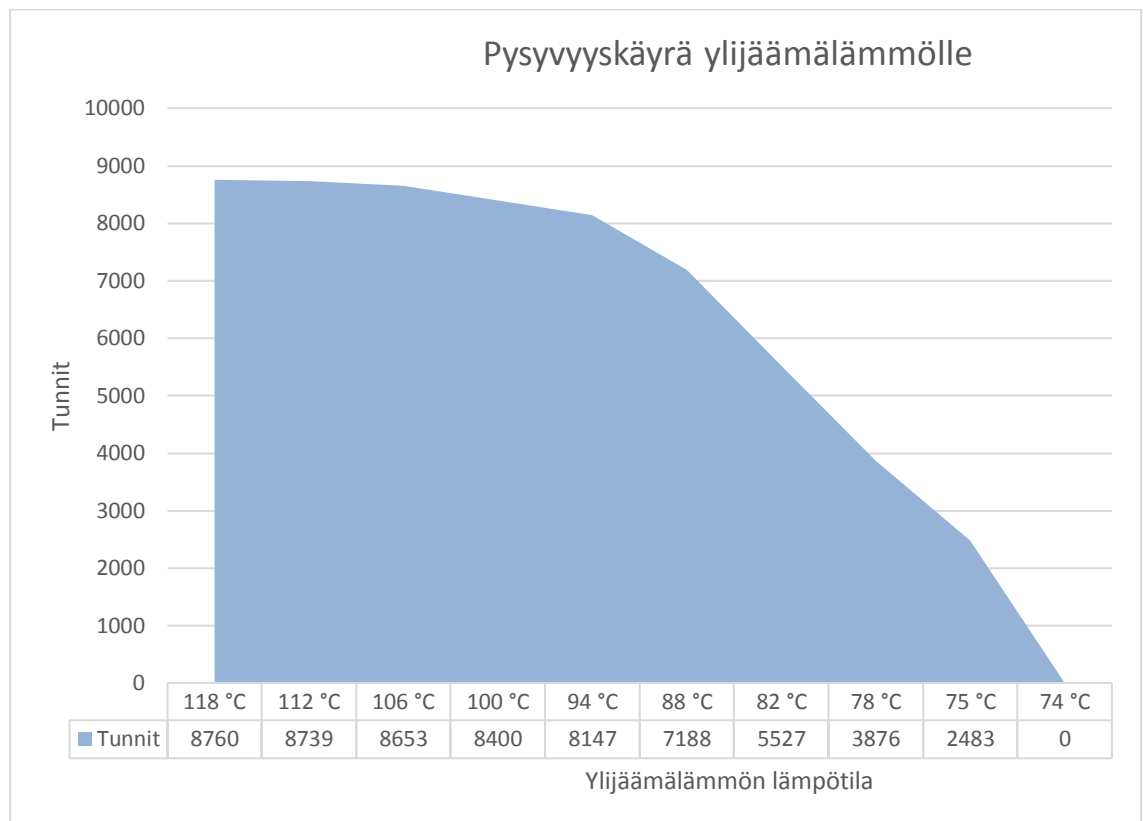
Ylijäämälämmön lämpötila siis vaikuttaa siihen, miten ja kuinka paljon sitä voidaan hyödyntää kaukolämpöverkossa.

Opinnäytetyössä tutkitaan kohteita joiden ylijäämälämpö voidaan hyödyntää, joko kaukolämpöverkon paluu- tai menoputkistossa. Kuviossa 6 on esitelty Jyväskylän Energian menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona. Paluuveden lämpötila on Jyväskylän Energian kaukolämpöverkossa 48–52 °C:n välillä. Pumppaamojen paluuveden lämpötilat ovat 42–54 °C:n välillä. Paluuveden lämpötila riippuu alueilla olevista teollisuuskiinteistöistä tai toimimattomista lämmönvaihtimista. Paluuveden lämmityksessä voi Jyväskylän alueella hyödyntää alueesta riippuen, noin 50–55 °C:ista ylijäämälämpöä.



Kuvio 6. Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon menoveden lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona

Kuviossa 7 on menoveden lämpötilasta ja Jyväskylän alueen ulkoilman lämpötilasta on tehty pysyvyysskäyrä ylijäämälämmön lämpötilalle. Jyväskylän alueen ulkoilman pysyvyysskäyrä löytyy Ilmatieteenlaitoksen sivuilta ja tiedosto on työn liitteenä.



Kuvio 7. Pysyvyyskäyrä ylijäämlämmön lämpötilalle

Pysyvyyskäyrästä voi arvioida, kuinka monta tuntia vuodessa tietyn lämpöistä ylijäämlämpöä voi hyödyntää menoveden lämmityksessä. Esimerkiksi yli 118 °C:n ylijäämlämpöä voi hyödyntää menoveden lämmityksessä koko vuoden. Mitä viileämpää ylijäämlämpöä on sitä vähemmän sitä voidaan hyödyntää vuoden aikana. Alle 75 °C:n ylijäämlämpöä ei voi hyödyntää Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä.

## 4.7 Talteenottotekniikat

Ylijäämälämmön talteenottoon tarvitaan useasti epäsuoraa lämmönsiirtoa esimerkiksi lämmönsiirrintä tai lauhdutinta. Ylijäämälämmön talteenotto on tutkittava aina lämmönlähteen ja käyttötarkoituksen mukaan.

Talteenotto voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraavilla tekniikoilla:

- lämpöpumppu
- lämmönsiirtimet
- savukaasupesuri

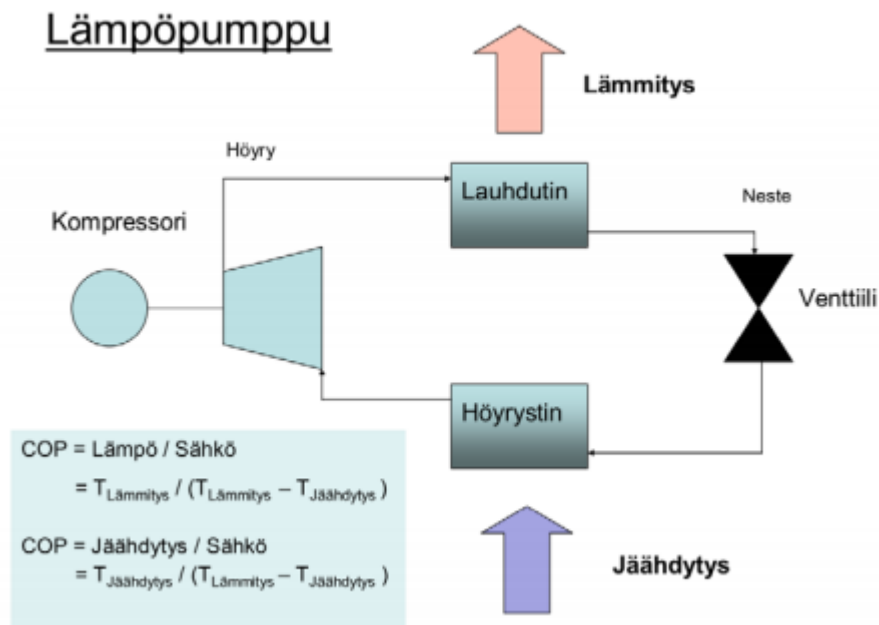
(Kala. , ym. 2010, 8).

### 4.7.1 Lämpöpumppu

Lämpöpumppu mahdollistaa matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisen kaukolämpöverkossa. Lämpöpumpulla ylijäämälämmön lämpötila voidaan nostaa sellaiselle tasolle, että se voidaan käyttää hyödyksi teollisuuden prosesseissa ja kaukolämpöverkoissa. Lämpöpumpun toimintaperiaate perustuu siihen, että se siirtää väliaineeseen varastoitunutta lämpöä toiseen aineeseen. Lämpöä voidaan kerätä esimerkiksi maasta, vedestä tai ilmasta. Lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuus määrittyy lämpöpumpun käyttöenergian ja saatavan lämmön hintaerosta. (Maaskola, Kataikko 2014,)

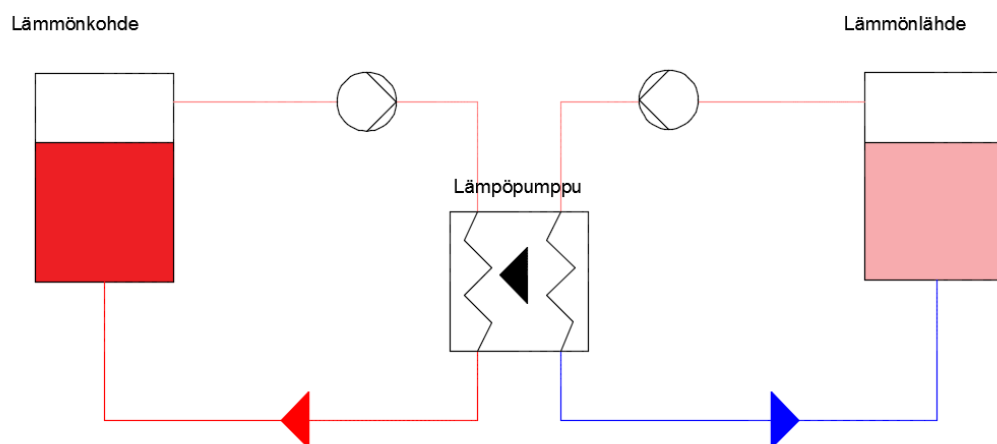
Lämpöpumpun toiminta perustuu laitteessa kiertävän kylmäaineen faasimuutoksiin eli höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Kylmäaine sitoo lämpöä höyrystyessään ja vapauttaa lämpönsä haluttuun kohteeseen lauhtuessaan. Lämpöpumpun tärkeimmät komponentit ovat höyrystin, lauhdutin, paisuntaventtiili ja kompressori (How does Heat Pump work, N. d).

Kuviossa 8 on esitelty lämpöpumppuprosessin toimintaperiaate.



Kuvio 8. Lämpöpumppuprosessin toimintaperiaate (Maaskola, Kataikko 2014, 15)

Ylijäämälämmönsiirrossa lämpöpumpun väliaine höyrystyy ylijäämälämmön avulla. Sen jälkeen väliaine menee kompressorin kautta lauhduttimelle, jossa se muuttuu takaisin nesteeksi luovuttaen samalla höyrystymislämpönsä. Lämpöpumppu siis hyödyntää väliaineen faasimuutoksia lämmönsiirron tehostamisessa.



Kuvio 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate

Kuviossa 9 on esitelty lämpöpumpun toimintakaavio. Lämpöteho lasketaan ylijäämälämmön luovuttaman lämpöenergia ja sähköenergian summasta.

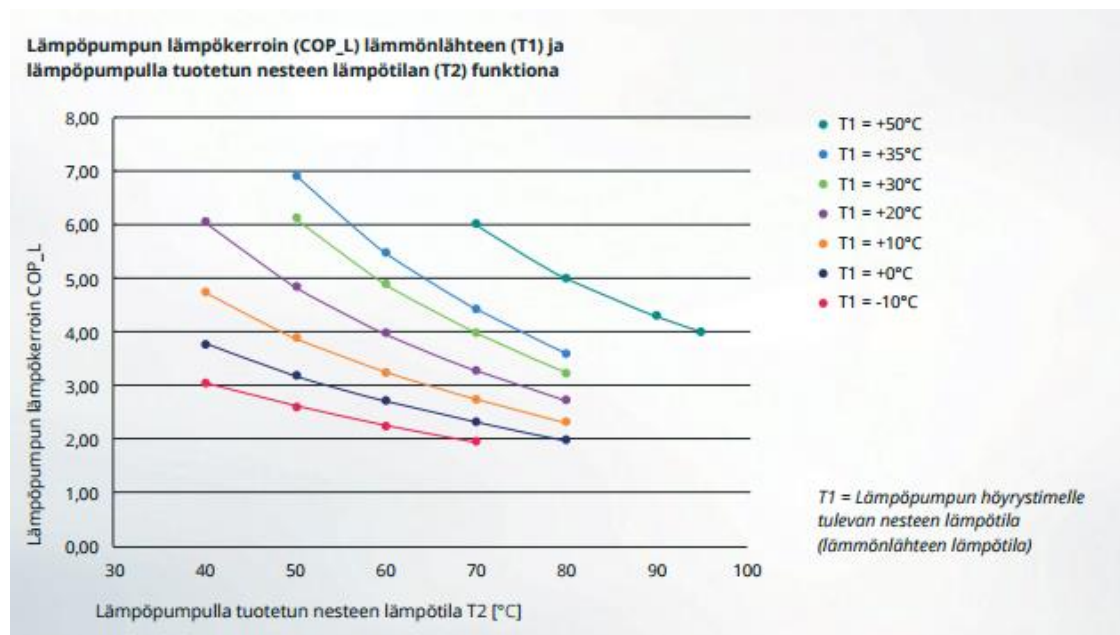
Lämpöpumppu nostaa matalanlämpötilaisen aineen korkeampaan lämpötilaan yleensä sähkön avulla. Lämpöpumpun sähkön kulutus verrattuna suoraan sähkölämmitykseen on pienempi perustuen lämpöpumppujen COP-arvoon (Coefficient Of Performance). COP-arvo kuvaa siis lämpöpumpun höytysuhdetta, COP-arvo voidaan laskea kaavalla:

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Jossa Q on lämpöpumpusta saatava energia ja W on lämpöpumpun kuluttama energia. (Maaskola, Kataikko 2014, 17).

Teollisuuskohteissa käytettävien lämpöpumppujen COP-arvo on noin viisi riippuen eri tekijöistä. COP-arvoon vaikuttaa lämmönlähteen lämpötila, ja kuinka paljon sitä halutaan nostaa.

Kuviossa 10 on esitelty Pemco-teollisuuslämpöpumpun COP-arvoja tuotetun nesteen lämpötilan funktiona. Kuvasta selviää esimerkiksi 35 °C:een lämpöisen nesteen lämmitys 60 °C:ksi, niin Pemco-lämpöpumpun COP-arvo on tällöin noin 5,5.



Kuvio 10. COP-arvo lämmönlähteen ja lämpöpumpulla tuotetun nesteen lämpötilan funktiona (LTO-Lämpöpumput, n. d.)

Lämpöpumpun hyödyntäminen ylijäämälämmöntalteenotossa on yleistynyt viime vuosina. Lämpöpumppu aiheuttaa kuitenkin kustannuksia ylijäämälämmöntuotantoon sähkönkulutuksen muodossa, joten ylijäämälämmöstä saatava korvauksen tulee olla sellainen, että se kattaa sähkönkulutuksesta aiheutuvat kulut.

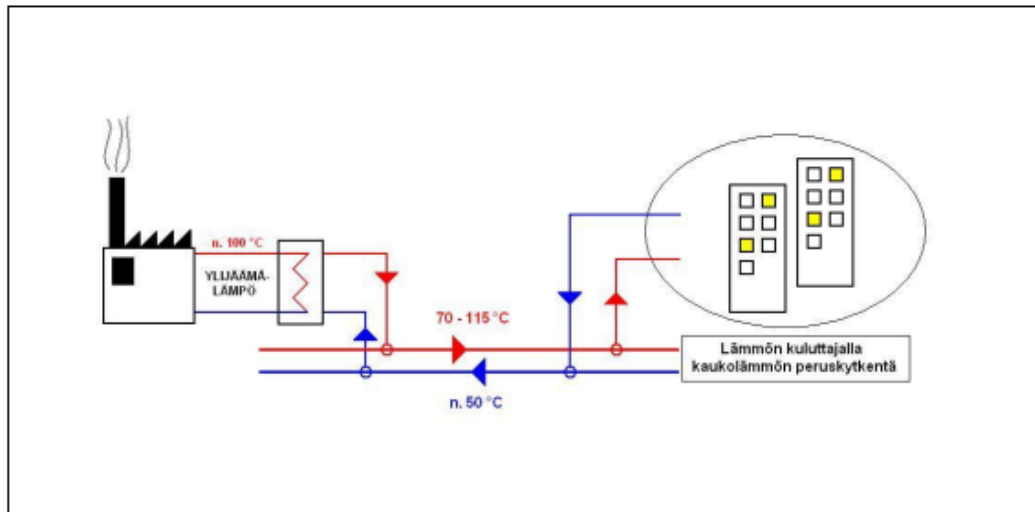
Esimerkiksi kohteen ylijäämälämpöteho on 500 kW ja ylijäämälämmön lämpötila 35 °C. Lämpötila tulee nostaa 60 °C:een, jotta sitä voi hyödyntää kaukolämpöverkon paluuveden lämmityksessä. Tällaisessa tilanteessa esimerkiksi Pemcon lämpöpumpun COP-arvo olisi noin 5,5 jolloin ylijäämälämmön hyödyntäminen vaatisi noin 90 kW sähkötehon. Ylijäämälämpöä saadaan siirrettyä verkkoon 0,5 MWh, ja sähköenergiaa sen siirtoon kuluu 0,09 MWh. Eli yhden MWh:n tuottamiseen menee n. 0,18 MWh sähköä. Ylijäämälämmön lämmittäminen siis maksaisi sähköhinnasta riippuen 10–18 €/MWh. Sähkön hinnan vaihteluväliksi on oletettu 60–100 euroa MWh.

#### **4.7.2 Lämpöpumppu kaukolämpöverkossa**

Lämpöpumppu on mahdollista sijoittaa myös kaukolämpöverkkoon. Esimerkiksi tapauksessa, jossa joillakin verkon alueella siirrettään paljon teollisuuden ylijäämälämpöä verkon paluuputkistoon, voitaisiin siitä pumpata lämpöpumpun avulla lämpöä takaisin verkon menoputkistoon. Etuna tässä olisi, että paluuputkiston lämpötila lasquisi, jolloin yhteistuotanto laitoksen sähköntuotanto paranee sekä kyseisen haaran pumppausasteen tarve voi pienentyä. Tämän seurauksena osa lämpöpumpun käyttämästä sähköenergiasta saadaan takaisin säästettynä pumppausenergiana.

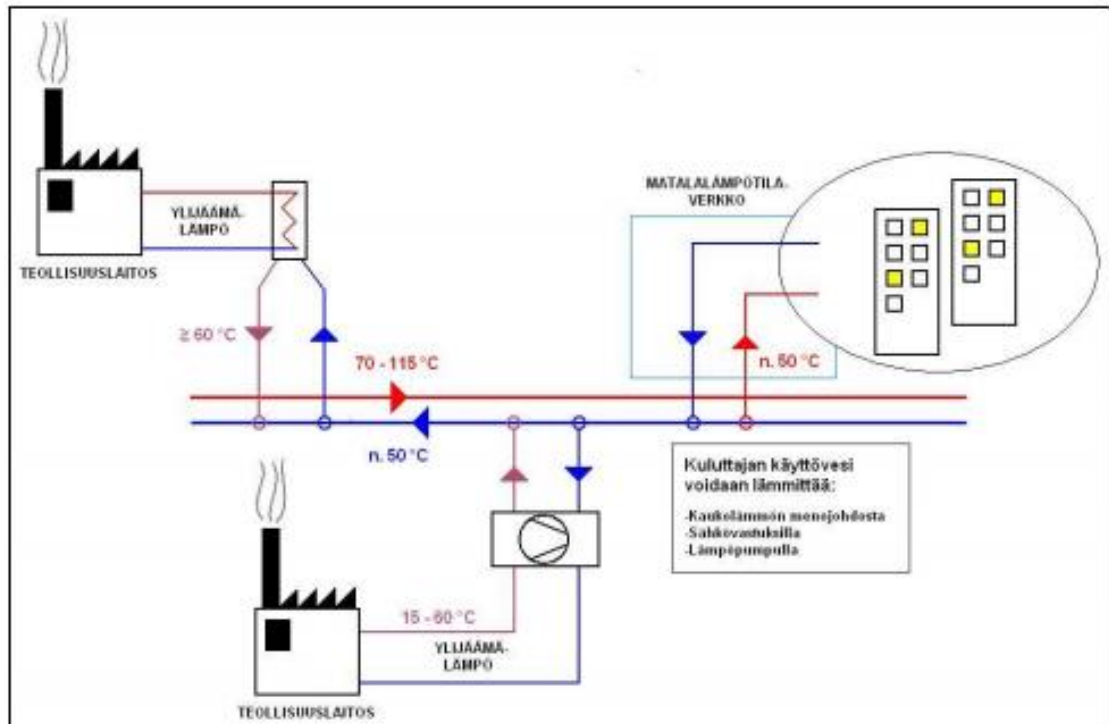
Kuviossa 11 on esitelty periaatekuva lämpöpumppu liitännästä kaukolämpöverkkoon. (Kaukolämpöjärjestelmän paluuveden hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä 2010, 33.)





Kuvio 12. Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä (Kala, ym. 2010, 50)

Kuviossa 12 on esitetty periaatekytkentä ylijäämälämmön siirtämiseksi menoputkistoon. Lämmitettävä kaukolämpövesi otetaan paluuputkistossa, jonka lämpötila on n. 45–60 °C ja se lämmitetään ylijäämälämmön avulla lämpimämmäksi kuin menovesi. Kun ylijäämälämpö käytetään hyödyksi kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä, se saadaan hyödyksi suoraan kaukolämpöverkon primäärienergiana, eikä se vaikuta yhteistuotannon sähköntuotantoon. Suuri osa teollisuuden ylijäämälämmöstä on kuitenkin lämpötilaltaan sellaista, ettei sitä voi hyödyntää kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä.



Kuvio 13. Ylijäämälämmön hyödyntäminen paluuedenlämmityksessä (Kala, ym. 2010, 13)

Teollisuudesta hyödynnettävän ylijäämälämmön määrä nousee huomattavasti, jos tarkastellaan lämpötiloja, jotka ovat matalampia kuin kaukolämpöverkon menoveden lämpötila. Silloin ylijäämälämpö voidaan käyttää kaukolämpöverkon paluueden lämmittämiseen. Kaukolämpöverkon paluueden lämmittämisen huonona puolena on, että se vähentää yhteistuotannossa tuotetun sähkön määrää. Kuviossa 13 näkyy liitäntä, jossa paluuputkiston vesi otetaan lämmönvaihtimelle ja sen lämpötilaa nostetaan kohteen ylijäämälämmön avulla.

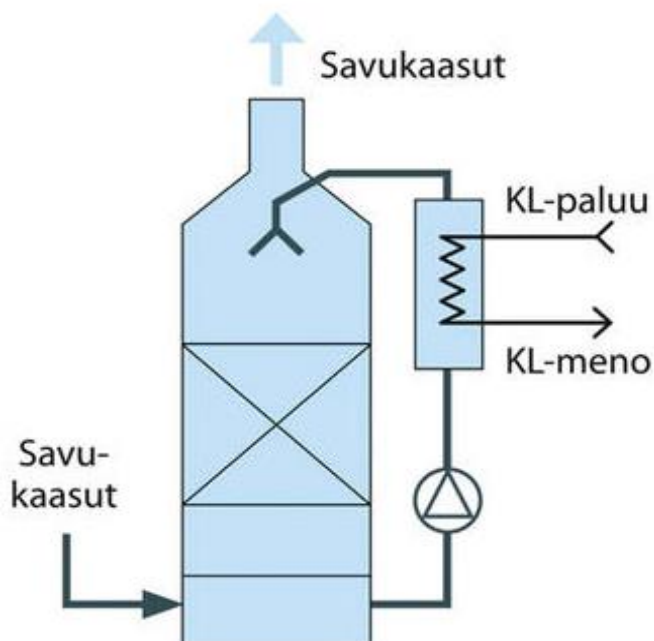
Liittyessä kaukolämpöverkon paluuputkistoon tulee varmistaa, että kytkentä pisteessä on riittävästi virtausta. Liitoskohdan tulee siis olla päärunkolinjassa tai lähellä primäärilämmönlähdettä.

Menoputkistoon liittyessä voidaan mahdollisesti hyödyntää tämän hetken kaukolämpöliitäntää. Virtauksen suunta käännetään pumppujen avulla paluupuolelta meno puolelle. Paluuputkistoon liittyessä tarvitsee rakentaa uusi linja, joka on yhteydessä paluuputkeen.

Lämmönsiirtimet ovat edullinen tapa hyödyntää ylijäämälämpöä kaukolämpöverkoissa, koska ne eivät vaadi sähköä lämmittämiseen verrattuna lämpöpumppuun ja ovat investoinneiltaan pienempiä.

#### 4.7.4 Savukaasupesuri

Savukaasupesuri on kattilalaitokseen sijoitettava laite, jonka tavoitteena on alentaa savukaasujen hiukkaspäästöjä. Nykyään savukaasupesurien käytön painopiste on siirtynyt enemmän savukaasuissa olevan ylijäämälämmön talteenoton tehostamiseen. Pesurin toiminta perustuu kahteen peräkkäiseen prosessiin. Ensimmäisessä prosessissa savukaasut puhdistetaan, jossa savukaasuista poistetaan suurin osa pienhiukkasista. Samalla savukaasut jäähtyvät märkälämpötilaansa (60–70 °C). Pesuvaiheen jälkeen savukaasut menevät lauhduttimeen, jossa savukaasut luovuttavat lämpönsä vastavirtaan valuvaan kiertoveteen. Kuviossa 14 kiertovesi johdetaan lämmönvaihtimelle, jossa siitä voidaan ottaa lämpöä talteen esimerkiksi kaukolämpöverkkoon. (Järvenreuna 2014.)



Kuvio 14. Savukaasujen lämpöenergia siirretään lämmönvaihtimella kaukolämpöverkkoon (Järvenreuna 2014.)

## 4.8 Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa

Ylijäämälämpöä esiintyy teollisuudessa eri muodoissa ja ominaisuuksia. Jokainen ylijäämälämpökohde vaatii oman tarkastelun. Ylijäämälämmön käytännön hyödyntämismahdollisuudet riippuvat useista tekijöistä:

- lämpötilataso
- lämpötehon suuruus
- lämpövirran väliaine ja olomuoto (kaasu, höyry, neste, ilma jne.)
- väliaineen kemialliset ominaisuudet
- väliaineen puhtaus

( Heikkilä & Kiuru 2014, 10).

Näiden tietojen avulla ylijäämälämmön hyödyntämisen tekniikat ja käyttöpaikka voidaan määrittää.

Jos jokin tekijöistä on epäsuotuisa ylijäämälämmön hyödyntäminen voi osoittautua kannattamattomaksi. Mikäli asiakkaalla on paljon ylijäämälämpöä, mutta sen hyödyntäminen todetaan kannattamattomaksi, on syytä selvittää voiko pienellä muutoksella prosessissa saada parannettua kokonaisenergiatehokkuutta ja kannattavuutta. Teollisuusyrityksissä ylijäämälämmön hyödyntämistä tarkastellaan tyypillisesti seuraavassa järjestyksessä:

- Käyttää lämpö uudelleen omissa prosesseissa tai lämmityksessä.
- Myydä lämpöä kaukolämpöverkkoon.
- Lämmön muuttaminen sähköksi esimerkiksi ORC-tekniikalla.

( Heikkilä & Kiuru 2014, 11)

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä tarkemmin ORC-tekniikkaa.

## 4.9 Nykyiset sopimukset

Suuri osa Suomessa solmituista ylijäämälämmön myyntisopimuksista on solmittu jo 1980-luvulla. Kyseiset kohteet ovat suuria teollisuuslaitoksia, joilla ylijäämälämpöä syntyy paljon. YIT:n selvityksen mukaan sopimukset ylijäämälämmön myynnistä ovat syntyneet helposti. Investoinnit näissä sopimuksissa ovat jakautuneet niin että myyjä on vastannut lämmön talteenottoon liittyvistä investoinneista, kuten lämmönsiirtimistä ja pumpuista. Energiayhtiö on vastannut siirtojohtojen rakentamisesta. Myyjä on myös yleensä vastannut lämmönsiirtimien käytöstä ja kunnossapidosta. (Kala, ym. 2010, 48)

Lämmön hinta näissä sopimuksissa on sidottu jonkin polttoaineen hintaan. Ylijäämälämmöstä maksettu hinta on jokaisessa sopimuksessa matalampi kuin kaukolämmön hinta. Mikäli energiayhtiöllä on yhteistuotantoa, lämpöenergiasta maksettu hinta on vielä alhaisempi, koska ostamalla lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon, tuotetun sähkön määrä vähenee. (Kala, ym. 2010, 48)

Tässä työssä tutkitaan myös kohteita, joiden ylijäämälämmön määrä ei ole niin suurta. On siis hyvä miettiä erilaisia rahoitusmalleja ja sopimuksia.

### 4.9.1 Investointien jakautuminen

Kaukolämpöyhtiön toiminta perustuu ostamaansa tai tuottamaansa lämmön myyntiin. Ylijäämälämmön hinnan tulee olla kilpailukykyinen verrattuna kaukolämpöyhtiön omaan tuotantoon tai muuhun lämmön hankintaan. Parhaassa tapauksessa ylijäämälämmön hyödyntäminen tarjoaa kaukolämpöyhtiölle mahdollisuuden hankkia edullista lämpöä. Kaukolämpöyhtiön hyötynä on lämmönhankintakustannusten sekä mahdollisten ympäristömaksujen pieneneminen. (Nivalainen 2011, 63–64.)

Useissa teollisuuslaitoksissa syntyy ylijäämälämpöä, jota he eivät voi hyödyntää omissa prosesseissaan. Hyödyntämällä tämän ylijäämälämmön kaukolämpöverkossa teollisuuslaitos voisi hankkia lisätuloja. Teollisuuslaitoksen toiminnan piiriin ei kuitenkaan kuulu lämmön myyminen, joten ylijäämälämmön myyminen ei saa häiritä päätoimintaa esimerkiksi tuotantoprosessia. (Nivalainen 2011, 62.)

Ylijäämälämmön talteenotossa kannattaa myös miettiä kuka investoi tarpeelliseen laitteistoon. Peruslaitteisto voidaan jaotella kahteen osaan, lämmöntalteenottolaitteistoon ja siirtoputkistoon. Yleisin jako tähän mennessä on ollut, että teollisuuslaitos investoi lämmön talteenottolaitteiston ja kaukolämpöyhtiö huolehtii siirtoputkistoinvestoinneista (Kala, Ym., 2010, 48). Investointitukien näkökulmasta olisi luonnollista, että kaukolämpöyhtiö toimii investoijana. Sillä kaukolämpöyhtiön energiankulutus ja päästöt vähenevät, kun aikaisempaa tuotantoa korvataan ylijäämälämmöllä. Jos investoinnit jaetaan kaukolämpöyhtiön ja teollisuusyrityksen kesken, investointituen saamisen ehtona on, että hanke pystytään määrittämään yhdeksi selkeäksi kokonaisuudeksi. (Nivalainen 2011, 63)

Investointituki voidaan myöntää hankkeisiin jotka edistää:

- *Uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä*
- *Energiansäästöä tai energiatuotannon tai käytön tehostamista*
- *Vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja.*

(Energiatuki. 2015)

Energian talteenottohankkeissa investointituen saamisen ehtona ovat energiatehokkuuden lisääminen ja hiilidioksidipäästöjen väheneminen. Jos ylijäämälämmöllä korvataan biopolttoaineista tehtyä lämpöenergiaa, se ei vähennä kaukolämpöyhtiön päästöjä, mikä voi vaikeuttaa tuen saantia. (Nivalainen 2011, 77)

## 5 Opinnäytetyön toteutus

Työn tavoitteena oli kerätä Jyväskylän Energialle tietoa sen kaukolämpöverkon alueella sijaitsevista teollisuusyrityksistä, joiden prosesseissa syntyy ylijäämälämpöä. Jyväskylän kaukolämpöverkon kartta löytyy työn liitteenä kaksi. Selvityksen perusteella saadaan rajattua yritykset, joilla syntyy ylijäämälämpöä ja saadaan tietoa yritysten ylijäämälämmöstä. Selvityksen jälkeen Jyväskylän Energian on helpompi jatkaa projektia, kun mahdolliset ylijäämälämpöä tarjoavat asiakkaat ovat selvillä. Selvityksen perusteella voidaan myös karsia joitain asiakkaita, jos heidän toimittama ylijäämälämpö ei ole sopivan lämpöistä tai lämpöteho on turhan pieni. Toisena tavoitteena oli kerätä tietoa ylijäämälämmön hyödyntämisestä kaukolämpöverkossa. Tietopohjan avulla saadaan tietoa erilaisista talteenottotekniikoista, erilaisten ylijäämälämpöjen hyödyntämiseen.

Opinnäytetyössä keskityttiin teollisuusyrityksiin. Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella sijaitsee muutamia suuria ja useita pieniä teollisuusyrityksiä. Selvityksessä pyrittiin ottamaan yhteyttä kaikkiin asiakkaisiin, joilla mahdollisesti syntyy ylijäämälämpöä. Asiakkaita ei rajattu kokoluokan perusteella. Tarkoitus oli löytää kaikki kohteet, jotka käyttävät prosesseissaan lämpöenergiaa. Rajauksena teollisuusyritysten selvityksessä oli, että kiinteistöissä on jonkinlaista prosessiteollisuutta. Prosessiteollisuus tarkoittaa teollisuutta, jossa jostain raaka-aineesta jalostetaan tuotteita. Usein prosessiteollisuus tarvitsee lämpöä tuotantoprosesseissaan. Kyselyn saaneet asiakkaat olivat erikokoisia prosessiteollisuuden yrityksiä. Teollisuuden aloja olivat metalli-, konepaja-, elintarviketeollisuus sekä maalaamot ja kuvapainot.

Asiakkaiden selvittämisen apuna käytettiin Jyväskylän Energian toimittamaa kaukolämmön asiakaslistaa. Listalle oli karsittu teollisuusyritykset ja varastot. Asiakkaita listalla oli yhteensä 229, joista potentiaalisiksi kohteiksi todettiin 25. Kysely laitettiin 24 asiakkaalle, joista 9 vastasi kyselyyn. Kolme ilmoitti puhelimesta, ettei heillä synny

ylijäämälämpöä. Suuri osa listan asiakkaista oli varastotiloja tai pieniä yrityksiä, joissa ei synny tarpeeksi ylijäämälämpöä.

Asiakkaiden toimintaa selvitettiin katsomalla yrityksen internet sivuilta, millä teollisuuden alalla yritys toimii. Apuna käytettiin myös Google maps street view’stä, jonka avulla voitiin katsoa minkä tyyppisiä rakennuksia osoitteessa sijaitsi. Kun potentiaaliset asiakkaat oli valittu, Jyväskylän Energia tiedotti heitä opinnäytetyöstä. Sen jälkeen asiakkaisiin oltiin yhteydessä puhelimitse ja heille lähetettiin kysely. Kyselyn avulla saatiin selville, minkälaista ylijäämälämpöä asiakkaalla on ja kuinka paljon sitä syntyy vuoden aikana. Kyselyssä selvitettiin myös ylijäämälämmön lämpötila, jonka avulla voidaan määrittää lämmöntalteenottotekniikka ja sijoitus kaukolämpöverkossa.

Selvitys tehtiin Webropol-nettikyselyn avulla, joka laitettiin asiakkaille sähköpostin kautta. Tämä kyselytapa valittiin, koska siihen on nopea vastata. Kysely on työn liitteenä kolme.

## **6 Asiakaskyselyn tulokset**

### **6.1 Asiakkaiden tiedot**

Asiakaskyselyssä saadut vastaukset olivat hyvin vaihtelevia. Osa asiakkaista oli selvittänyt ylijäämälämpömääränsä, mutta toiset eivät olleet selvittäneet ylijäämälämpömääriään tarkasti. Taulukossa 2 ovat kyselyn tulokset. Taulukossa on esitelty asiakkaan ylijäämälämmön lämpötila, muoto sekä energiamäärä vuodessa, joka on laskettu tehon ja tuntien perusteella.

Taulukko 2. Asiakkaiden ylijäämälämmön tiedot

Asiakas	Lämpötila °C	Olomuoto	Teho kW	Tunnit/a	Ylijäämälämmön energiamäärä vuodessa (MWh)
<b>Asiakas 1</b>	< 35	Vesi	500,00	8760	4380
<b>Asiakas 2</b>	35–60	Eri muodoissa	Vaihteleva	8760	2000–4000
<b>Asiakas 3</b>	< 35	Ilma	Ei arviota	4000	Ei arviota
<b>Asiakas 4</b>	40	Ilma	68	2500	170
	150	Ilma	125	2500	313
	180	Ilma	70	2500	176
<b>Asiakas 5</b>	35–60	Savukaasu	Ei arviota	1872	Ei arviota
<b>Asiakas 6</b>	35–60	Vesi	750-1500	7500	7500
<b>Asiakas 7</b>	35–60	Vesi	Ei arviota	8760	Ei arviota
<b>Asiakas 8</b>	35–60	Höyry	Ei arviota		Ei arviota
<b>Asiakas 9</b>	< 35	Ilma	Ei arviota	1760	Ei arviota

Asiakas 1 on metalliteollisuuden yritys, jonka uuneista ylijäämälämpöä syntyy tasaisesti ympäri vuoden. Ylijäämälämmön lämpötila on noin 35 °C, joten sen hyödyntäminen olisi mahdollista kaukolämpöverkon paluuveden lämmityksessä lämpöpumpun avulla.

Asiakas 2 on myös metalliteollisuuden yritys. Ylijäämälämpöä esiintyy eri muodoissa ja teho vaihtelee paljon. Asiakkaan ylijäämälämmön lämpötila on 35–60 °C, jolloin se voidaan hyödyntää paluuveden lämmityksessä lämpöpumpun tai lämmönsiirtimen avulla.

Asiakas 3 on konepaja, jossa lämpöä syntyy suurissa työstökoneissa. Asiakkaan ylijäämälämmön lämpötila on alle 35 °C. Yritys myös ilmoitti hyödyntävänsä suurimman osan ylijäämälämmöstä tilojensa lämmitykseen, joten suurta ylijäämälämpöpotentiaali kohteella ei välttämättä ole.

Asiakas 4:n ylijäämälämpö syntyy maalaamojen kuivausuuneissa. Uuneissa syntyy kolmea erilämpöistä poistoilmaa. Poistoilmat ovat lämpötiloiltaan 40, 150 ja 180 °C. Kaksi lämpimintä ilmanvirtausta olisi mahdollista hyödyntää menoveden lämmityksessä lämmönsiirtimen avulla.

Asiakas 5 toimii elintarvikealalla. Ylijäämälämpöä syntyy uuneissa. Lämpötilaltaan ylijäämälämpö on 35–60 °C, joka on mahdollista hyödyntää paluuveden lämmityksessä lämmönsiirtimen tai lämpöpumpun avulla.

Asiakas 6 toimii myös elintarvikealalla. Asiakkaan ylijäämälämpöteho on suuri ja energiaa menee hukkaan vuodessa noin 7,5 GWh. Ylijäämälämmön lämpötila on 35–60 °C, joten se olisi mahdollista hyödyntää paluuveden lämmityksessä.

Asiakas 7 on konepajateollisuuden yritys. Asiakkaan ylijäämälämpö syntyy karkaisu-uunien jäädytyksessä. Lämpöä syntyy ympäri vuoden, teho vaihtelee sen mukaan kuinka monta uunia on tuotannossa. Lämpötilaltaan ylijäämälämpö on 35–60 °C, joten se olisi mahdollista hyödyntää paluuveden lämmityksessä.

Asiakas 8:n ylijäämälämpö syntyy kuivausuuneissa. Energiämäärää he eivät osanneet arvioida. Lämpötilaltaan ylijäämälämpö on 35–60 °C, joten se olisi mahdollista hyödyntää paluuveden lämmityksessä.

Asiakas 9 on konepaja, jonka ylijäämälämpö syntyy suurissa työstökoneissa. Ylijäämälämmön lämpötila on alle 35 °C ja sitä syntyy vuodessa alle 1800 h, joten sen hyödyntäminen voi olla taloudellisesti haastavaa.

## 6.2 Tulosten tarkastelu

Asiakaskyselyn tuloksena saatiin tietoja yhdeksältä Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella toimivilta asiakkailta niiden ylijäämälämmön lämpötilatasoista, energiamääristä ja siitä, minkälaisissa prosesseissa ylijäämälämpöä syntyy. Näiden tietojen avulla voi arvioida, minkälaisista ylijäämälämpöä Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella syntyy, ja kuinka se olisi mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkossa. Suuri osa teollisuusasiakkaista ei ollut selvittänyt tarkasti ylijäämälämpömääriään, joten tuloksien käsittelyssä on esitettävä arvioita lämpömääristä. Tarkimmat tiedot ylijäämälämpömääristä oli teollisuusasiakkailla, jotka olivat teettäneet energiakatselmuksen viimeaikoina. Monet asiakkaat hyödyntävät osan ylijäämälämmöstä tilojensa lämmityksessä.

Vastausten perusteella yleisin lämpötilataso ylijäämälämmöllä oli alle 35 °C tai 35–65 °C. Suurin osa teollisuudesta syntyvästä ylijäämälämmöstä olisi siis mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkon paluueden lämmityksessä lämpöpumpun tai lämmönsiirtimen avulla. Yhdellä vastanneista asiakkaista ylijäämälämpöä oli yli 150 °C:isena ilmaana, jolloin se voitaisiin hyödyntää lämmönsiirtimen avulla kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä.

Alle 35 °C:n lämpötilatasoa on pidetty rajana ylijäämälämmön syöttämiselle kaukolämpöverkkoon, koska sen alle menevissä lämpötiloissa lämpöpumpun käyttökustannukset kasvavat. Ainakin yksi asiakkaista jonka ylijäämälämmön lämpötila on alle tämän tason, kannattaa laskea tarkemmin. Tämän asiakkaan ylijäämälämmön määrä vuodessa on suuri, noin 4 GWh, joten on syytä laskea tarkemmin, onko sen hyödyntäminen lämpöpumpun avulla taloudellisesti kannattavaa. Asiakkaan lämpöteho on myös tasaista ja lämpöä syntyy läpi vuoden.

Lämpömäärien arvioinnissa oli paljon vaihtelua. Toiset asiakkaat tiesivät melko tarkasti ylijäämälämmön määrän, ja osalla ei ollut edes suuntaa antavaa tietoa määrästä. Suurin lämpömäärä oli Asiakkaalla 6, jolla ylijäämälämpöä vuoden aikana menee hukkaan noin 7,5 GWh. Myös kaksi muuta asiakasta arvioi ylijäämälämpö määränsä olevan vuodessa noin 2–4 GWh. Todennäköisesti asiakkaat, joilla ylijäämälämpöä syntyy suuria määriä, ovat paremmin tietoisia ylijäämälämpömäärästään, koska niiden hyödyntämisestä voisi saada huomattavia säästöjä energiakustannuksista. Yhteensä vastausten tietojen perusteella ylijäämälämpöä Jyväskylän Energian verkon alueella on noin 15,5 GWh vuodessa. Tämä määrä on laskettu neljän asiakkaan energiamäärästä. Tästä energiamäärästä paluuveden lämmitykseen sopivaa olisi noin 15 GWh ja loput 0,5 GWh olisi mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkon menoveden lämmityksessä.

Selvityksessä oltiin yhteydessä yhteensä 24 asiakkaaseen, joista vastauksen lähetti yhdeksän asiakasta. Näistä vain neljä osasi arvioida ylijäämälämpömääränsä. Kokonaisuudessaan ylijäämälämpöä on tietenkin enemmän tarjolla kuin näiden neljän asiakkaan 15,5 GWh. Arvioita kokonaisenergiamäärästä on vaikea esittää, suuri osa asiakkaista, jotka eivät vastanneet kyselyyn olivat melko pieniä yrityksiä joilla ylijäämälämpöpotentiaali on todennäköisesti melko vähäistä. Tietoa ei myöskään saatu muutamalta isolta toimialta joilla ylijäämälämpöpotentiaali voi olla hyvinkin suuri.

Suurimmat ylijäämälämmöt löytyivät Jyväskylässä metalli- ja elintarviketeollisuuden yrityksiltä. Pienemmissä kuvapainoissa ylijäämälämpöä ei syntynyt käytännössä ollenkaan. Suurin osa potentiaalisesta ylijäämälämmöstä syntyi erilaisissa kuivaus- ja metallinkäsittelyuuneissa. Uunit ovat merkittävä energian kuluttaja ja ylijäämälämmön lähde teollisuudessa. Pienempi osa ylijäämälämmöstä syntyi suurien työstökoneiden yhteydessä.

Kaukolämpöverkon hallinnan kannalta olisi helpointa, jos ylijäämälämmön tuotto olisi tasaista. Muutama asiakas ilmoittikin, että lämpöä syntyy läpi vuoden melko ta-

saamalla lämpöteholla. Lämpötehon vaihtelun selvittäminen kohteissa on myös tärkeää, jotta osataan ennakoida milloin lämpöä on tarjolla. Tähän vaikuttaa esimerkiksi se, onko tuotanto käynnissä 24 tuntia vuorokaudessa vai vähemmän.

Jyväskylän Energian kaukolämpöverkon alueella sijaitsee myös yksi suurempi teollisuusasiakas, johon ei oltu tämän opinnäytetyön aikana yhteydessä. Jyväskylän Energia on aikaisemmin ollut yhteydessä kyseisen asiakkaan kanssa, joten asiakkaan ylijäämälämpöpotentiaali on tiedossa. Kyseinen asiakas tuottaa lämpöä prosesseihinsa yli 20 MW:n voimalaitoksella, joten myös EU:n Energiatehokkuusdirektiivi vaatii tekemään kustannus-hyötyanalyysin asiakkaan ylijäämälämmön hyödyntämisestä.

### **6.3 Jatkotoimenpiteet**

Selvityksen avulla saatiin perustietoja asiakkaiden ylijäämälämmöistä, mutta jokainen kohde vaatii tarkemman tarkastelun, jotta ylijäämälämpöä pystyttäisiin hyödyntämään kaukolämpöverkossa. Asiakkaat, jotka eivät vastanneet yhteydenottoihin tarvitsevat erilaisen lähestymistavan. Yksi tehokas keino on käydä henkilökohtaisesti asiakkaiden luona, jotka eivät vastanneet. Asiakkaan luona voisi pitää pienen esityksen ylijäämälämmöstä ja sen hyödyntämisestä. Esityksen avulla asiakas voitaisiin saada motivoitua tekemään tarvittavat mittaukset ylijäämälämmön selvitykseen.

Useilla asiakkailla ei myöskään ollut tietoa tarkemmin ylijäämälämpömäärästään. Ylijäämälämmöt on mahdollista selvittää energiankatselmuksen yhteydessä tai mittauksilla. Mielestäni ylijäämälämpöjen selvittäminen on asiakkaan tehtävä, mutta tarvittaessa Jyväskylän Energia voi avustaa mittauksissa. Mittaukset on myös mahdollista tilata ulkopuoliselta toimialta, esimerkiksi joltain insinööritoimistolta. Ylijäämäläm-

möstä tulee selvittää lämpötila, lämpömäärä ja ylijäämälämmön olomuoto. Kun kaikkien kohteiden ylijäämälämmöt ovat tiedossa, on mahdollista arvioida, kuinka paljon lämpöenergiaa Jyväskylän alueella olisi tarjolla.

Kun asiakkaiden ylijäämälämmön lämpötila, olomuoto ja lämpöteho ovat selvillä, voidaan aloittaa tarkempi selvitys, minkälaisilla investoinneilla se olisi mahdollista hyödyntää. Investointien hinnan perusteella voidaan myös laskea takaisinmaksuaika ja se, onko ylijäämälämmön talteenotto taloudellisesti kannattavaa molemmille osapuolille.

Tärkeä osuus jatkotoimenpiteiden selvityksessä on myös sen määrittely, kuinka paljon Jyväskylän Energia on valmis maksamaan teollisuuden ylijäämälämmöstä. Hinnittelussa tulee miettiä onko menopuolelle syötettävä lämpö arvokkaampaa kuin paluupuolelle syötettävä. Tämä tekijä ratkaisee monien sopimusten synnyn, koska sen perusteella teollisuusasiakas voi laskea ylijäämälämmön hyödyntämisestä saavat taloudelliset säästöt.

Jyväskylän Energian tulisi myös selvittää oma tarve ylijäämälämmölle. Onko ylijäämälämmölle tarvetta, esimerkiksi tiettyinä vuodenaikoina, ja minkälaista ylijäämälämpöä verkkoon halutaan. Sen pohjalta voidaan valita asiakkaista pilottikohde johon ensimmäinen hanke toteutetaan. Jos ylijäämälämpöä halutaan paluueden lämmitykseen asiakas 6 tai 1 voisivat olla sopivia. Menoveden lämmitykseen asiakas 4 olisi sopiva.

Projektin etenemisestä on myös hyvä tiedottaa asiakkaille. Tällä hetkellä asiakkaat ovat tietoisia projektista ja odottavat tietoa projektin etenemisestä.

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää toimeksiantajalle sen kaukolämpöverkon alueen asiakkaiden ylijäämälämpöpotentiaali. Toinen tavoite oli kerätä tietoa ylijäämälämmöstä ja siitä, miten sitä voi hyödyntää kaukolämpöverkoissa.

Asiakkaiden selvitys meni omasta mielestäni kohtalaisen hyvin. Jyväskylän Energian toimittaman listan karsinta meni mielestäni hyvin ja kaikkiin potentiaalsiin kohteisiin oltiin yhteydessä. Kysely oli mielestäni riittävä kattamaan perustiedot asiakkaan ylijäämälämmöstä ja sen perusteella pystytään selvittämään alueen potentiaalisimmat asiakkaat. Vastausprosentti kyselyyn ei ollut kuitenkaan kovin hyvä, vaikka lähes jokaisen asiakkaan kanssa oltiin yhteydessä puhelimitse ennen kyselyn laittoa. Osalle asiakkaista laitoin kyselyn kaksi kertaa vastauksien saamiseksi, mutta se ei tuottanut enempää vastauksia. Tämän opinnäytetyön aikana ei käyty asiakkaiden luona henkilökohtaisesti, vaan tavoitteena oli tehdä alustava selvitys alueen ylijäämälämpöpotentiaalista.

Syynä huonoon vastausprosenttiin voi olla, etteivät asiakkaat tiedä ylijäämälämmöstään tai niillä ei ollut aikaa vastata kyselyyn. Näiden asiakkaiden joukossa oli myös suurempia prosessiteollisuuden yrityksiä. Näihin asiakkaisiin on syytä olla yhteydessä jollain muulla keinolla, esimerkiksi henkilökohtaisella käynnillä, jotta saataisiin selvitettyä tarkemmat tiedot alueen ylijäämälämpöpotentiaalista.

Onnistuin mielestäni kokoamaan kattavan tietoperustan ylijäämälämmön hyödyntämiseen vaikuttavista asioista ja tekniikoista. Tietoperustassa on perustiedot ylijäämälämmöstä, sen hyödyntämismahdollisuuksista ja mitkä ovat tämän hetken haasteet ylijäämälämmön hyödyntämisessä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tietoa asiakkaista, joilla ylijäämälämpöä syntyy. Tiedon perusteella projektia on helpompi jatkaa, kun potentiaalisten asiakkaat ja heidän ylijäämälämmön perustiedot ovat jo selvillä. Toinen työn tuloksista on tietoperusta, jossa käsitellään ylijäämälämmön hyödyntämistä kaukolämpöverkosta. Tietoperustan avulla kohteiden ylijäämälämmön talteenottotekniikka on mahdollista määrittää.

Opinnäytetyön aihe oli kohtalaisen haastava, koska ylijäämälämmön hyödyntäminen Suomen kaukolämpöverkoissa vielä melko vähäistä. Vasta viime vuosien aikana teollisuuden ja energiayhtiöiden kiinnostus on kasvanut ylijäämälämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkossa. Tämän hetkiset ylijäämälämpösopimukset ovat isojen teollisuusyritysten sopimuksia, jotka toimittavat ylijäämälämmön avulla kaukolämmön usein koko paikkakunnan tarpeisiin. Suurien teollisuusyritysten voimalaitoksista on voitu jo suunnitteluvaiheessa mitoittaa sen mukaan, että ne tuottavat alueelle kaukolämpöä. Näiden kohteiden vertailu pienempiin kohteisiin on haastavaa, koska ylijäämän hyödyntäminen kohteissa on suunniteltu jo rakennusvaiheessa. Esimerkkitaupauksia pienempien teollisuusasiakkaiden ylijäämälämmön hyödyntämisestä Suomessa on melko vähän.

## Lähteet

Arnell, J., Bolin, L., Holmgren, K., Staffas, L., Adolfsson, I. & Lindblad, M. 2012. Förutsättningar för ökad nytta av restvärme. Svensk Fjärrvärme AB. Viitattu 16.4.2015 [http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%20RRSYN/Rapporter%20och%20resultatblad/Rapporter%20omv%20A4rld/2012/2012\\_14\\_F%20B6ruts%20A4ttningar%20f%20B6r%20%20B6kad%20nytta%20av%20restv%20A4rme/F%20B6ruts%20A4ttningar%20f%20B6r%20%20B6kad%20nytta%20av%20restv%20A4rme.pdf](http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%20RRSYN/Rapporter%20och%20resultatblad/Rapporter%20omv%20A4rld/2012/2012_14_F%20B6ruts%20A4ttningar%20f%20B6r%20%20B6kad%20nytta%20av%20restv%20A4rme/F%20B6ruts%20A4ttningar%20f%20B6r%20%20B6kad%20nytta%20av%20restv%20A4rme.pdf)

Bröckl, M., Immonen, I. & Vanhanen, J. 2014. Lämmön pientuotannon ja pienimuotoisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa. Helsinki: Gaia Consulting Oy. Viitattu 20.02.2015 <http://energia.fi/julkaisut/lammon-pientuotannon-ja-pienimuotoisen-ylijaamalammon-hyodyntaminen-kaukolammossa>

Direktiivi 2012/27/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta. Euroopan unionin virallinen lehti 14.11.2012. Viitattu 20.3.2015. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>.

Energiatuki. 2015. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 15.04.2015 <https://www.tem.fi/energia/energiatuki>

Energiavuosi - kaukolämpö 2014. 2015. Kalvosarja kaukolämmön energiakäytöstä. Energiateollisuus. viitattu 15.04.2015 <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2014-kaukolampo>

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)

How does a Heat Pump work?, N. d. Tietoa lämpöpumpuista internetsivuilla. viitattu 14.3.2015 <http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/howHPworks/Sidor/default.aspx>

Hukkalämmön hyödyntämisestä suursäätöt teollisuudelle. 2014. Motivan artikkeli. Viitattu 15.3.2015. [http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan\\_tiedotteet/2014/hukkalammon\\_hyodyntamisesta\\_suursaastot\\_teollisuudelle.6153.news](http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan_tiedotteet/2014/hukkalammon_hyodyntamisesta_suursaastot_teollisuudelle.6153.news)

JE-yhtiöt. N.d. Yritysesittely Jyväskylän Energian verkkosivuilla. Viitattu 7.4.2015.  
<http://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiöt>

Järvenreuna, J. 2014. Savukaasupesuri parantaa lämpöyhtiön kannattavuutta. Promaint lehden artikkeli. Viitattu 19.4.2015 <http://www.promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Savukaasupesuri-parantaa-lampoyhtion-kannattavuutta>

Kala, J., Laukkanen, M., Siitonen, E., Siitonen, S. & Ståhl N. 2010. Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä. Energiateollisuus, työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 16.2.2015 [http://energia.fi/sites/default/files/teollisuuden\\_ylijaa-malammon\\_hyodyntaminen\\_kaukolammityksessa\\_yit2010.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/teollisuuden_ylijaa-malammon_hyodyntaminen_kaukolammityksessa_yit2010.pdf)

Kaukolämpöalan strategia. 2013. Helsinki: Energiateollisuus. Viitattu 15.4.2015  
[http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampoalan\\_strategia\\_8-2013.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampoalan_strategia_8-2013.pdf)

Kaukolämpöjärjestelmän paluuvien hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä. 2010. Espoo: Pöyry Finland Oy  
[http://energia.fi/sites/default/files/paluuvesilammitus\\_loppuraportti\\_20100224.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/paluuvesilammitus_loppuraportti_20100224.pdf)

Kaukolämpöverkko. N. d. Tietoa kaukolämpöverkosta Energiateollisuuden verkkosivuilla. Viitattu 6.3.2015. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kojoahdytys/kaukolampoverkko>

Kaukolämmön toimintaperiaate. N. d. Tietoa kaukolämmöstä Energiateollisuuden verkkosivuilla. Viitattu 6.3.2015. <http://energia.fi/koti-ja-lammitus/kaukolammitus/toimintaperiaate>

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus. Viitattu 25.03.2015

LT-Lämpöpumput, N. d. Esite Pemco Oy. Viitattu 14.3.2015  
[http://www.pemco.fi/09/download/esitteet/Pemco\\_esite\\_Lampopumppu\\_2013.pdf](http://www.pemco.fi/09/download/esitteet/Pemco_esite_Lampopumppu_2013.pdf)

Lämmöntuotanto. N. d. Jyväskylän Energian lämmöntuotanto yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 7.4.2015. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/lampo/lammon-tuotanto>

Maaskola, I. & Kataikko, M. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Helsinki: Motiva. Viitattu 14.3.2015  
[http://www.motiva.fi/files/8900/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_lampopumppu\\_ORC\\_www.pdf](http://www.motiva.fi/files/8900/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_lampopumppu_ORC_www.pdf)

Nivalainen, S. 2011. Liiketoimintamalli teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämisestä kaukolämpöverkoissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 20.02.2015 [http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/72662/Diplomity%C3%B6\\_Sanna\\_Nivalainen\\_final.pdf?sequence=1](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/72662/Diplomity%C3%B6_Sanna_Nivalainen_final.pdf?sequence=1)

Poistoilmalämpöpumppu. 2013. Artikkelin Motivan internetsivuilla. Viitattu 26.3.2015  
[http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/eri\\_lammitys\\_muodot/poistoilmalampopumppu](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/poistoilmalampopumppu)

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto. 2015. Artikkelin Fortumin sivuilla. Viitattu 15.4.2015  
<http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/s%C3%A4hk%C3%B6n-ja-l%C3%A4mm%C3%B6n-yhteistuotanto/pages/default.aspx>

Tytäryhtiöt. N.d. Jyväskylän Energian tytäryhtiöt yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 7.4.2015. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiöt/tytar-ja-osakkuusyhtiöt>

Yhteiskuntavastuuraportti. 2014. Jyväskylän Energia. Sisäinen lähde





## Liite 3. Asiakas kysely

### Ylijäämälämpö JE:n kaukolämpöverkon alueella

#### 1. Syntykö teidän kiinteistössä/prosesseissa ylijäämälämpöä? \*

- Kyllä  
 Ei

#### 2. Arvio ylijäämälämmön lämpötilasta (voit valita useamman kohdan, jos ylijäämälämpöä syntyy useissa eri lämpötiloissa)?

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

#### 3. Ylijäämälämmön olomuoto

- Vesi  
 Höyry  
 Ilma  
 Savukaasu

#### 4. Kuinka monta tuntia ylijäämälämpöä syntyy vuodessa? Arvio tehosta tai energiamäärästä?

#### 5. Millä tuotatte lämpöenergianne (esim. sähkö, öljy, kaasu yms.)?

#### 6. Lisätietoa (esim. minkälaisessa prosessissa ylijäämälämpö syntyy? Vaihtelee ko lämpömäärät päivän/vuodenajan mukaan?)

#### 7. Yhteystiedot

Yritys / Organisaatio   
 Etunimi   
 Sukunimi   
 Matkapuhelin   
 Sähköposti   
 Osoite   
 Postinumero   
 Postitoimipaikka