

# YLIJÄÄMÄLÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN KAUKOLÄMPÖVERKOSSA

Ylijäämälämmön siirto kaukolämpöverkkoon

Vilkkilä Tomi

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Tomi Vilkkilä	Vuosi	2019
<b>Ohjaaja(t)</b>	Petri Kuisma		
<b>Toimeksiantaja</b>	Saarijärven Kaukolämpö Oy		
<b>Työn nimi</b>	Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	38 + 1		

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Äijäsen Kotileipomo Oy:n tuotannossa syntyvän ylijäämälämmön siirtämisen mahdollisuutta Saarijärven Kaukolämpö Oy:n kaukolämpöverkkoon. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuoda uutta tietoa kaukolämmön tuotannon hajauttamisesta, sen toteuttamisesta, kustannuksista ja hyötysuhteesta.

Sopivimman ylijäämälämmön talteenottotavan löytämiseksi opinnäytetyössä vertailtiin erilaisia lämmöntalteenottotapoja ja niiden käytettävyyttä kyseisessä kohteessa. Tutkimuksen aikana selvisi, että Äijäsen Kotileipomo Oy:n uunien ja piippujen rakenteesta johtuen ylijäämälämmön kustannustehokas talteenotto olisi erittäin haasteellista. Mittauksilla todettiin savukaasun lämpötilan olevan matalahko, jolloin syntyvää ylijäämälämpöä ei ilman lämpöpumpulla tehtävää lisälämmitystä voisi syöttää menoverkkoon.

Lämmönvaihtimilla toteutettu ylijäämälämmön talteenotto oli ainoa toteutettavissa oleva tekninen vaihtoehto kyseiseen kohteeseen. Järjestelmän hyötysuhde jäi kuitenkin savukaasun matalan lämpötilan vuoksi niin heikoksi, että investoinnin takaisinmaksuaika kasvoi pitkäksi. Investointitukien saaminen hyötysuhteeltaan huonoon kohteeseen on epävarmaa ja lisäksi investointituen saaminen edellyttäisi energiatehokkuussopimukseen sitoutumista. Lopputulos oli, ettei Äijäsen Kotileipomo Oy:n tuotannossa syntyvän ylijäämälämmön hyödyntäminen Saarijärven Kaukolämpö Oy: kaukolämpöverkossa olisi taloudellisesti kannattavaa.

Avainsanat ylijäämälämpö, kaukolämpö, lämmön talteenottotavat

Technology, Communication and  
Transport  
Degree Programme in Civil  
Engineering

---

<b>Author</b>	Tomi Vilkkilä	Year	2019
<b>Supervisor</b>	Petri Kuisma		
<b>Commissioned by</b>	Saarijärven Kaukolämpö Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Utilization of Waste Heat in District Heating Network		
<b>Number of pages</b>	38 + 1		

---

The main goal of the thesis was to design a third-party access to the district heating network of Saarijärven Kaukolämpö Oy. The aim was to clarify, how the waste heat released in the production process of the bakery Äijäsen Kotileipomo Oy could be utilized in the local district heating network. This kind of third-party access to district heating network had been enabled recently and there was no comprehensive experience available about similar projects.

Different waste heat recovery systems were compared in the thesis. It was revealed during the investigation that the ovens and pipes at the bakery were not suitable for waste heat recovery at a low cost. There were three different pipes and the temperature of the flue gas was lower than expected.

The waste heat recovery could be implemented with heat exchangers, which would be installed to the pipes. Finally, the efficiency of the system was poor and the payback time quite long. Furthermore, there was no certainty that the investment would get any business allowance. As a result, it came apparent that the waste heat of Äijäsen Kotileipomo Oy would not be efficiently usable in the district heat network of Saarijärven Kaukolämpö Oy.

Key words                      waste heat, district heating, heat recovery systems

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	SAARIJÄRVEN KAUKOLÄMPÖ OY .....	8
3	ÄIJÄSEN KOTILEIPOMO OY .....	9
4	SÄÄDÖSPERUSTA JA TUKIPOLITIIKKA.....	10
4.1	Kaukolämpöverkkojen avaaminen pientuottajille .....	10
4.2	Investointituet .....	11
5	KIERTOTALOUSAJATTELU ENERGIA-ALALLA.....	14
6	KAUKOLÄMPÖ .....	16
6.1	Kaukolämpöverkot ja lämmöntuotanto .....	16
6.2	Saarijärven kaukolämpöverkko .....	17
7	YLIJÄÄMÄLÄMPÖ .....	19
7.1	Ylijäämälämmön määritelmä .....	19
7.2	Ylijäämälämmön hyödyntäminen Suomessa .....	19
7.3	Haasteita ja hyötyjä ylijäämälämmön hyödyntämisessä .....	20
7.4	Ylijäämälämmön talteenotto ja tekniikat .....	21
7.4.1	Lämpöpumppu .....	22
7.4.2	Lämmönsiirtimet .....	23
7.4.3	Savukaasupesuri .....	25
8	TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN .....	27
8.1	Projektin tavoitteet ja toteuttamisen haasteet .....	27
8.2	Savukaasujen lämpötilat ja lämpöteho.....	27
8.3	Lämmöntalteenottotapojen vertailu .....	30
8.4	Hukkalämmöllä lämmitettävän veden lämpötilan optimointi .....	30
8.5	Järjestelmän kustannusarvio .....	31
9	YHTEENVETO .....	33
	LÄHTEET .....	35
	LIITTEET .....	39

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

TPA	Third Party Access to District Heating Networks = kolmannen osapuolen pääsy kaukolämpöverkkoon (Energiateollisuus ry 2018.)
kWh	kilowattitunti
TWh	terawattitunti
MWh	megawattitunti
MRL	maankäyttö- ja rakennuslaki (5.2.1999/132)

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli toteuttaa Äijäsen Kotileipomo Oy:n tuotannossa syntyvän ylijäämälämmön siirtäminen Saarijärven Kaukolämpö Oy:n kaukolämpöverkkoon. Työn toimeksiantaja oli Saarijärven Kaukolämpö Oy ja se toteutettiin yhteistyössä Äijäsen Kotileipomo Oy:n kanssa.

Aihe on ajankohtainen, koska kaukolämpöverkkojen avautuminen mahdollistaa pientuottajien ylijäämälämmön hyödyntämisen kaukolämpöverkoissa. Muutoksen lähtökohtana on ollut EU:n direktiivi 2012/27/EU, joka edellyttää jäsenmailta toimenpiteitä ylijäämälämmön hyödyntämisessä.

Pientuottajien ylijäämälämmön hyödyntäminen tulee todennäköisesti tulevaisuudessa kasvamaan, mutta tällä hetkellä toteutettuja projekteja on vielä vähän. Kaksisuuntaista kaukolämpöä hyödynnetään nykyisin lähinnä suurissa tuotantolaitoksissa, kuten sellutehtaissa, konesaleissa ja jäteveden puhdistamoilla. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuoda uutta tietoa kaukolämmön tuotannon hajauttamisesta, sen toteuttamisesta, kustannuksista ja hyötysuhteesta.

Äijäsen Kotileipomo Oy sijaitsee lähellä Saarijärven kaukolämpöverkoston loppupäätä. Sijainti on näin ollen otollinen lisälämmön syöttämiseen. Leipomon lämmöntuotanto ajoittuu aamuyöhön, mikä on ihanteellinen aika kaukolämmön tuotannolle, koska aamulla lämmön kulutus kasvaa nopeasti asukkaiden tarvitessa lämmintä käyttövettä ja kiinteistöjen ilmanvaihtojen käynnistyessä normaaliteholle.

Saarijärven Kaukolämpö Oy käyttää lämmöntuotantoon pääasiassa puuta ja turvetta. Äijäsen Kotileipomossa uunit lämmitetään kevyellä öljyllä, jota kuluu vuositasolla 35 000 litraa. Ylijäämälämpöä on tähän asti käytetty omien tuotantotilojen peruslämmön ylläpitämiseen, mutta suurin osa lämmöstä on jäänyt hyödyntämättä.

Äijäsen Kotileipomo Oy:n tavoitteena on saada hukkalämpö hyötykäyttöön nykyisen ilmaan puhaltamisen sijaan. Rahallinen hyöty voi olla marginaalinen. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten hukkalämmön siirtäminen

kaukolämpöverkkoon on mahdollista toteuttaa tässä kohteessa. Opinnäytetyössä keskitytään vertailemaan eri lämmöntalteenottotapoja ja niiden hyöty- ja kustannussuhdetta. Työssä käsitellään myös ylijäämälämmön hyödyntämisen nykytilaa, sen haasteita ja tulevaisuudennäkymiä sekä tutkitaan energiatehokkuutta parantavien investointien tukimahdollisuuksia.

## 2 SAARIJÄRVEN KAUKOLÄMPÖ OY

Saarijärven Kaukolämpö Oy on perustettu vuonna 1961. Yhtiö on Saarijärven kaupungin kokonaan omistama ja sen toiminta-ajatuksena on tuottaa edullista ja hintavakaata kaukolämpöä Saarijärven keskustan alueelle. Liikevaihtoa Saarijärven Kaukolämpö Oy:llä on viime vuosina ollut noin 2 miljoonaa euroa. Tuotetun energian kotimaisuusaste on noin 93–99 % ja tavoitteena on tuottaa lämpö lähienergiaa hyödyntäen. (Saarijärven kaukolämpö 2018a, 3–5.)

Saarijärven kaukolämpö Oy tuottaa lämpöenergiaa pääasiassa turvetta polttamalla (osuus tuotannosta 63,5 % vuonna 2017). Puupolttoaineiden osuus oli 33,1 % vuonna 2017 ja häiriötilanteissa käytettiin polttoöljyä. (Saarijärven kaukolämpö Oy 2018b.) Turpeen asema lämmöntuotannossa on ollut ristiriitainen ja sen ympäristövaikutuksista ollaan montaa eri mieltä. Turpeen käyttöön tulevaisuudessa liittyvä epävarmuus luo tarpeen etsiä vaihtoehtoisia lämmöntuotantotapoja turpeen rinnalle. Tämän vuoksi Saarijärven kaukolämpö Oy haluaa selvittää alueen teollisuuden tuottaman ylijäämälämmön hyödyntämistä kaukolämpöverkossaan. (Vilkkilä 2019.)

Lisäksi Saarijärven kaukolämpö Oy:n toimitusjohtaja Tuomo Vilkkilä (5.3.2019) kertoo seuraavasti yhtiön tarpeesta tutkia ylijäämälämmön hyödyntämistä:

*”Kaukolämmön tuotannossa fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön vähentämisen nopeus ja metsäenergian saatavuus ovat tällä hetkellä ja tulevalla vuosikymmenellä herkässä tasapainossa. Polttamisen vähentämisen myötä on tarkasteltava muita teknologioita ja hukkalämpöjen hyödyntämistä. Yhtiön omissa lähivuosien tavoitteissa on tarkoitus nostaa puupolttoaineiden osuus n. 45 prosenttiin ja turpeen 55 prosenttiin. Hukkalämpöjen hyödyntämisen lisäksi yhtiössä on meneillään selvitysprojekti biokaasun hyödyntämisestä kaukolämmön tuotannossa.”*

### 3 ÄIJÄSEN KOTILEIPOMO OY

Äijäsen Kotileipomo Oy on vuonna 1964 perustettu perheyrittäjä, joka valmistaa leipomotuotteita Saarijärvellä. Yrittäjät Jari ja Tiina Äijänen ovat toisen polven yrittäjiä leipomossa. Yrityksen tuotevalikoima on laaja aina ruisleivistä pikkuleipiin. Äijäsen Kotileipomo toimii Saarijärven Mannilan asuinalueella, Ruusutien varrella. Kooltaan leipomo on 608 m<sup>2</sup> suuruinen ja leipomon kolme uunia lämpiävät joka arkiamu. Leipomotuotteita kuljetetaan myyntiin ympäri Keski-Suomea. (Äijäsen Kotileipomo Oy, 2018.)

Äijäsen Kotileipomon Jari Äijänen otti yhteyttä Saarijärven kaukolämpöyhtiöön selvittääkseen mahdollisuutta hyödyntää leipomotoiminnassa jatkuvasti syntyvää ylijäämälämpöä kaukolämpöverkossa. Yhtiön oma toimitila lämpiää uunien tuottamalla lämpöenergialla, eikä leipomorakennusta ole liitetty kaukolämpöverkkoon. (Vilkkilä 2019.)

## 4 SÄÄDÖSPERUSTA JA TUKIPOLITIikka

### 4.1 Kaukolämpöverkkojen avaaminen pientuottajille

Suomessa 30.12.2014 voimaan tullut energiatehokkuuslaki edellyttää, että lähellä sijaitsevien suurien teollisuuslaitosten, joiden polttoaineteho on vähintään 20 MW, hukkalämmön hyödyntämisen mahdollisuudet on selvitettävä uutta kaukolämpöverkostoa rakennettaessa tai uudistettaessa olemassa olevaa verkostoa (energiatehokkuuslaki 1429/2014 27.3 §). Lakimuutos perustuu EU:n energiadirektiiviin, jonka tarkoituksena oli edellyttää jäsenmailta toimia kaukolämmityksen, kaukojäähdytyksen, sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä teollisuuden ylijäämälämpöjen hyödyntämisessä. jäsenvaltion tulee ohjata politiikan avulla tehokkaan kaukolämmityksen, -jäähdytyksen ja yhteistuotannon käyttöön. (Heikkilä & Kiuru 2014, 8.)

Lakimuutos koski vain suuria yrityksiä, mutta keskustelu ja mielenkiinto aihetta kohtaan on kasvanut myös pienempien laitosten osalta. Vuonna 2018 Energiateollisuus ry tilasi Pöyryltä selvityksen kolmannen osapuolen verkkoon pääsystä (TPA) ja sen toteuttamisen vaihtoehtoista. Energiateollisuus ry on aktiivisesti julkaissut materiaalia ja kolmansien osapuolten ja asiakkaiden tuottaman lämmön tai ylijäämälämmön käyttöön saamiseksi. (Energiateollisuus ry 2018.)

Lainsäädännön puitteissa varsinaisia esteitä kahdensuuntaiselle kaukolämmölle ei ole. Järjestelmien rakentaminen voi vaatia rakennuslupia tai ympäristölupia. Toisaalta yhteiskunta ei erityisesti kannusta ylijäämälämmön hyödyntämiseen, vaikka aloitteita ylijäämälämmön määrittelemiseksi uusiutuvaksi energiamuodoksi on ollut esillä. (Heikkilä & Kiuru 2014, 8–9.)

Energiateollisuus ry on vaatinut TPA-raportin keskustelumuistiossaan 15.5.2018 muun muassa seuraavia asioita nostettavaksi poliittiseen keskusteluun:

- Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksessa energiaan liittyvästä kaavoituksesta on tehtävä mahdollistava, ei vaihtoehtoja pois sulkeva.

- MRL:n kokonaisuudistuksessa pohdittava ylijäämälämpöä tuottavien palvelujen ja teollisuuden integroitumista kaupunkien energijärjestelmiin. Näin kaupungit voivat hyödyntää syntyvät lämmöt.
- Päästökauppajärjestelmä pidettävä ilmastopolitiikkamme tärkeimpänä työkaluna.
- Mahdolliset palveluliiketoiminnan kehittämistä rajoittavat lainsäädännölliset esteet poistettava.
- T&K-rahoitusta lisättävä asumiseen, rakennuksiin ja kaupunkeihin liittyvien palvelujen kehittämiseksi.

Energiateollisuus ry:n keskustelumuiston mukaan paras tulos syntyy, kun yritykset kilpailevat asiakkaalle arvoa tuottavilla tuotteilla ja palveluilla. Lämmitysmarkkinoiden avautumista kolmansille osapuolille ei tutkimuksen mukaan ole tarvetta ohjata lisäsääntelyllä. (Energiateollisuus ry 2018.)

#### 4.2 Investointituet

Energiankäyttöä on jo vuosien ajan tehostettu yrityksissä ja kunnissa vapaaehtoisesti. Lisäksi Suomi on sitoutunut tiukkoihin kansainvälisiin tavoitteisiin energiatehokkuuden parantamiseksi (esimerkiksi energiatehokkuusdirektiivi 2012/27/EU). 1990-luvulla Suomessa otettiin käyttöön energiatehokkuussopimukset ensisijaiseksi keinoksi parantamaan energiatehokkuutta. Sopimusten avulla Suomi on pyrkinyt täyttämään sille asetetut kansainväliset energiatehokkuusvelvoitteet ilman uutta lainsäädäntöä tai muita pakkokeinoja. (Motiva Oy 2019.)

Sopimusten tavoite on tehostaa energiankäyttöä teollisuudessa, energia- ja palvelualalla, kiinteistöalalla, kunta-alalla sekä öljylämmityskiinteistöissä. Sopimusten avulla ohjataan yrityksiä ja yhteisöjä jatkuvasti parempaan energiatehokkuuteen. Sopimukseen liittyneet asettavat itselleen määrällisen energiankäytön tehostamistavoitteen ja toteuttavat toimenpiteitä tavoitteen saavuttamiseksi. (Motiva Oy 2019.)

Sopimuksien kannustimena on valtion tuki uusien energiatehokkaampien teknologioiden käyttöönotossa. Lisäksi tapauskohtaisen harkinnan perusteella

sopimukseen liittyneiden yritysten ja kuntien on mahdollista saada tukea energiatehokkuusinvestointeihin sekä muiden kuin suurten yritysten energiakatselmuksiin. (Motiva Oy 2019.)

Sopimukseen liittyneet raportoivat seurantajärjestelmään vuosittain tehdyistä energiatehokkuustoimenpiteistä ja muista energiatehokkuuden parantamiseen liittyvästä toiminnasta. Suomi ilmoittaa sopimusraportoinnin mukaiset tulokset vuosittain EU:lle energiansäästön toteutumisenä ja täyttää näin omaa veloitettaan kansainvälisissä sopimuksissa. (Motiva Oy 2019.)

Energiainvestoinneille myönnettävät tuet on sidottu vahvasti energiatehokkuussopimukseen ja ESCO-palveluun. ESCO-palveluissa ulkopuolinen energia-asiantuntija suunnittelee ja toteuttaa asiakasyrityksessä investointeja ja toimenpiteitä energian käytön tehostamiseksi sekä energiansäästämiseksi. Palvelun kustannukset sekä energiansäästöinvestointi maksetaan alentuneista energiakustannuksista syntyneillä säästöillä. Palvelussa annetaan takuu energiansäästöstä. (Motiva Oy 2017.)

Investointitukia Suomessa myöntää Business Finland ja ne perustuvat työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) linjauksiin. Energiatukea voidaan myöntää sellaisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät:

1. Uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, ja jossa
  - edistetään uutta teknologiaa ja sen kaupallista hyödyntämistä
  - investoidaan uuteen laitokseen tai
  - kyse on sellaisesta korvausinvestoinnista, jolla lisätään merkittävästi uusiutuvan energian tuotantomäärää tai saavutetaan muu merkittävä myönteinen tavoitteen mukainen energiavaikutus.
2. Energiansäästöä tai energian tuotannon tai käytön tehostamista ja
  - jonka tarkoituksena ei ole pakollisen ympäristövelvoitteen saavuttaminen

- kyse ei ole energiatehokkuuslain (1429/2014) mukaisesta yritykselle pakollisesta energiakatselmuksesta.

### 3. Muutoin energiajärjestelmän muuttumista vähähiiliseksi.

Energiatuen myöntäminen on harkinnanvaraista ja tuen myöntämisessä etusijalla ovat uuden teknologian hankkeet. Tuella on oltava merkittävä vaikutus hankkeen käynnistämiseen, eikä ennen tukipäätöstä käynnistetyille hankkeille myönnetä tukia. (Motiva Oy 2019.)

Tukea myönnetään vuonna 2019 seuraavasti energiansäästöä ja energiatehokkuutta edistäviin investointeihin:

- 20 % energiatehokkuussopimukseen liittyneille yrityksille ja yhteisöille.
- 25 % kun edellä olevassa käytetään ESCO-palvelua.
- 15 % muille kuin energiatehokkuussopimukseen liittyneille yrityksille ja yhteisöille, kun käytetään ESCO-palvelua.

Uutta teknologiaa sisältäville hankkeille myönnetään tapauskohtaisesti korotettua tukea (20–40 %) myös energiatehokkuussopimusten ulkopuolisille yrityksille ja kunnille. Tuen myöntämistä on rajoitettu suurten yritysten ja päästökauppalaitosten osalta sekä joidenkin investointikohteiden (valaistus, eristys, ovet ja ikkunat) osalta. Tuettavan hankkeen investointikustannuksen on oltava vähintään 10 000 euroa. (Motiva Oy 2019.)

## 5 KIERTOTALOUSAJATTELU ENERGIA-ALALLA

Kestävän talousjärjestelmän kannalta energia-alan rooli on merkittävä; fossiilisten energialähteiden korvaaminen uusiutuvilla energianlähteillä on avainasemassa paitsi lämmöntuotannossa myös muiden toimialojen kiertotalouden mahdollistamisessa. Kierrätetyn raaka-aineen valmistaminen uudeksi tuotteeksi vaatii energiaa. Lisäksi esimerkiksi paljon puhuttu liikenteen sähköistyminen vaatii energiaa. (Deloitte Oy 2018, 4.)

Kiertotalouteen panostaminen voi olla järkevää energia-alalle myös alan oman edun kannalta. Sähkön ja kaukolämmön tuotannon markkinatilanne kannustaa etsimään uusia tapoja luoda kannattavaa liiketoimintaa. Ilmasto- ja liiketoiminnallisten kysymysten lisäksi energiajärjestelmän resurssien optimointi on kannattavaa myös Suomen omavaraisuuden kannalta. Suomi tavoittelee globalia edellä kävijän asemaa kiertotaloudessa. (Deloitte Oy 2018, 4.)

Kiertotalous energiataloudessa tarkoittaa energiantuotantoon käytettyjen luonnonvarojen, loppuenergian ja niiden väliin jäävän ylijäämäenergian ja sivuvirtojen mahdollisimman tehokasta käyttöä. Energia-alan kiertotaloutta voidaan edistää eri alojen ja yritysten välisellä yhteistyöllä (teollinen symbioosi) sekä kokonaisenergiankäyttöä vähentävien palvelujen avulla. (Deloitte Oy 2018, 14.)

Teollinen symbioosi on Sitran raportin (Aho ym. 2013, 9) mukaan useamman yrityksen kokonaisuus, jossa yritykset tuottavat toisilleen lisäarvoa hyödyntämällä tehokkaasti raaka-aineita, teknologiaa, palveluja ja energiaa. Toisen jäte tai tuotannon sivuvirta voi olla toisen yrityksen raaka-ainetta ja päinvastoin (Aho ym. 2013, 9). Teollista symbioosia on perinteisesti hyödynnetty Suomen metsäteollisuudessa, joka on jo pitkään tuottanut energiaa oman tuotantonsa lisäksi myös muiden toimijoiden tarpeisiin.

Energiayhtiöt tekevät paljon yhteistyötä kunnan palvelutoimintojen, kuten jätevedenpuhdistuksen, jätteenkeräyksen ja infrastruktuurin rakentamisen kanssa. Kiertotaloutta voidaan näillä aloilla hyödyntää esimerkiksi jätevesien lämmön talteenotossa, lietteen energiakäytössä tai tietoverkkojen rakentamisessa samaan aikaan energiaverkkojen kanssa. Tulevaisuudessa

kaavoituksen avulla voidaan saavuttaa merkittävää hyötyä ylijäämälämmön ja sivuvirtojen käytössä. Kaavoittamalla uudet teollisuuslaitokset energiantuotannon lähistölle, tai toisin päin, kunnat voivat tukea kiertotalousekosysteemien rakentumista.

Ylijäämälämmöt tarjoavat mahdollisuuden hyödyntää muiden toimialojen tuotantolaitoksilla syntyvää lämpöenergiaa. Tällaisia lämmönlähteitä ovat Motivan (2014) mukaan esimerkiksi jäähdytysvedet, poistoilmat, savukaasut, jätevedet tai koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmöt. Suomen kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksien hyötysuhteet ovat tehokkaita ja ne toimivat resurssitehokkuudessaan esimerkkinä kiertotaloudesta energia-alalla. Tehokkaat kaukolämpöverkot mahdollistavat myös ylijäämälämpöjen laajamittaisen jakelun ja hyödyntämisen.

## 6 KAUKOLÄMPÖ

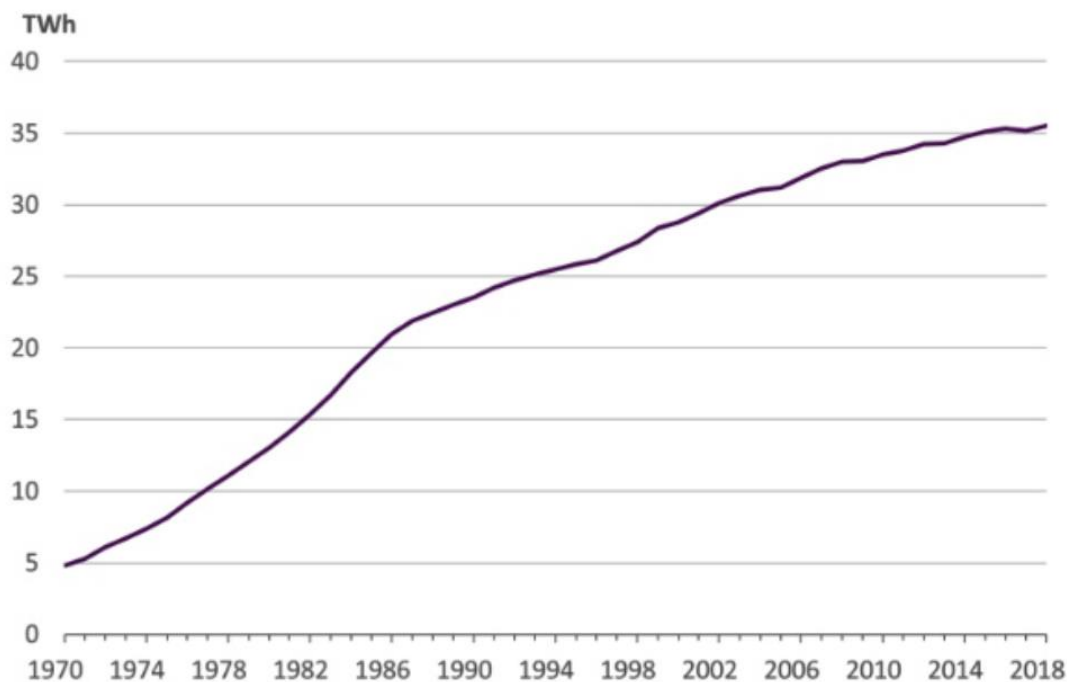
### 6.1 Kaukolämpöverkot ja lämmöntuotanto

Kaukolämpöä tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa ja erillisissä lämpölaitoksissa. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP) otetaan talteen turbiineissa sähköntuotannon yhteydessä syntyvä hukkalämpö. Kaukolämmityksen suurimpia etuja ovat Energiateollisuus ry:n mukaan:

- energiatehokkuus
- ympäristöystävällisyys
- kokonaistaloudellisuus
- toimintavarmuus (Mäkelä & Tuunanen 2015, 12.)

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomessa. Kaukolämpöä tuotetaan kaikkiaan 168 kunnassa. Suomessa kaukolämpöverkkoja on lähes 15 000 kilometriä. Kaukolämpöverkoissa siirretään tuotantolaitoksilla tuotettu lämpöenergia kuumana vetenä asiakkaille suljetussa kaksiputkessa (meno- ja paluuputki). Kiinteistöön tulevasta menoputkesta kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä lämmönsiirtimen kautta asiakkaalle ja palaa jäähtyneen paluuputkea pitkin lämpölaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Menoveden lämpötila vaihtelee 65–115 asteen välillä ja paluueden lämpötila 40–60 asteen välillä. (Energiateollisuus ry 2019a.)

Suomessa Kaukolämpöä käytettiin 33,7 TWh vuonna 2018, mikä on lämmityksen markkinaosuudesta 46 %. Kaukolämmön hiilidioksidipäästöt olivat 150g/kWh. Hukkalämmön hyödyntäminen on 3,2 kertaistunut 2010-luvulla. (Energiateollisuus ry 2019b, 2.)



Kuvio 1: Kaukolämmön käyttö 1970–2018 (Energiateollisuus ry 2019b, 2.)

Lämpöenergia kaukolämmityksessä tuotetaan keskitetysti lämmitysvoimalaitoksissa tai lämpölaitoksissa. Lämpölaitokset käyttävät polttoaineina puuta tai muuta biomassaa, turvetta, kivihiiltä, maakaasua, jätettä tai öljyä. Puun ja muiden biomassojen osuus kaukolämmön tuotannon polttoaineesta on noin kolmannes. Polttoaineen valinnassa huomioidaan toimitusvarmuus, kokonaistaloudellisuus ja ympäristövaikutukset. Ajoittain käytettävissä tuotantolaitoksissa polttoaineen varastoitavuus on merkittävä tekijä. (Energiateollisuus ry 2019c.)

## 6.2 Saarijärven kaukolämpöverkko

Yhtiön kaukolämpöverkoston pituus on noin 24 kilometriä ja verkoston piiriin kuuluu noin 184 asiakasta. Vuotuinen lämmön myynti yrityksellä on noin 26–30 GWh, mikä tuotetaan yrityksen viidellä lämpökeskuksella. Liitteenä 1 on kartta Saarijärven kaukolämpöverkosta. Päälämmöntuotannosta vastaa keskusta KPA1- laitos ja aseman KPA2-laitos toimii peruskuorma tukevana laitoksena. Lisäksi KPA-2 laitoksella tuotetaan myös huippu- ja varatehoa, jolloin lämpöenergian tuotantoon Saarijärvellä ei tarvita juuri ollenkaan öljyä. Lisäksi

KPA1-laitoksella on vuonna 1988 käyttöönotettu energian varastointia varten lämpöakku, mikä lisää laitoksen toimintavarmuutta ja huipputehoa.

Seuraavissa taulukoissa 1 ja 2 on esitetty näiden kahden lämpökeskuksen tuotannon vuosiraportit.

Taulukko 1. KPA1-laitos, vuosi 2017.

Kuukausi	Ulkoläm- pötila °C	Laitos MWh	Meno °C	Paluu °C	ABSteho MWh	AKKU piste	POR MWh	KPA MWh	Meno °C	Virt. kg/s	Sk °C	O2 %	Peti 1 °C	Peti 2 °C	Peti 3 °C	Tulip. °C	Turve %
1	-5,1	2921,99	90,4	41,1	0,8	2	0,1	3,3	114,8	10,6	37,2	5	791,8	844	821,7	872,7	37,9
2	-6	2658,73	91,1	41,2	0,8	2	0	3,4	114,8	10,9	37,5	4,9	797,9	845,4	824,5	873,2	38,1
3	-1,7	2558,83	86,9	40,6	0,7	1	0,1	2,9	114,5	8,9	35,6	5,1	792	846	824,3	846,2	37,8
4	0	2714,14	85,3	41,3	0,8	2	0	3,1	114,9	9,8	36,9	4,9	779,6	833	812,5	847,7	37,7
5	6,2	2403,28	79,4	44	0,7	2	0,1	2,6	112,8	8,4	37,2	5,2	757,3	814,6	791,7	800,3	44,8
6	12,4	1399,92	78,3	46,1	0,5	3	0	1,7	113,8	5,1	37,3	6,7	746,8	819,8	792,8	700,7	44,1
7	14,1	1150,18	78	47,6	0,3	4	0,3	1,1	101,8	3,8	35,1	8,2	555,7	608,9	590,4	423	42,8
8	13	-33,56	85,2	75	0	0	0	0	37,5	0,3	26	10	77,6	71,8	654,1	902,1	38,7
9	2,4	-19,27	25,7	22,3	0	0	0	0	7,4	0	7,9	2,9	11,4	8,3	353,3	353,3	11
10	2,9	2095,43	83,9	47,8	0,5	2	0,8	1,7	91,7	5,1	34,1	6,8	538,6	549,9	746	778,6	40,2
11	0,3	1814,18	84,9	38	0,6	2	0	2,2	114,9	6,4	33,6	5,1	819,4	843,9	818,7	842,3	37,8
12	-2,1	2210,07	88,4	38,2	0,7	2	0,1	2,5	114,9	7,6	34,2	5,1	822,6	844,9	819,7	863,3	37,7
SUMMA		21873,92			6,4		1,5	24,5		76,9							
KESKIARV	3,0	3365,2	79,8	43,6	1,0	1,8	0,2	3,8	96,2	11,8	32,7	5,8	624,2	660,9	737,5	758,6	37,4
MAKSIMI	14,1	2922	91	75	1	4	1	3	115	10,9	37,5	10	822,6	846	824,5	902,1	44,8
MINIMI	2,1	-34	26	22	0	1	0	1	7,4	0	7,9	2,9	11,4	8,3	353,3	353,3	11

Taulukko 2. KPA2-laitos, vuosi 2017.

Tunti	Ulkoilma°C	Energia MWh	K1	LTO	Oma käyttö	Verkon meno°C	Verkon paluu°C	Paine-ero Bar	Paluupaine Bar	Verkon virtaus
1	-4,1	1848,7	1671,6	204,1	9420,2	97,3	43,1	2,1	3,2	40,1
2	-5	1692,6	1531,7	188	7959,1	97,2	44	2,1	3,2	40,7
3	-0,8	1408,1	1244,2	188,7	9312,9	93,7	40,8	2	3,2	31,2
4	1,2	714,6	630,4	99,2	7514,6	87,6	52,1	1,2	4,1	16,6
5	7,7	0	0,2	0	1787,4	75,6	72	0,2	5,1	0
6	13,7	0	0	0	15,7	72,3	70,8	0	4,9	0
7	15,7	0	0,3	0	0	72	70,6	0,1	4,6	0
8	15	1234,2	1170,3	84,4	0	87,9	52,3	1,9	2,3	39,3
9	10,1	1908,4	1681,4	226,2	0	89,7	46,7	2,1	2,3	53,3
10	4,3	1053	906,3	151,5	0	83,9	57,3	1	4	25,9
11	1,2	1700	1480,4	235,6	0	92,8	43	1,9	3,1	41,3
12	-1,2	1892,2	1690	226,6	0	93,5	43,6	1,9	3,2	44,1
Yht/ka	4,8	13451,8	12006,8	1604,3	36009,9	87,0	53,0	1,375	3,6	27,7

Paineenkorotusasema (Liite 1, kartta.) on rakennettu vuonna 2016 ja sen tarkoitus on ylläpitää verkoston loppupään paine-ero vähintään 0,6 baarissa.

## 7 YLIJÄÄMÄLÄMPÖ

### 7.1 Ylijäämälämmön määritelmä

Teollisuuden käyttämä energia voidaan jakaa primääri- ja sekundäärienergiiaan. Primäärienergia on ulkopuolelta ostettua energiaa, kuten polttoainetta tai sähköä. Prosessien tarvitsema energia tuotetaan primäärienergialla. Primäärienergialla tuotetaan sekundäärienergiaa, kun esimerkiksi öljykattilalla tuotetaan lämpöä. Sekundäärienergia poistuu prosessista esimerkiksi jäähdytysveden tai poistoilman mukana laitoksen ulkopuolelle, jolloin se muuttuu ylijäämälämmöksi. (Heikkilä & Kiuru 2014, 10.)

### 7.2 Ylijäämälämmön hyödyntäminen Suomessa

Ylijäämälämpöä on hyödynnetty Suomessa jo pitkään erityisesti suurten tehtaiden, kuten metsä- ja metalliteollisuuden laitosten lauhdevesien ja puhaltimien ylijäämälämpöä käyttämällä. Esimerkiksi Äänekosken Energia Oy:n myymästä kaukolämmöstä 10,7 % oli vuonna 2017 tuotettu paikallisella Metsä Fibren sellutehtaalla (Äänekosken Energia Oy 2018, 7).

Fossiilisilla polttoaineilla tuotetun lämpöenergian tarvetta olisi mahdollista edelleen vähentää tehostamalla teollisuuden ylijäämälämpöjen talteenottoa. YIT:n tekemän raportin (2010) mukaan, ylijäämälämpöä olisi teknisesti hyödynnettävissä koko Suomen teollisuudesta n. 19 terawattituntia vuodessa. Koko määrä ei ole nykyisiin kaukolämpöverkostoihin kannattavasti siirrettävissä, mutta kuitenkin noin 4–5 terawattituntia olisi mahdollista hyödyntää. (YIT Teollisuus- ja verkkopalvelut Oy 2010, 57.)

Data- ja palvelinkeskusten lisääntynyt tarve informaatioyhteiskunnassa on lisännyt myös niiden tuottaman ylijäämälämmön hyödyntämistä. Palvelinkeskuksien tuottavat ylijäämälämpöä tasaisesti ympäri vuoden, mikä helpottaa ylijäämälämmön saatavuuden ennakoimista ja hyödyntämistä kaukolämpöverkossa. Palvelinkeskuksista lämpöä saadaan talteen vuosittain jopa noin 20 gigawattituntia, joka vastaa noin 1000 omakotitalon lämpöenergian

vuosikulutusta. Lämmön talteenotto tapahtuu pääasiassa lämpöpumpuilla. (Fortum Oyj 2018.)

Etelä-Suomessa erityisesti Fortum Oyj on avannut kaukolämpöverkkoaan kolmansille osapuolille. Fortumin kaukolämpöverkkoon tuotetaan lämpöä esimerkiksi datakeskuksissa, kiinteistöissä, teollisuuslaitoksissa, jätevesien puhdistamisessa ja jakelukeskuksissa. Marraskuussa 2018 Fortum julkisti tehneensä sopimuksen ylijäämälämmön ostamisesta Lidlin Järvenpään jakelukeskuksesta. Jakelukeskus myy Fortumin Järvenpään alueen kaukolämpöverkkoon vuodessa noin 700 MWh lämpöä. Määrä vastaa runsaan 40 omakotitalon vuosittaista lämmöntarvetta. (Fortum Oyj 2018.)

Fortum Oyj käyttää julkisia ylijäämälämmön ostohintoja. Yritys julkaisee internetsivuillaan hintataulukot kaukolämpöverkkoonsa siirretystä lämmöstä kussakin ulkolämpötilassa maksettavasta korvauksesta. Hinta riippuu ulkolämpötilan lisäksi siitä, syötetäänkö se meno- vai paluuveteen. Esimerkiksi talvella -20 asteen pakkasella menoveteen syötetystä lämmöstä Fortum maksaa helmikuussa 2019 voimassa olleen hintataulukon mukaan 50 €/MWh ja paluuveteen syötetystä lämmöstä 35 €/MWh (ei sisällä arvonlisäveroa). (Fortum Oyj 2019.)

### 7.3 Haasteita ja hyötyjä ylijäämälämmön hyödyntämisessä

Heikkilä & Kiuru (2014, 8) arvioivat kallistuneen energian hinnan, ympäristönsuojelun, tiukentuneiden viranomaisvaatimusten sekä laitetekniikan kehittymisen kannustavan teollisuutta ylijäämälämmön vähentämiseen ja hyödyntämiseen. Ylijäämälämmön käyttö on tehostunut teollisuudessa pääasiassa yritysten omien prosessiparannusten ja lämmön talteenoton avulla. Myös lämpöenergian myyminen paikallisille energiayhtiöille on lisääntynyt, mutta ylijäämälämmön taloudelliselle hyödyntämiselle on olemassa vielä esteitä, joista Heikkilä & Kiuru (2014, 8) listaavat tärkeimmiksi:

1. Taloudellinen kannattavuus
2. Tekniikan puuttuminen tai sen epäluotettavuus
3. Lämmön hyödyntämiskohteiden puute
4. Lainsäädännölliset, poliittiset tai kansalaismielipiteiden esteet.

Kaukolämmön tuottajien ja mahdollisten ylijäämälämmön myyjien mielipiteitä ylijäämälämpöinvestoinneista on selvittänyt Gaia Consulting Oy vuonna 2014 (). Ylijäämälämpöinvestointien suurimpana haasteena nähtiin korkeat investointikustannukset. Muita esille nousseita esteitä ylijäämälämmön hyödyntämiselle olivat teollisuudesta saatavan lämmön tekniset ominaisuudet, kuten liian alhainen ylijäämälämmön lämpötila tai tarpeeseen nähden sopimaton tuotantoajankohta ja tuotantoajankohdan ennakoitavuuden puute (Bröckl, Immonen & Vanhanen 2014, 10-11, 17, 20, 26). Kaukolämpöverkkoyhtiölle mahdollisuus hallita kaukolämpöverkkoon syötettävän ylijäämälämmön määrää on tärkeää oman tuotannon hallinnan kannalta.

Suurimpina etuina ylijäämälämmön hyödyntämisessä pientuottajilta nähtiin mahdolliset kustannussäästöt ja yhteistyöllä saavutettava imagohyöty. Erityisesti kuluttajasektorilla toimiville yrityksille ympäristövastuullisuus voi olla tärkeää asiakkaiden ympäristötietoisuuden vuoksi. (Bröckl ym. 2014, 14-15.)

#### 7.4 Ylijäämälämmön talteenotto ja tekniikat

Ylijäämälämpöä esiintyy teollisuuslaitoksissa hyvin erilaisissa muodoissa ja ominaisuuksissa. Vaikka jokainen ylijäämälämpökohde vaatii yksilöllisen tarkastelun hyödyntämisen mahdollisuuksista, on olemassa joitakin peruseriaatteita ja ohjeita. Kiuru & Heikkilä (2014, 10) listaavat seuraavat ylijäämälämmön käytännön hyödyntämismahdollisuuksien tekijät:

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

Yhdenkin tekijän ollessa riittävän epäsuotuisa, lämmön hyödyntäminen saattaa muuttua mahdottomaksi tai kannattamattomaksi. Silloin, kun ylijäämälämmössä on suuri potentiaali, mutta sen hyödyntäminen todetaan jonkun tekijän vuoksi kannattamattomaksi, on mahdollista käydä läpi prosessiketjua ja selvittää

voitaisiinko pienellä esim. prosessin lämpötilatason muutoksella parantaa kokonaisuuden energiatehokkuutta ja kannattavuutta. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa tämä sama periaate on yleisimmin käytössä, jossa sähköntuotantoa alentamalla mahdollistetaan kaukolämmöntuotanto ja kokonaishyötysuhdetta pystytään näin nostamaan. (Heikkilä & Kiuru, 2014, 11.)

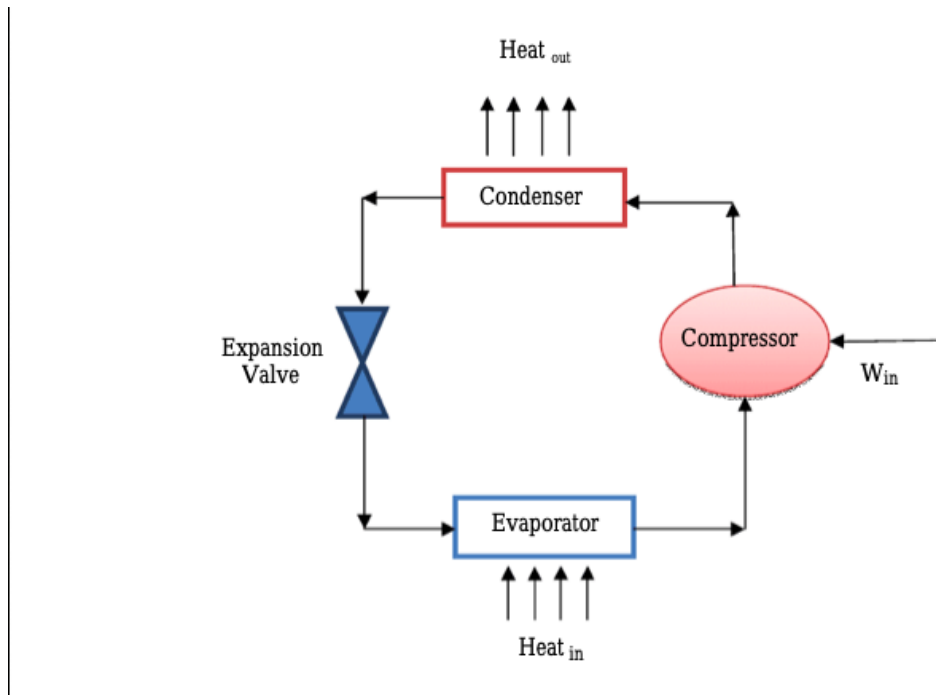
Ylijäämälämmön hyödyntämistä tarkastellaan tyypillisesti seuraavassa järjestyksessä:

1. Teollisuuskohteen sisäiset hyödyntämismahdollisuudet sekundäärienergiana
2. Teollisuuskohteen ulkopuoliset hyödyntämismahdollisuudet eli lämmön myynti
3. Lämmön muuttaminen sähköksi.

Tarkastelujärjestys perustuu oletuksiin ja kokemuksiin hyödyntämisen taloudellisesta kannattavuudesta ja teknisistä mahdollisuuksista (Heikkilä & Kiuru, 2014, 11). Tässä työssä keskitytään kohdan 2. mukaiseen ylijäämälämmön hyödyntämiseen tuotantolaitoksen ulkopuolisessa kaukolämpöverkossa.

#### 7.4.1 Lämpöpumppu

Lämpöpumpun toiminta perustuu laitteessa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen (faasimuutokset). Höyrystyessään kylmäaine sitoo lämpöä ja vastaavasti vapauttaa lämpönsä lauhtuessaan. Lämpöpumpun neljä komponenttia ovat höyrystin, lauhtutin, paisuntaventtiili ja kompressori. (Baradey, Hawlader, Ismail & Hrairi, 2015, 37–38.)



Kuvio 2: Lämpöpumppu (Baradey, Hawlader, Ismail & Hrairi 2015, 38.)

Ylijäämälämmön talteenotossa lämpöpumppua voidaan hyödyntää matalien ylijäämälämpöjen lämpötilan korottamisessa. Lämpöpumpulla ylijäämälämmön lämpötila voidaan saada optimaaliseksi esimerkiksi kaukolämpöverkkoon syöttämistä varten. Lämpöpumpun hyötysuhde on hyvä, joten sen käyttö ylijäämälämmön lämpötilan nostamisessa on usein kannattavaa.

#### 7.4.2 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtoa tarvitaan lähes kaikessa teollisuudessa. Siirtäminen voidaan toteuttaa ainevirtojen osuessa toisiinsa ns. suoralla lämmityksellä tai epäsuorasti lämpöpintojen välityksellä. Suora lämmittäminen onnistuu kuitenkin harvoin. Yleisin ratkaisu lämmön siirtämiseen onkin ainevirtoja sekoittamattomat lämmönvaihtimet. (Motiva 2016, 4.)

Lämmönvaihtimen läpi siirtyvän tehon kaava:

$$Q = mc\Delta T$$

missä

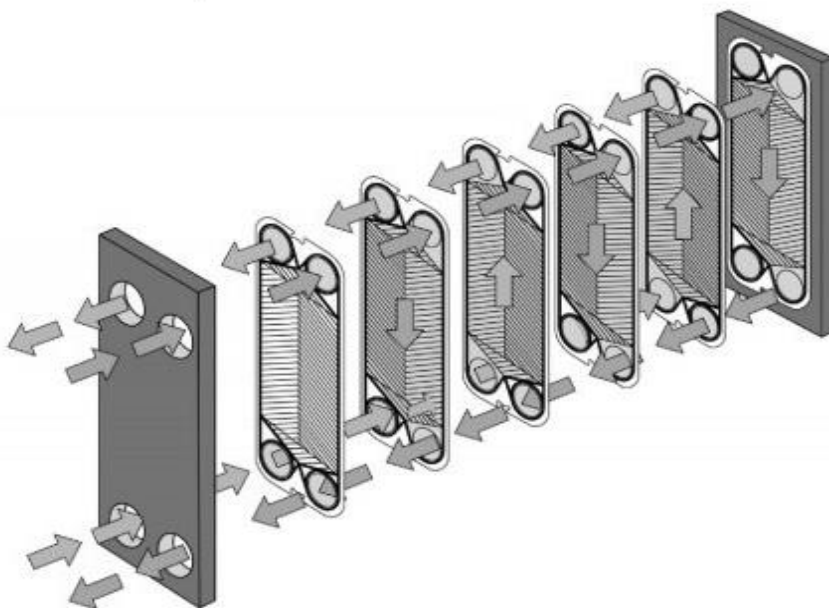
Q on lämpöenergia, [J]

C on aineen ominaislämpökapasiteetti [J/kg °C]

$\Delta T$  on lämpötilaero (Tekniikan kaavasto 2015, 107.)

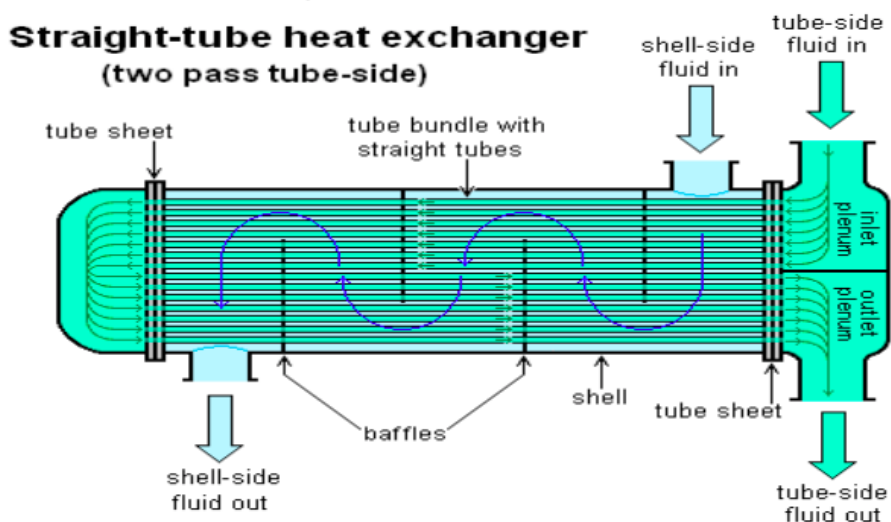
Lämmönsiirtimessä kuuma fluidi eli väliaine ja kylmä fluidi tuodaan lähellekkin siten, että lämpö pystyy siirtymään jonkin rajapinnan lävitse. Lämmönsiirron tehokkuus riippuu rajapinnan materiaalista. Lämmönsiirrintyyppejä on useita, mutta tyypillisimpiä teollisuuden lämmönsiirrossa käytettävistä siirtimistä ovat levy-, putki- ja vaippalämmönsiirtimet. Ne myös soveltuvat parhaiten lauhtuvan höyryn ja vedenvälillä toteutettavaan lämmönsiirtoon ja ovat investointikustannuksiltaan edullisia. (Ola 2011, 3–4.)

Levylämmönsiirtimen joka toisessa levyvälissä virtaa kuuma, ja joka toisessa kylmä fluidivirta. Lämmönsiirto tapahtuu ohuiden levyjen välitse. Fluidin virtausaika on pyritty saamaan mahdollisimman pitkäksi muotoilemalla levyt aaltomaisiksi, mikä samalla suurentaa levypinta-alaa ja kasvattaa lämmönsiirtotehoa. (Ola 2011, 4.)



Kuvio 3: Levylämmönsiirrin (Ref-Wiki.com 2018.)

Putki- ja vaippalämmönsiirtimessä toinen fluidi kiertää lämmönsiirtimen ulkoseinämän sisäpuolella eli vaipassa ja toinen fluidi kulkee vaipan lävitse kulkevilla putkissa (Turkia 2018, 25–26). Putki- ja vaippalämmönsiirtimen toimintaperiaatteen voi hahmottaa kuviosta 4.



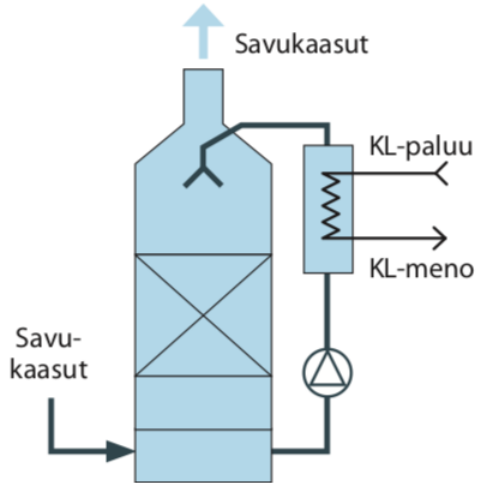
Kuvio 4: Putkilämmönsiirrin (TECFREE International Trade Co, Ltd 2019.)

#### 7.4.3 Savukaasupesuri

Savukaasupesuri on ns. märkäpesuri, joka on kehitetty alun perin savukaasujen hiukkaspäästöjen vähentämiseen. Ajan myötä painopiste on siirtynyt yhä enemmän savukaasuissa olevan hukkalämmön talteenoton tehostamiseen. (Elomatic Oy, 2014.)

Savukaasupesurin avulla tapahtuva lämmöntalteenotto perustuu savukaasun faasimuutokseen. Savukaasut johdetaan kattilasta pesuvaiheeseen, jossa savukaasun sekaan johdetaan nestettä ja savukaasut jäähtyvät ns. märkälämpötilaansa (60–70 astetta) saakka. Samalla poistuu pääosa pienhiukkasista. Savukaasut johdetaan lauhduttimeen, jossa savukaasu luovuttaa lämpöenergiansa; savukaasussa tapahtuu faasimuutos, kun kaasu jäähtyy vesikastepisteelle ominaiseen lämpötilaan. Tällöin polttoaineen sisältämän veden höyrystymiseen tarvittu energia vapautuu ja vapautunut energia otetaan talteen lauhteesta. Tästä saatavaa lämpöä käytetään yleensä

kaukolämmön paluulämmön lämmittämiseen. (Järvenreuna & Nummila 2013, 12.)



Kuvio 5: Savukaasupesuri (Järvenreuna & Nummila 2013, 12.)

Savukaasupesuritekniikan käytölle on useita perusteluja. Yksi merkittävimmistä on sen tuoma liiketaloudellinen hyöty, sillä tuotanto- ja lämpölaitosten savupiipuista katoaa taivaalle edelleen suunnaton määrä hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa.

## 8 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

### 8.1 Projektin tavoitteet ja toteuttamisen haasteet

Projektin alussa tavoitteena oli, että mukaan saataisiin kolmas osapuoli, joka olisi kiinnostunut toteuttamaan lämmöntalteenottojärjestelmän. Syksyn ja talven aikana oltiin yhteydessä useampaan alan toimijaan. Alussa yritykset olivat kiinnostuneita projektista, mutta leipomon olosuhteiden haasteellisuus tuli pian selväksi. Savukaasujen lämpötilat ja useampi piippu tekivät kustannustehokkaan ratkaisun löytämisestä mahdotonta.

Yhteistyökumppanin puuttuessa tarkemmat mittaukset, kuten esimerkiksi savukaasujen virtaukset jäivät tekemättä. Samoin kustannusten tarkka arviointi ilman laitetoimittajan tarjousta oli vaikeaa.

### 8.2 Savukaasujen lämpötilat ja lämpöteho

Leipomossa on kolme uunia, joita lämmitetään kevyellä polttoöljyllä. Polttimoiden yhteisteho on 330 KW ja polttoöljyä kuluu vuositasolla noin 35 000 litraa. Uuneja lämmitetään 8 tuntia vuorokaudessa kello 04–12, viitenä päivänä viikossa. Jokaisella uunilla on oma piippu.



Kuvio 6: Äijäsen Kotileipomo Oy:n leipomorakennuksen piiput.

Kävin leipomolla mittaamassa savukaasujen lämpötiloja 27.8.2018 klo 9:00. Infrapunamittarilla piipun pintalämpötilaksi ja näin ollen myös savukaasun lämpötilaksi saatiin 85 °C. Savukaasujen virtaamaa ei ole mitattu, vaan se on arvioitu laskemalla.

Uuneja lämmitetään 8 tuntia/vrk, viitenä päivänä viikossa, joten käyttösekunteja uuneille kertyy vuodessa  $8 \text{ h} \times 5 \text{ vrk} = 40 \text{ h/vko} \times 52 \text{ vko} = 2\,080 \text{ h/a} \times 3\,600 \text{ s/h} = 7\,488\,000 \text{ s/a}$  (1 h = 60 min/h\*60 s/min = 3 600 s/h)

Polttoöljyä kuluu vuositasolla noin 35 000 litraa.

Polttoainetta syötetään sekunnissa  $35\,000 \text{ l} / 7\,488\,000 \text{ s} = 0,00467 \text{ l/s}$   
Kevyt polttoöljylitra tarvitsee palamiseen 11,3 m<sup>3</sup> ilmaa.

Polttoilman tarve kolmelle uunille on  $0,00467 \text{ l/s} \times 11,3 \text{ m}^3/\text{kg} \times 0,87 \text{ kg/l} = 0,0455 \text{ m}^3/\text{s}$

Savukaasujen lämpöteho:

$$0,0455 \text{ m}^3/\text{s} * 1,2 \text{ kJ}/\text{m}^3\text{°C} * 85\text{°C} = 4,641 \text{ kW} = 16,71 \text{ MJ}/\text{h}$$

Jos lämmönvaihtimen hyötysuhde olisi 100%, niin vuodessa lämpöteho olisi  
 $16,71 \text{ MJ}/\text{h} * 2080 \text{ h}/\text{a} = 34\,757 \text{ MJ}/\text{a} = 9,65 \text{ MWh}/\text{a}$

Jos MWh:n myyntihinta on 40 €, niin myyntiosuus vuodessa olisi  
 $9,65 \text{ MWh} * 40 \text{ €/MWh} = 386 \text{ €}$

Laskussa ei ole otettu huomioon lämmönvaihtimen hyötysuhdetta, mikä todennäköisesti olisi noin 85 %.

Vastaavaasti tuottoarviota voidaan laskea polttimotehon avulla. Savukaasuista hyödynnettävissä olevan ylijäämäenergian voidaan arvioida lämpötehon laskukaavalla:

$$\Phi = q_v * c_p * \Delta T$$

Öljyn syöttö tulipesään:  $q_v = \frac{0,33 \text{ MW}}{38 \frac{\text{MJ}}{\text{l}}} = \frac{0,33 \frac{\text{MJ}}{\text{s}}}{38 \frac{\text{MJ}}{\text{l}}} = 0,0087 \text{ l}/\text{s}$

Polttoilman tarve:  $q_{v,\text{ilma}} = 0,0087 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 11,3 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} = 0,0957 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

Lämpöteho:  $\Phi = q_v * c_p * \Delta T$

$$\Phi = 0,0957 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3\text{°C}} * 85\text{°C} = 9,76 \text{ kWh} = 35 \text{ MJ}/\text{h}$$

$$35 \text{ MJ} / \text{h} * 2080 \text{ h} = 72800 \text{ MJ} / \text{a} = 20,2 \text{ MWh} / \text{a}$$

$$20,2 \text{ MWh} / \text{a} * 40 \text{ €} / \text{MWh} = 808 \text{ €} / \text{a}$$

Laskelmien perusteella ylijäämälämmön myyntituotto voisi enimmillään olla 400–800 euroa vuodessa.

### 8.3 Lämmöntalteenottotapojen vertailu

Savukaasupesurin hyödyntäminen leipomorakennuksessa osoittautui taloudellisesti mahdottomaksi, koska jokaisella uunilla on oma piippu ja näin pesureitakin olisi tarvinnut kolme riittävän tehon tuottamiseksi. Yksi uuni ei tuota riittävästi ylijäämälämpöä, jotta sitä kannattaisi siirtää kaukolämpöverkkoon. Lisäksi markkinoilla on vielä vähän toimijoita, jotka valmistaisivat pesureita pieniin kohteisiin.

Kyseisessä kiinteistössä toimivin lämmöntalteenottotapa olisi ollut piippuihin asennettavat lämmönvaihtimet, koska ne olisivat olleet kustannustehokkaat asentaa ja lisäksi lämmönvaihtimissa on hyvä hyötysuhde. Lämmönvaihtimiakin olisi tarvinnut kolme, jokaiselle uunille omansa. Lämmönvaihtimet ovat kuitenkin tekniikaltaan yksinkertaisempia ja siten myös kustannuksiltaan edullisempia kuin savukaasupesurit.

### 8.4 Hukkalämmöllä lämmitettävän veden lämpötilan optimointi

Leipomossa syntyvä ylijäämälämpö oli lämpötilaltaan alhaisempaa, kuin mitä projektin alkupuolella arvioitiin. Koska ylijäämälämpö olisi haluttu syöttää verkoston menopuoleen, olisi veden lämpötilaa pitänyt nostaa vielä lämpöpumpulla noin 15 astetta.

Paluuveteen syöttäminen onnistuisi suoraan kyseisillä lämpötiloilla, mutta lämpöyhtiö kannalta se ei ole järkevää, koska lämpölaitosten savukaasupesureiden hyötysuhteet kärsisivät siitä. Savukaasujen lämmöntalteenottolaitteistojen hyötysuhde on sitä parempi, mitä alhaisempi paluuveden lämpötila on. (Sirola & Tiitinen 2018, 2–3.)

Lämpöpumpun asentaminen nostaisi investointikustannuksia ja myös sen käytöstä aiheutuu kustannuksia.

## 8.5 Järjestelmän kustannusarvio

Emme saaneet yhtään kirjallista tarjousta, mutta arvioiden mukaan lämmönvaihtimien kustannukset olisivat 20 000 €, lämpöpumpun osuus olisi noin 1 500 € ja tontille pitäisi rakentaa kaukolämpöliittymä, jonka kustannus olisi noin 1 500 €. Lisäksi tulisi vielä suunnittelu- ja asennuskustannukset. Varoivaisesti arvioituna järjestelmän kokonaiskustannukset olisivat näin ollen 30 000 euroa.

Hankkeelle olisi TEM:n kriteerien mukaan ollut mahdollista hakea investointitukea. Investoinnilla olisi saavutettu energiansäästöä tai energian tuotannon tai käytön tehostamista (ks. luku 4.2). Projektin suunnittelu oli jo aloitettu ja siihen oli käytetty resursseja, joten ESCO-palvelun hyödyntäminen ei tullut kysymykseen. Käytännössä ainoa tapa saada investointitukea olisi liittymisen energiatehokkuussopimukseen. Tällöin investointituen määrä olisi voinut olla 20 % kustannuksista.

Energiatehokkuussopimukseen liittyy raportointivelvoite, mikä nopeasti pienentää investointituesta saatavaa kustannushyötyä raportointiin kuluvan työajan vuoksi. Noin 6 000 euron investointituki ei ehkä ole niin merkittävä, että sen saamiseksi energiatehokkuussopimukseen liittyvään raportointiin sitoutuminen olisi leipomoyrittäjälle houkuttelevaa.

Opinnäytetyön luvussa 8.1 on arvioitu uuneista syntyvän ylijäämälämmön lämpötehoa ja sen avulla laskettu mahdollisia vuosituottoarvioita ylijäämälämmön myynnille kaukolämpöverkkoon. Laskelmien perusteella, jos kaikki uunien tuottama ylijäämälämpö myytäisiin kaukolämpöyhtiölle hintaan 40 €/MWh, voisi vuosituotto olla yhteensä noin 400–800 €/a.

Takaisinmaksuaika 30 000 euron investoinnille kasvaisi useampaan kymmeneen vuoteen. Lämmönvaihtimien todennäköinen käyttöikä huomioiden investointia ei voida pitää taloudellisesti kannattavana. Lisäksi kaukolämpöyhtiö haluaa hallita omaa kaukolämpöverkkoaan ja optimoida sen veden lämpötilaa. Kaukolämpöyhtiöllä on siis säilyttävä mahdollisuus olla ostamatta kaikkea

talteenotettua ylijäämälämpöä, mikä jälleen pidentäisi investoinnin takaisinmaksuaikaa.

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyö tarkoituksena oli selvittää Äijäsen kotilepomo Oy:ssä syntyvän ylijäämälämmön hyödyntämisen mahdollisuuksia, lämmönottotapoja, kustannuksia ja investointitukien saamista.

Tällä hetkellä kaksisuuntaista kaukolämpöä hyödynnetään lähinnä vain suurissa tuotantolaitoksissa, kuten sellutehtaissa, konesaleissa ja jäteveden puhdistamoilla. Alalle ei vielä ole tullut pientuottajia vastaavasti kuin esimerkiksi sähköntuotannossa. Energiateollisuus ry on tutkinut runsaasti ylijäämälämpöjen hyödyntämisen mahdollisuuksia ja mahdollisia esteitä (ks. luku 4.1). Energiateollisuus ry:n (2018) mukaan yrityksiä ei ole tarvetta ohjata ylijäämälämpöjen hyödyntämiseen pakottavalla lisäsääntelyllä. Myös tämän opinnäytetyön tarve osoittaa, että toimialalla on jo olemassa kiinnostus siirtyä käyttämään kiertotalousajattelun mukaisesti kaikki resurssit ja selvittää tällä hetkellä hukkaan menevän lämpöenergian hyödyntämistä. Samoin toimijat, joiden tuotannossa ylijäämälämpöä syntyy, ovat aktivoitumassa tarjoamaan ylijäämälämpöä kaukolämmöntuotantoon.

Heikkilän & Kiurun (2014, 8) esiin nostamia ylijäämälämmön hyödyntämisen haasteita käsiteltiin opinnäytetyön luvussa 7.3. Haasteiden osalta tässä projektissa törmättiin kolmeen ensimmäiseen: projekti olisi taloudellisesti kannattamaton, teknisestä toteutuksesta kiinnostunutta kolmatta osapuolta ei löydetty ja loppujen lopuksi leipomon uunien ja piippujen rakenne osoittautui haasteelliseksi ylijäämälämmön talteenotolle. Gaia Consulting Oy:n raportissa (Bröckl, ym. 2014) mainittiin samoja esteitä ja todettiin lisäksi olemassa olevien tuotantolaitosten ylijäämälämmön olevan usein lämpötilaltaan liian alhaista. Myös Äijäsen Kotileipomon savukaasujen lämpötila jäi odotettua alhaisemmaksi.

Heikkilän & Kiurun (2014, 8) neljäntenä esteenä mainitsevat lainsäädännölliset, poliittiset tai kansallismieliset esteet lienevät tähän mennessä poistuneet. Ylijäämälämmön hyödyntäminen nähtiin Gaia Consultingin raportissa pikemminkin imagohyötynä. Samoin Saarijärven Kaukolämpö Oy ja Äijäsen

Kotileipomo Oy mainitsivat imagohyödyn yhtenä tärkeimmistä yhteistyön tavoitteista.

Investointituilla pyritään edesauttamaan yritysten oma-aloitteista suuntautumista energiatehokkaampaan tuotantoon. Energiatehokkuussopimukseen sidotut investointituet eivät ehkä parhaiten sovellu pieniin investointeihin, koska energiatehokkuussopimukseen liittyvä raportointivelvollisuus vaatii työaikaa ja syö nopeasti investointituella saadun säästön raportointiin kuluvalle työajalle.

Vanhojen tuotantolaitosten ylijäämälämmön hyödyntäminen olemassa olevassa kaukolämpöverkossa on haasteellista. Uusia kaukolämpöverkkoja suunniteltaessa voitaisiin kuitenkin paremmin ottaa huomioon myös olemassa olevat ylijäämälämmön lähteet ja hyödyntää niiden tuottamaa lämpöenergiaa paluuedessä siten, että paluuesiputkistoilla lämmitettäisiin sekundäärisiä kohteita, kuten katuja tai piha-alueita. Tällöin myös paluueden lämpötilaa saataisiin laskettua niin, että se olisi optimaalinen lämpölaitosten savukaasupesurien ja sähköntuotannon kannalta.

Äijäsen Kotileipomolla tehdyissä mittauksissa todettiin piipun päästä tulevan savukaasun olevan lämpötilaltaan odotettua alhaisempaa. Uunit luultavasti vuotavat lämpöä, jolloin uunien paremmalla eristämällä polttoaineen kulutusta voitaisiin saada pienemmäksi. Tällöin myös savukaasun lämpötila nousisi ja lämmönvaihtimien hyötysuhde paranisi. Ylijäämälämmön kaukolämpöverkkoon syöttämisen sijaan lämmönvaihtimilla talteen otetun lämpöenergian hyödyntämisestä esimerkiksi leipomokiinteistön käyttöveden lämmityksessä voisi saada taloudellista hyötyä.

## LÄHTEET

Aho, M., Hakala, L., Karttunen, V., Pursula, T., Saario, M., Tommila, P. & Vanhanen, J. 2013. Arvoa ainekiertoista - teollisten symbioosien globaali markkinakatsaus. Helsinki: Sitra ja Gaia Consulting Oy. Viitattu 9.3.2019 <https://media.sitra.fi/2013/09/19140001/Selvityksia70.pdf>.

Baradey Y., Hawlader M.N.A., Ismail A.F. & Hrairi M. 2015. Waste heat recovery in heat pump systems: solution to reduce global warming. IIUM Engineering Journal, Vol. 16, No. 2, 2015.

Bröckl M., Immonen I. & Vanhanen J. 2014. Lämmön pientuotannon ja pienimuotoisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa. Helsinki: Gaia Consulting Oy. Viitattu 1.3.2019 [https://energia.fi/files/981/Lammon\\_pientuotannon\\_ja\\_ylijaamalammon\\_hyodyntaminen\\_kaukolampotoiminnassa20141215\\_.pdf](https://energia.fi/files/981/Lammon_pientuotannon_ja_ylijaamalammon_hyodyntaminen_kaukolampotoiminnassa20141215_.pdf).

Deloitte Oy 2018. Kiertotalous energia-alalla. Viitattu 9.3.2019 [https://energia.fi/files/2288/Deloitte\\_2018\\_-\\_Kiertotalous\\_energia-alalla\\_loppuraportti.pdf](https://energia.fi/files/2288/Deloitte_2018_-_Kiertotalous_energia-alalla_loppuraportti.pdf).

Energiatehokkuuslaki 30.12.2014/1429.

Energiateollisuus ry 2018. ET:n keskustelupaperi lämmitysmarkkinoista 20180515. Viitattu 17.2.2019 [https://energia.fi/files/2633/ET\\_kaukolampo\\_keskustelupaperi\\_090518\\_web\\_%28002%29.pdf](https://energia.fi/files/2633/ET_kaukolampo_keskustelupaperi_090518_web_%28002%29.pdf).

Energiateollisuus ry 2019a. Kaukolämpöverkkoja lähes 15 000 km. Viitattu 19.4.2019 [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiaverkot/kaukolampoverkot](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/kaukolampoverkot).

- 2019b. Energiavuosi 2018 Kaukolämpö. Viitattu 22.4.2019 [https://energia.fi/files/3308/Energiavuosi2018\\_Kaukolampo\\_20190116.pptx](https://energia.fi/files/3308/Energiavuosi2018_Kaukolampo_20190116.pptx).

- 2019c. Kaukolämpö tuotetaan lähellä asiakasta. Viitattu 22.4.2019  
[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon\\_tuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto).

Fortum Oyj 2018. Kotisivut, lehdistötiedotteet. Viitattu 18.2.2019  
<https://www.fortum.fi/media/2018/11/fortum-ja-lidl-sopimukseen-ylijaamalammon-hyodyntamisesta-avoimessa>.

Fortum Oyj 2019. Kotisivut, Avoin kaukolämpö. Viitattu 20.4.2019  
<https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys/kaukolampo-0/avoin-kaukolampo/avoin-kaukolampo-ostohinnat>.

Heikkilä, I. & Kiuru, T. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Helsinki: Motiva. Viitattu 16.1.2019 <https://docplayer.fi/7407885-Ylijaamalammon-hyodyntaminen-analyysit-teollisuus-energiatehokkuus-ylijaamalammon-taloudellinen-hyodyntaminen-ylijaamalampoenergia-analyysit.html>.

Järvenreuna, J. & Nummila, M. 2013. Nykyaikainen savukaasupesuri merkittävä biolämpölaitosten kannattavuuden parantaja. Elomatic News Talvi 2014, 11–14. Viitattu 30.3.2019  
[https://www.elomatic.com/assets/files/publications/Elomatic\\_News\\_talvi\\_2014.pdf](https://www.elomatic.com/assets/files/publications/Elomatic_News_talvi_2014.pdf).

Motiva Oy 2016. Energiatehokas lämmönsiirto. Helsinki: Motiva. Viitattu 16.3.2019 [https://www.motiva.fi/files/11106/Energiatehokas\\_lammonsiirto.pdf](https://www.motiva.fi/files/11106/Energiatehokas_lammonsiirto.pdf).

Motiva Oy 2017. ESCO-palvelu. Viitattu 30.3.2019  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuus-\\_ja\\_esco-palvelut](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuus-_ja_esco-palvelut).

Motiva Oy 2019. Energiatehokkuussopimukset. Viitattu 30.3.2019  
<http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/>.

Mäkelä, V-M. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.3.2019 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>.

Ola, U. 2011. Plate heat exchanger desing methodology. Central Ostrobothnia University of applied Sciences. Bachelor's thesis. Degree Programme in Chemistry and Technology. Viitattu 22.4.2019 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/141300/Uwe%20THESIS.pdf?sequence=%201&isAllowed=y>.

Ref-Wiki.com 2018. Levylämmönsiirrin. Viitattu 19.4.2019 <http://www.ref-wiki.com/fi/content/view/31188/28/>.

Saarijärven kaukolämpö Oy 2018a. Kotisivut, yritys. Viitattu 17.2.2019 <http://www.saarijarvenkaukolampo.fi/yritys/>.

- 2018b. Vuosikertomus 2017. Viitattu 17.2.2019 [http://www.saarijarvenkaukolampo.fi/wp-content/uploads/2019/01/Vuosikertomus\\_2017\\_KL.pdf](http://www.saarijarvenkaukolampo.fi/wp-content/uploads/2019/01/Vuosikertomus_2017_KL.pdf).

Sirola, V-P. & Tiitinen, M. 2018. Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä. Energiateollisuus ry. Viitattu 22.4.2019 [https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot\\_kaukolampoverkkoon\\_tekniset\\_ohjeet\\_20181016.pdf](https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot_kaukolampoverkkoon_tekniset_ohjeet_20181016.pdf).

TECFREE International Trade Co, Ltd 2019. Straight tube heat exchanger. Viitattu 19.4.2019 <http://fi.tecfree-heatexchanger.com/heat-exchangers/water-to-oil-heat-exchanger/one-pass-shell-and-tube-oil-cooler.html>.

Tekniikan kaavasto 2015. Porvoo: Tammertekniikka/Amk-Kustannus Oy.

Turkia, R. 2018. Sarjatuotantoon soveltuvan putki- ja levylämmönsiirtimien tuotekehitys. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. LUT Energiajärjestelmät. Viitattu 22.4.2019 [http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/156622/diplomityo\\_turkia\\_riku.pdf;jsessionid=C8EAA9D90FBA820B85C64C785973A0B5?sequence=1](http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/156622/diplomityo_turkia_riku.pdf;jsessionid=C8EAA9D90FBA820B85C64C785973A0B5?sequence=1).

Vilkkilä, T. 2019. Saarijärven kaukolämpö Oy. Toimitusjohtajan haastattelu 5.3.2019.

YIT Teollisuus- ja verkkopalvelut Oy 2010. Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 22.1.2019 <https://docplayer.fi/2968184-Tyo-ja-elinkeinoministerio.html>.

Äijäsen Kotileipomo 2018. Kotisivut, historia. Viitattu 17.2.2019 <http://www.kotileipomo.com/index.php?id=3>.

Äänekosken Energia Oy 2018. Vuosikertomus 2017. Viitattu 18.2.2019 [https://www.aanekoskenenergia.fi/vuosikertomus/Aanekosken\\_Energia\\_vuosikertomus\\_2017.pdf](https://www.aanekoskenenergia.fi/vuosikertomus/Aanekosken_Energia_vuosikertomus_2017.pdf).

## LIITTEET

Liite 1. Kartta: Saarijärven Kaukolämpö Oy:n kaukolämpöverkko

