

2019

Esiselvitys

—

Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa



Esiselvitys:

Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa

Esiselvitys, Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa

Copyright Motiva Oy, Helsinki, syyskuu 2019

Esipuhe

Työ- ja elinkeinoministeriö nimesi marraskuussa 2018 Energiatehokkuustyöryhmän selvittämään mahdollisuuksia tehostaa energiatehokkuustoimia vuosina 2021–2030 ja tekemään ehdotuksia toimenpiteistä, joilla Suomi saavuttaa EU:n muutetun energiatehokkuusdirektiivin 7 artiklan edellyttämät tavoitteet kaudelle 2021–2030. Yksi työryhmässä ehdotettu toimenpide on ylijäämälämmön tehokkaampi hyödyntäminen. Tämä esiselvitys käynnistettiin toimenpiteen potentiaalin kartoittamiseksi teollisuudessa ja tukemaan toimenpiteen myöhempää toteuttamista.

Selvityksen rahoitti Energiavirasto. Selvityksen tilaajana toimi Motiva Oy, jossa työn ohjaajina toimivat Lea Gynther, Erja Saarivirta ja Tomi Kiuru. Selvityksen toteutti Pöyry Finland Oy, jossa projektipäällikkönä toimi Pekka Ruohonen ja tekijöinä Joachim Grundström sekä Markku Suominen.

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Sisällysluettelo	4
1 Yhteenveto	5
2 Ylijäämälämmön potentiaali	7
2.1 Ylijäämälämmön määritelmät	7
2.2 Aikaisemmat selvitykset	8
2.3 Teollisuuden energiankäyttö ja ylijäämälämmön lähteet	14
3 Uuden teknologian mahdollisuudet	19
3.1 Lämpöpumput	22
3.2 Ylijäämälämmön muuttaminen sähköksi	24
4 Ylijäämälämmön käyttömahdollisuudet	27
4.1 Hyödyntäminen kohteessa	28
4.2 Myynti ulkopuolelle	29
4.3 Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa	30
5 Suunnitelma laajemmalle selvitykselle	33
Lähteet	35

Tämän esiselvityksen tarkoitus oli arvioida Suomen teollisuuden ylijäämälämmön potentiaali sekä miten teollisuuden ylijäämälämpöä voidaan parhaiten hyödyntää. Tärkeä osa selvitystä oli myös hahmotella, mihin aiheeseen tulevan tarkemman selvityksen tulisi keskittyä.

Ylijäämälämpö on lämpöenergiavirta, joka poistuu tuotantolaitoksesta, esim. jäähdytysveden, erilaisten poistoilmojen, savukaasujen, jäteveden tai koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmön mukana. Metsäteollisuus on Suomen teollisuusaloista ylivoimaisesti suurin energian käyttäjä, jonka jälkeen tulevat kemian- ja metalliteollisuus. Suurin hyödyntämätön ylijäämälämpömäärä on myös kyseisissä teollisuusaloissa. Aikaisemmat selvitykset ovat arvioineet Suomen teollisuuden ylijäämälämmön tekniseksi potentiaaliksi 6–23 TWh/a. Teknisellä potentiaalilla tarkoitetaan lämpömäärää, jonka hyödyntäminen on ole-massa olevalla tekniikalla mahdollista. Kaikki tekninen potentiaali ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavalla tavalla hyödynnettävissä. Tässä selvityksessä Suomen teollisuuden vuoden 2017 tekniseksi potentiaaliksi arvioitiin noin 16 TWh/a.

Ylijäämälämpöä kannattaa ensisijaisesti hyödyntää tuotantolaitoksen omissa prosesseissa ja mikäli ei mahdollista, niin myydä saman teollisuusalueen toiselle toimijalle tai paikkakunnan kaukolämpöverkkoon. Ylijäämälämmön hyödyntämiseen liittyy niin teknisiä kuin kaupallisia haasteita. Teollisuusprosessit esimerkiksi ovat usein mutkikkaita ja on iso kynnys lähteä muuttamaan niitä. Sen lisäksi tarvittavat investoinnit voivat olla isoja ja takaisinmaksuajat liian pitkiä, kun perinteisesti teollisuusyrityksillä ja kaukolämpöyrityksillä on ollut eri tuottovaatimukset investoinneille.

Iso osa ylijäämälämmöstä on alle 100 °C ja jopa alle 55 °C, jonka takia mekaaniset lämpöpumput ovat tehokkain teknologia matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisessä. Uudet kuuma- ja kylmäpumput, jotka tuottavat yli 100 °C lämpöistä lämpöenergiaa kohtuullisella hyötysuhteella (COP-arvolla), voivat jatkossa mullistaa matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisen, sillä niillä voidaan tuottaa suoraan yli 100 °C kaukolämpö-vettä, mikä vähentää kaukolämmön priimauksen tarvetta. Lisäksi, hallituksen ehdotus siirtää kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavat lämpöpumput sähköveroluokkaan II ja siirtää veroluokan II taso kohti EU:n minimiä tulee parantamaan lämpöpumppujen kannattavuutta ja parantamaan ylijäämälämmön hyödyntämisen edellytyksiä.

Jos ylijäämälämmölle ei löydy käyttöä tai se on kannattamatonta tai jopa mahdotonta sijainnin takia, sähköntuottaminen ylijäämälämmöstä voi olla kannattavaa. Lupaavimmat menetelmät matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisessä sähköntuotannossa ovat ORC ja tulevaisuudessa mahdollisesti myös termosähkögeneraattorit. Näiden teknologioiden heikkoutena on kuitenkin matala sähköntuotannon hyötysuhde matalalämpöisestä hukkalämmöstä (< 100 °C), hyötysuhde tyypillisesti alle 10 %.

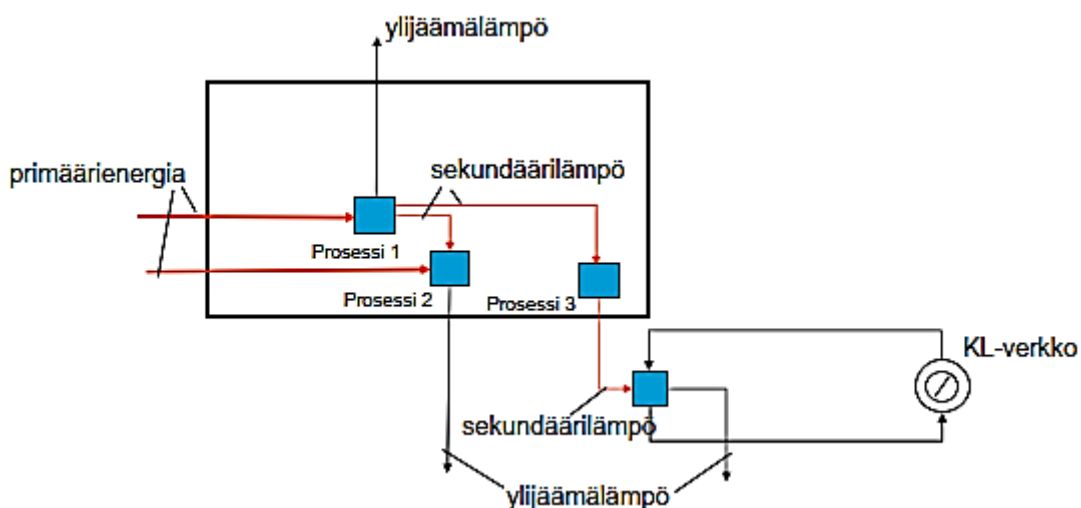
Ehdotuksia jatkoselvityksen aiheeksi ovat:

1. Uuden hallituksen verolinjaukset ja niiden vaikutus lämpöpumppujen kannattavuuteen
2. Käytännön toimet hukkalämpöjen hyödyntämisen helpottamiseen
3. Uuden liiketoiminnan synnyttäminen hukkalämmönlähteen ympärille, energia-kiertotalous
4. Mitä hukkalämpöjen potentiaalille tapahtuu ajan kuluessa
5. Merkittävimmät teknologiat ja potentiaalit hukkalämmön syntymisen välttämiseksi. Sähköistymisen vaikutukset.
6. Sopimuskysymykset

2 Ylijäämlämmön potentiaali

2.1 Ylijäämlämmön määritelmät

Kuva 1 havainnollistaa primäärienergian, sekundäärienergian ja ylijäämlämmön eroja. Primäärienergia on jalostamatonta energiaa luonnollisessa muodossaan, niin kuin esim. vesivoima, uraani ja hiili. Sekundäärienergia on jalostettua primäärienergiaa, esim. sähköä, kaukolämpöä ja bensiiniä ja teollisuuden sekundäärilämpö on teollisuuden prosesseista talteenotettua lämpöä. Ylijäämlämpö on lämpöenergiavirta, joka poistuu tuotantolaitoksesta, esim. jäähdytysveden, erilaisten poistoilmojen, savukaasujen, jäteveden tai koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmön mukana. Tätä kutsutaan myös hukka- tai jätelämmöksi. Päättävänä on hyödyntää prosesseista ylijäävä sekundäärienergia muissa prosesseissa niin että ylijäämlämpöä muodostuu mahdollisimman vähän.



Kuva 1 Ylijäämlämmön määritelmä (YIT et al., 2010)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001 määritelmä hukkalämmölle ja -kylmälle:

‘hukkalämmöllä ja -kylmällä’ tarkoitetaan teollisuus- tai sähköntuotantolaitoksissa tai palvelualalla sivutuotteena väistämättä syntyvää lämpöä tai kylmää, joka katoaisi käyttämättömänä ilmaan tai veteen, jos sitä ei johdettaisi kaukolämmitys- tai jäähdytysjärjestelmään, jos on käytetty tai käytetään yhteistuotantoprosessia tai jos yhteistuotanto ei ole mahdollista.

2.2 Aikaisemmat selvitykset

Ylijäämälämmön potentiaalia ja hyödyntämistä on viimeisen kymmenen vuoden aikana selvitetty useampi taho. Tässä kappaleessa esitetään muutama poiminta selvityksistä ja niiden tuloksista. Lisäksi eri yritykset ovat teettäneet opinnäytetöinä lukuisia määra selvityksiä ylijäämälämmön hyödyntämisestä yksittäisissä kohteissa, erityisesti konesaleista.

Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksissä, 2010

YIT Teollisuus- ja verkkopalvelut Oy:n tekemä selvitys Energiateollisuus ry:n ja työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta.

Aihe:

- Selvityksessä on tarkasteltu Suomen teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuuksia kaukolämpöverkoissa, myös matalalämpöisen energian hyödyntämismahdollisuuksia on selvitetty.

Tulokset/johtopäätökset:

- Teknisesti ylijäämälämpöä on hyödynnettävissä koko teollisuudesta n. 19 TWh/a, mutta selvityksen aikaisiin kaukolämpöverkostoihin on karkeasti arvioitu saatavan n. 4–5 TWh/a.

Taulukko 1 Ylijäämälämmön potentiaali 2010 selvityksen mukaan.

Toimiala	Tekninen hyödyntämispotentiaali TWh/a	
	Alle 55 °C	Yli 55 °C
10 Elintarvike	1,7	0,5
16 Sahatavaran sekä puu- ja korkkituotteiden valmistus (pl. huonekalut); olki- ja punontatuotteiden valmistus	0,9	0,7
17 Paperin, paperi- ja kartonkituotteiden valmistus	4,1	2,7
19 Koksen ja öljytuotteiden valmistus	2,5	1,3
20 Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus	1,0	0,1
23 Muiden ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus	-	0,5
24 Metallien jalostus	0,9	2,0
Yhteensä	11,1	7,8

- Suurin hyödyntämätön ylijäämälämpö määrä on metsäteollisuudessa. Perinteisellä lämmönsiirrintekniikalla teknisesti hyödyntämättömäksi potentiaaliksi arvioitiin maksimissaan 1,4 TWh/a selvityksen aikaisiin kaukolämpöverkkoihin. Mikäli lämpöpumpputekniikkaa käytetään matalalämpöisen energian hyödyntämiseksi, on maksimipotentiaali 2,8 TWh/a.
- Teollisuuden ylijäämälämpömäärästä vain n. 0,5 % käytetään edelleen hyväksi tehtaiden ulkopuolella. Kaukolämmitykseen hyödynnetty ylijäämälämpö määrä, n. 770 GWh/a, vastaa n. 2,5 %:a Suomen kaukolämpöenergiasta.
- Syitä alhaiseen ylijäämälämmön hyödyntämiseen:
 - Ei ole ymmärretty energian käytön tehostamismahdollisuuksia.
 - Ylijäämälämmön käyttö energiayhtiön kannalta ei ole aina edullisin vaihtoehto energian hankinnassa, esim. vastapainesähköntuotannossa ylijäämälämmön käyttö vähentää vastapainetuotannon sähkönsaantia.
 - Energiayhtiöillä on käsitys, että teollisuuden ylijäämälämpöä ei tulkita tai rinnasteta uusiutuvaksi energiamuodoksi ja näin siitä saatava hyöty jää saamatta.
 - Energiayhtiöiden velvoite toimittaa kaukolämpöä asiakkailleen kaikissa olosuhteissa ja ylijäämälämmön toimitusvarmuus.
 - Ylijäämälämpöjen hyödyntämistä ei ole nostettu osaksi Suomen energiapolitiikkaa ja yhdeksi merkittäväksi energiaratkaisuksi rakennusten lämmityksessä.
 - Energiakatselmusten- ja analyysien raportoinneissa ei yleensä käsitellä ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuutta kaukolämpöverkkoon eikä katselmustyön tuloksena saada selvää kuvaa ylijäämälämpöjen määristä lämpötilatasoittain.

Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen, YLIMINI-projekti, 2014

Motiva Oy:n syksyllä 2012 käynnistämä hanke yhteistyössä teollisuusyritysten kanssa. Mukana olleiden yritysten lisäksi hanketta rahoittivat työ- ja elinkeinoministeriö ja Energiategollisuus ry. Projektin taustalla oli edellä mainittu selvitys ”Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksissä”.

Aihe:

- Selvityksessä tarkasteltiin teollisuuden ylijäämälämmön taloudellisia hyödyntämismahdollisuuksia kotimaisilla tehtailla ja laitoksilla ja tarkastelu keskittyi seuraaviin kolmeen aihealueeseen, joista kustakin tehtiin oma raportti:
 - Ylijäämälämpöenergia-analyysit
 - Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset
 - Polttoaineen kuivaustekniikat

Tulokset/johtopäätökset:

- Laitetoimittajien mielestä teollisuudessa on runsaasti ylijäämälämmön tehostamismahdollisuuksia etenkin erilaisissa lämmönvaihdiratkaisuissa ja

lämpöpumppuja hyödyntämällä. Markkinat eivät kuitenkaan vedä ja kilpailu on kovaa ja lämpöpumppuratkaisut ovat vasta yleistymässä.

- Ongelmina on nähty mm. kontaktien saaminen oikeisiin ihmisiin, asiakkaiden taloustilanne sekä asiakkaiden henkilöstöresurssit ja mielenkiinnon puute. Energiatehokkuusinvestointien nähdään myös kilpailevan yritysten investointirahoista muiden investointien kanssa tai ylijäämälämmölle ei yksinkertaisesti ole yrityksissä tarvetta.
- Teollisuus vaatii laitteilta luotettavaa toimintavarmuutta eikä ole kovin innokas pilottiratkaisuihin.
- Lämpöpumppulaitteiston toteutettavuuden perusedellytyksiä ovat, että on käytävissä ylijäämälämpövirtaus, joka on riittävän suuri ja stabiili sekä että tuotetulle lämmölle löytyy sopiva hyvän pysyvyyden käyttökohde.
 - Jos lämpöpumpulla jäähdytetylle kylmälle virtaukselle voidaan löytää sen lämpötilatasoa hyödyntävä jäähdytyskäyttökohde, tämä parantaa edelleen merkittävästi laitteiston hankinta- ja käyttöedellytyksiä.
 - Tarkastelluissa kohteissa tarjouksiin perustuvat lämpöpumppulaitosten kokonaisinvestointien takaisinmaksuajat jäivät kaikki alle kymmeneen vuoteen.
- ORC-laitteisto vaatii toimiakseen lämmönlähteen, jonka lämpötila on mielellään yli 100 °C ja pysyvyys on hyvällä >6000 h/a tasolla. Matalissa 60–80 °C lämpötiloissa suuri osa tuotetusta sähköstä joudutaan käyttämään laitteiston vaatimiin ulkoisiin pumppauksiin.
 - ORC:n hyötysuhde on voimakkaasti riippuvainen lämmönlähteen lämpötilasta ja lämmönlähteen ja lämpönielun lämpötilaerosta. Ylijäämälämpövirrat ovat usein niin viileitä, että sähkönenergian tuotanto jää alle 10 % käytetyn lämmön määrästä.
 - ORC-laitosten takaisinmaksuaika on tyypillisesti yli 10 vuotta. Tarkastelun aikaisilla sähkön hinnoilla matalalämpötilaista ylijäämälämpöä hyödyntävien ORC-laitosten takaisinmaksuajat vaihtelivat vajaasta 15 vuodesta tapauksiin, jotka eivät maksa itseään takaisin koskaan.
- Polttoaineen kuivauksella voidaan parantaa voimalaitoksen energiatehokkuutta. Samalla voidaan tehostaa polttoaineen käyttöä kuivatun polttoaineen lämpöarvon paranemisen myötä, jolla on suotuisia vaikutuksia voimalaitoksen käytettävyyteen ja savukaasupäästöihin.
 - Kuivauslämpönä on taloudellisista syistä syytä käyttää lähellä ja hyödynnettävissä olevia matalalämpötilaisia ylijäämälämpövirtoja (n. 50–80 °C). Kuivauslämpötilan nousun myötä ongelmaksi muodostuu vaadittu VOC-päästöjen puhdistus, joka kasvattaa kuivuri-investointia.
 - Käyttölämmön lämpötila määrittää saavutettavan kuivauslämpötilan ja asettaa reunaehdot kuivaukselle soveltuville teknologioille. Myös kuivauksen lämpöenergian ja omakäyttösähkön kulutus sekä kuivauksessa syntyvät päästöt riippuvat kuivauslämpötilasta.
 - Maaliskuun 2013 polttoaineiden ja päästöoikeuden hintatasoilla sekä kaupallisilla teknologioilla kannattavuuden saavuttamisen on koettu olevan haastavaa, mikäli kuivaus toteutetaan pelkästään energiatehokkuuden

tehostamiseksi ja laitoksen suorituskyvyn kohentamiseksi. Arvokkaampien lopputuotteiden (pyrolyysiöljy, kaasutuksen tuotekaasu, pelletit) tuottamisessa kuivaus voi olla taloudellisesti kannattavaa.

Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country, 2018

Julkaisu tieteellisessä lehdessä "Applied Thermal Engineering". Tekijät: Michael Papapetrou, George Kosmadakis, Andrea Cipollina, Umberto La Commare, & Giorgio Mical.

Aihe:

- EU maiden teollisuuden ylijäämälämmön **teknistä potentiaalia** tarkasteltiin, eli lämpö määrää joka voidaan ottaa talteen ja hyödyntää.
- Britannian teollisuuden ylijäämälämmön määrän pohjalta laskettiin muiden EU-maiden ylijäämälämpökapasiteetit.

Tulokset/johtopäätökset:

- Teollisuuden energiankulutuksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on vähentynyt vuodesta 2000 seuraavista syistä:
 - Energiatehokkuustoimenpiteitä on toteutettu teollisuudessa
 - Muutokset EU:ssa toimivien toimialojen tyypissä
 - Energiankulutuksen kasvu muilla aloilla, pääasiassa rakennuksissa, palvelusektorissa ja kuljetussektorissa
- EU-maiden teollisuuden ylijäämälämpöpotentiaali on noin 300 TWh/a, mikä on 16,7 % teollisuuden prosessilämpökulutuksesta ja 9,5 % teollisuuden kokonaisenergiankäytöstä. Kolmasosa (noin 100 TWh/a) on matalalämpöistä ylijäämälämpöä (< 200 °C), 25 % ylijäämälämmöstä (noin 78 TWh/a) välillä 200–500 °C ja loput yli 500 °C (noin 124 TWh/a).
 - Selvityksen mukaan, alle 100 °C ylijäämälämmön tekninen potentiaali oli vain noin 1,25 TWh/a koko EU-alueella. Tämä vaikuttaa alhaiselta luvulta, sillä esim. Suomessa ja Ruotsissa voisi olettaa, että kylmästä säästä johtuen, teknistä potentiaalia alle 100 °C lämmölle olisi enemmänkin.
- Britannian teollisuudessa yli 500 °C lämpöä on saatavissa pääasiassa rauta- ja terästeollisuudesta sekä sementtiteollisuudesta. 200–500 °C lämpöä on saatavissa pääasiassa rauta- ja terästeollisuudesta sekä paperi- ja selluteollisuudesta. Suurin osa ylijäämälämmöstä on 100–200 °C lämpöä, jota on saatavissa useammilta teollisuudenaloilta. Alle 100 °C lämpö keskittyy lähinnä elintarvike- ja juomateollisuuteen.
 - Lasketut ylijäämälämpömäärät olivat pääosin 6–9 % lämmönkulutuksesta. Mineraali- sekä rauta- ja terästeollisuudessa ylijäämälämpömäärät olivat korkeammat, noin 11 % ja 13 %.
- Ruotsissa ylijäämälämmön potentiaaliksi arvioitiin noin 7 TWh/a ja Suomessa noin 6 TWh/a (silmämääräisesti arvioitu kuvaajasta), josta suurin osa oli lämpötilaltaan

100 – 200 °C ja 500–1000 °C. Suomen teollisuuden tekninen potentiaali jakautui seuraavanlaisesti (arvot silmämääräisesti arvioitu raportin kuvaajista):

- Rauta- ja terästeollisuus: 3,5 TWh/a
- Muu metalliteollisuus: 0,3 TWh/a
- Kemianteollisuus: 0,12 TWh/a
- Mineraaliteollisuus: 0,5 TWh/a
- Elintarviketeollisuus: 0,05 TWh/a
- Paperi- ja selluteollisuus: 1,7 TWh/a
- Muu teollisuus (esim. tekstiili-, konepajateollisuus): 0,04 TWh/a

Heat Roadmap Europe 2050. Second pre-study for the EU27. 2013

Selvitys, jonka ovat yhteistyössä laatineet Aalborg University, Halmstad University, Ecofys Germany GmbH ja PlanEnergi.

Aihe:

- Selvitys, jonka tarkoituksena on kehittää vähähiilisiä lämmitys- ja jäähdytysstrategioita EU-maille.

Tulokset/johtopäätökset:

- Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen nostetaan esille merkittävänä osana vähähiiliseen lämmöntuotantoon siirtymiseen.
- Suomen teollisuuden ylijäämälämmön potentiaaliksi arvioidaan 82 PJ/a ($\approx$ 23 TWh/a).

Taulukko 2 Yhteenveto eri lähteiden arvioista Suomen teollisuuden ylijäämälämmön potentiaalista

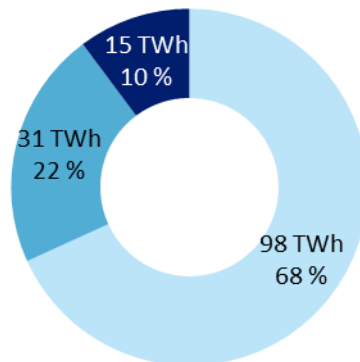
Lähde	Suomen teollisuuden hukkalämmön tekninen potentiaali
1. Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksissä, 2010	- Tekninen potentiaali noin 19 TWh/a: - Elintarviketeollisuus: 2,2 TWh/a - Sahatavaran sekä puutuotteiden valmistus: 1,6 TWh/a - Paperin, paperi- ja kartonkituotteiden valmistus: 6,8 TWh/a - Koksin ja öljytuotteiden valmistus: 3,8 TWh/a - Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus: 1,1 TWh/a - Muiden ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus: 0,5 TWh/a - Metallien jalostus: 2,9 TWh/a - Tekninen potentiaali nykyisiin kaukolämpöverkostoihin n. 4– 5 TWh/a: - Metsäteollisuudesta perinteisellä lämmönsiirrintekniikalla maks 1,4 TWh/a ja lämpöpumpputekniikkaa käyttäen maks. 2,8 TWh/a.
2. Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country, 2018	- Tekninen potentiaali noin 6 TWh/a: - Rauta- ja terästeollisuus: 3,5 TWh/a - Muu metalliteollisuus: 0,3 TWh/a - Kemianteollisuus: 0,12 TWh/a - Mineraaliteollisuus: 0,5 TWh/a - Elintarviketeollisuus: 0,05 TWh/a - Paperi- ja selluteollisuus: 1,7 TWh/a - Muu teollisuus (esim. tekstiili-, konepajateollisuus): 0,04 TWh/a
3. Heat Roadmap Europe 2050. Second pre-study for the EU27. 2013	Tekninen potentiaali noin 82 PJ/a (≈ 23 TWh/a)

Taulukon 1 ja 3 lähteet antavat saman suuruusluokan arvion Suomen teollisuuden ylijäämälämmön teknisestä potentiaalista, noin 19–23 TWh/a. Lähde 2 sen sijaan antaa huomattavasti alhaisemman teknisen potentiaalin, vain noin 6 TWh/a. Suomen ylijäämälämmön tekninen potentiaali on todennäköisesti aliarvioitu lähteessä 2, sillä Suomen ja muiden EU-maiden ylijäämälämpökapasiteetit on laskettu ja skaalattu Britannian teollisuuden ylijäämälämmön teknisen potentiaalin pohjalta. Suomessa on kylmemmästä säästä johtuen selvästi suurempi tekninen potentiaali matalalämpöiselle ylijäämälämmölle.

2.3 Teollisuuden energiankäyttö ja ylijäämälämmön lähteet

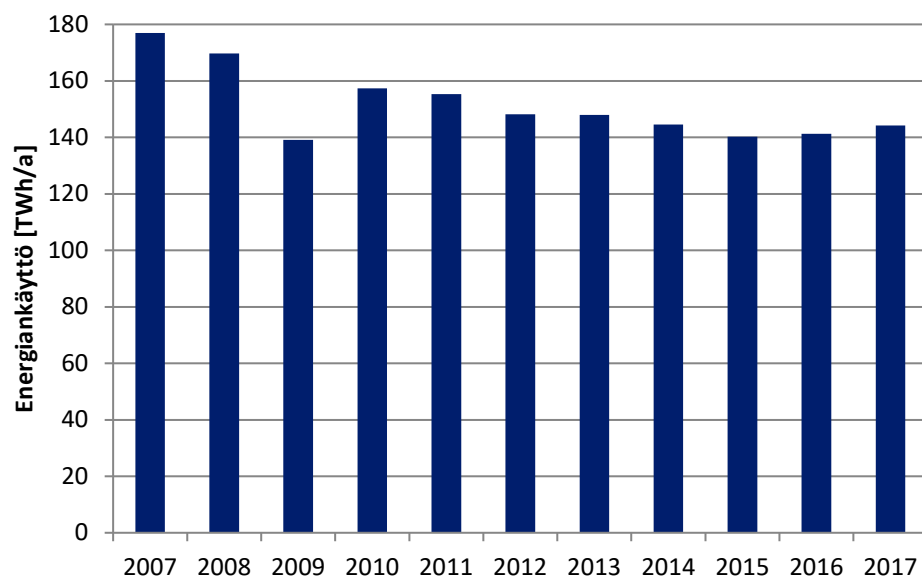
Teollisuuden energiankäyttö Suomessa vuonna 2017 oli noin 144 TWh, josta noin 68 % oli polttoaineita, 22 % sähköä ja 10 % lämpöä, niin kuin kuvasta 1-2 käy ilmi. Polttoaineesta suuri osa on käytetty juuri sähkön ja lämmön tuotantoon tehtaan omaan käyttöön.

■ Polttoaineet, TWh ■ Sähkö (netto), TWh ■ Lämpö (netto) TWh



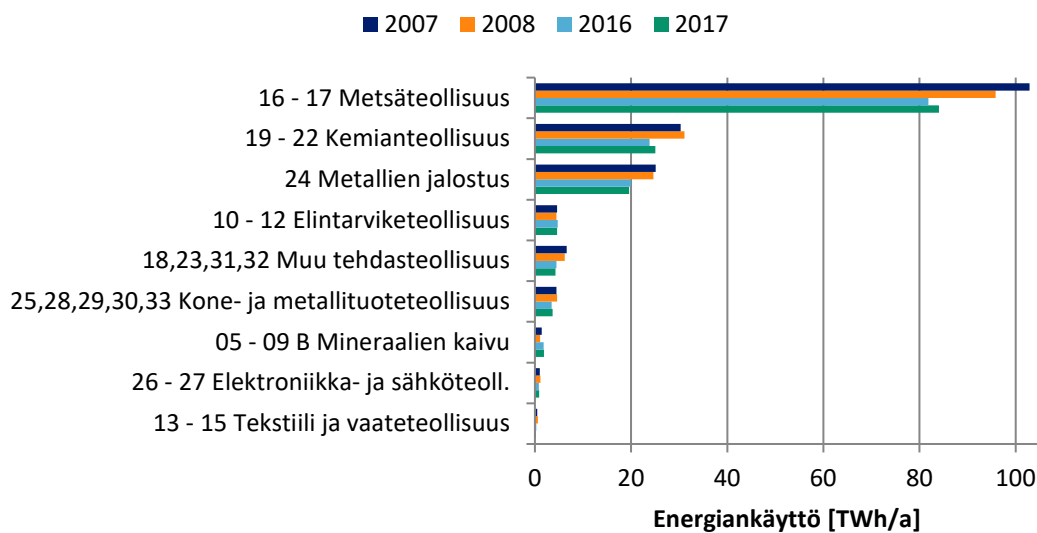
Kuva 2 **Teollisuuden energiankäytön jakautuminen polttoaineisiin, sähköön ja lämpöön vuonna 2017 (Tilastokeskus, 2018)**

Teollisuuden vuosittaisen energiankäytön vaihtelu on esitelty kuvassa 1-3. Vuosittaisen energiankäytön trendi on pääasiassa ollut laskeva vuodesta 2007 vuoteen 2017, johon vaikuttaa mm. yleinen taloustilanne (näkyvät erityisesti vuoden 2009 energiankulutuksessa) ja siitä johtuva tehtaiden sulkemiset ja tehtaiden vajaakäyttö, mutta todennäköisesti myös ilmastonmuutoksen saama laaja huomio ja teollisuuden panostukset energiatehokkuuteen. Vuodesta 2007, jolloin teollisuuden energiankäyttö oli noin 177 TWh, teollisuuden energiankäyttö on vähentynyt yli 18 % vuoteen 2017 mennessä (Tilastokeskus, 2018).



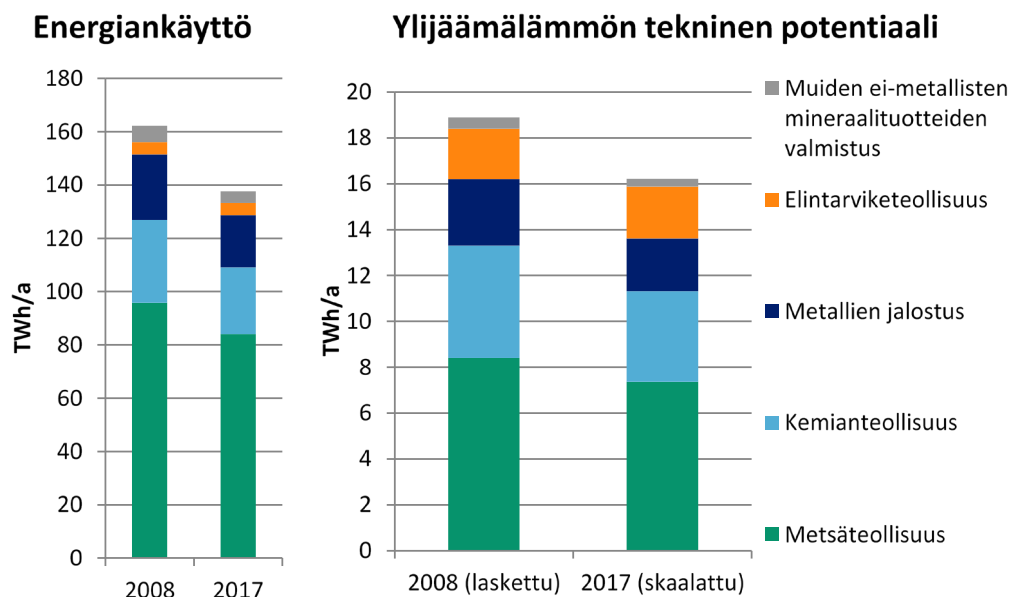
Kuva 3 Teollisuuden energiankäyttö Suomessa vuosina 2007- 2017 (Tilastokeskus, 2018)

Metsäteollisuus on Suomen teollisuusaloista ylivoimaisesti suurin energian käyttäjä, niin kuin kuvasta 1-4 käy ilmi. Yhteensä metsäteollisuus, kemianteollisuus ja metallien jalostus käyttivät vuonna 2017 yli 89 % teollisuuden käyttämästä energiasta. Suurin vähennys energiankäytöstä on lähtöisin myös kyseisistä teollisuusaloista.



Kuva 4 Teollisuuden energiankäyttö Suomessa toimialoittain (Tilastokeskus, 2018)

YIT arvioi vuonna 2010 Suomen teollisuuden ylijäämälämmön tekniseksi potentiaaliksi noin 19 TWh/a. Arvio tehtiin teollisuuden vuoden 2008 energiankäytön perusteella. Vertailemalla suurimpien teollisuusalojen energiankäyttöä vuosina 2008 ja 2017, ja skaalamalla kyseisten teollisuusalojen ylijäämälämmön tekninen potentiaali energiankäytön perusteella, Suomen teollisuuden ylijäämälämmön potentiaali vuonna 2017 olisi noin 16 TWh/a. Tätä arviota voidaan hyvällä tarkkuudella pitää oikean suuntaisena, koska viimeisen kymmenen vuoden aikana tekniikan kehitys (erityisesti lämpöpumput) vaikuttaa potentiaalia nostavasti ja tänä aikana jo toteutetut energiatehokkuustoimet puolestaan laskevasti.



Kuva 5 Teollisuuden energiankäyttö ja ylijäämälämmön tekninen potentiaali 2008 ja 2017.

Energiateollisuus ry:n tilastojen mukaan vuoden 2018 kaukolämmöntuotannosta 10 % eli noin 3,7 TWh oli peräisin hukkalämmöstä, johon laskettiin mukaan lämmön talteenotto esim. jätevedestä, savukaasuista ja kaukojäähdytyksen paluuviedestä. Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämmössä on 3,2-kertaistunut 2010-luvulla (Energiateollisuus ry, 2019). Suurin syy tähän ovat voima- ja lämpölaitosten savukaasupesurit ja -lauhduttimet.

Ylijäämälämmön lähteet

Eniten ylijäämälämpöä syntyy energiantensiivisessä teollisuudessa, esim. edellä mainitut metsä-, kemian- ja metalliteollisuudessa, mutta myös voimalaitoksissa ja erityisesti lauhdevoimalaitoksissa.

Teollisuudessa lämpöä on mahdollista saada talteen mm. prosessi- ja savukaasuista, jäte- ja jäähdytysvesistä sekä poistohöyryistä. Tyypilliset ylijäämälämmön lämpötilatasot ja niitä vastaavat lämmönlähteet on listattu seuraavaan taulukkoon:

Taulukko 3 Ylijäämälämmön lämpötilatasot ja ylijäämälämmön lähteet

Lämpötilataso	Ylijäämälämmön lähteet
< 50 °C	• Erilaiset prosessien jäähdytysvedet • Koneellisen jäähdytyksen lauhde-energia • Prosesseihin liittyvät poistoilmavirrat
50–100 °C	• Erilaiset prosessien jäähdytysvedet • Erilaiset höngät • Öljyvoideltujen paineilmakompressoreiden jäähdytys
> 100 °C	• Savukaasut • Prosessien kuumat poistokaasut, esimerkiksi uuneilta

Tietokonesalien/datakeskusten määrä Suomessa on kasvanut viime vuosina ja uusia on myös suunnitteilla, joten tulevaisuudessa datakeskukset tulevat olemaan entistä tärkeämpiä hukkalämmön lähteitä, erityisesti kaukolämmöntuotannossa. Datakeskukset tarvitsevat runsaasti jäähdytysenergiaa, jonka vuoksi ne kannattaa sijoittaa jonkin energianlähien lähistöön (esim. meren tai järven lähelle) tai kaukolämpöverkon lähelle, jolloin datakeskusten hukkalämpöä voidaan hyödyntää kaukolämmöntuotannossa, mikä alentaa jäähdytyskustannuksia. Kilpailukykyisen jäähdytysratkaisujen lisäksi, kaupungit tarjoavat hyvät tietoliikenneyhteydet datakeskuksille. Datakeskusten hukkalämpöä on hyödynnetty jo vuosia, Fortum esim. tiedottaa, että Elisa Oyj:n ja Tieto Oy:n palvelinkeskuksista hukkalämpö on kerätty talteen Fortumin kaukolämpöverkkoon jo lähes 20 vuotta (Energia-uutiset, 2018).

Hukkalämmön hyödyntämistä osana uusiutuvien energialähteiden osuuden lisäämisessä energiankäytössä painotetaan myös EU-tasolla. RED II-direktiivi (EU direktiivi 2018/2001) edellyttää jäsenvaltioiltaan, että heidän on arvioitava uusiutuvien energianlähteiden sekä hukkalämmön ja -kylmän käytön potentiaalia lämmitykseen ja jäähdytykseen.

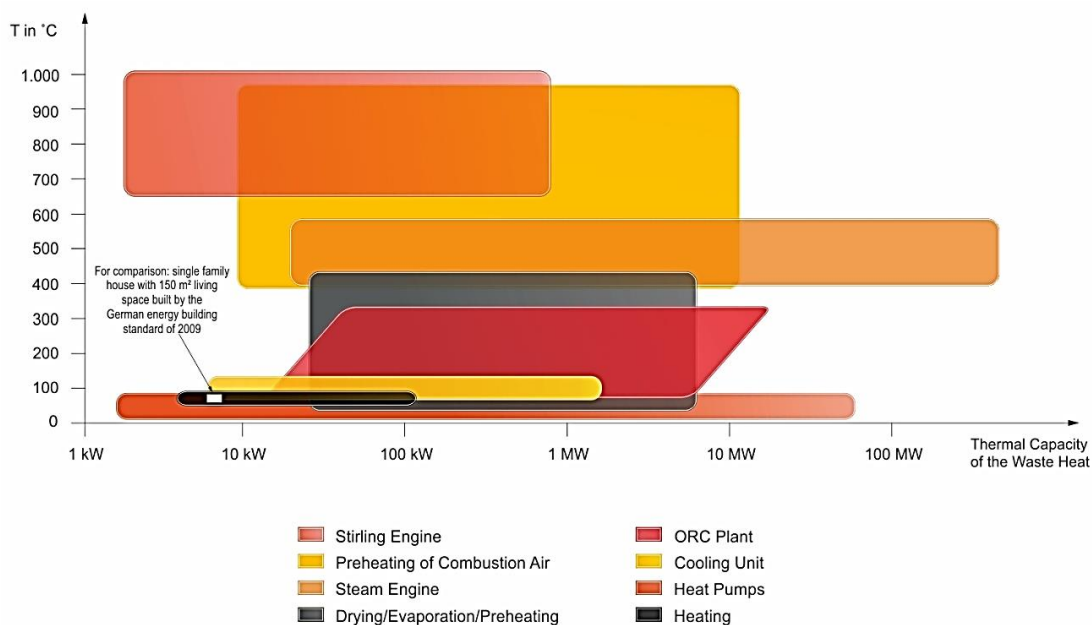
RED II-direktiivi määrää kaksi vaihtoehtoista tapaa uusiutuvien energiantuotantomuotojen ja hukkalämmön käytön lisäämistä kaukolämmityksessä:

- Jäsenvaltion valitsemilla toimenpiteillä, joilla saavutetaan uusiutuvan energian ja hukkalämmön osuuden lisäämistä kaukolämmityksessä vähintään yhdellä prosenttiyksiköllä laskettuna kausien 2021–2025 ja 2026–2030 ja vuonna 2020 saavutetusta tasosta.

- Vaihtoehtoisesti jäsenvaltiot varmistavat, että kaukolämmitys- tai kaukojäähdytysjärjestelmien haltijat ovat velvollisia, **tietyin poikkeuksin**, liittämään uusiutuvista lähteistä ja hukkalämmöstä ja -kylmästä peräisin olevan energian toimittajat järjestelmäänsä, tai että niiden on tarjouduttava liittämään kolmantena osapuolena olevat toimittajat siihen ja ostamaan niiltä uusiutuvista energialähteistä ja hukkalämmöstä ja -kylmästä tuotettua lämpöä tai kylmää.

Uuden teknologian mahdollisuudet

Kuvassa 6 on esitelty perinteiset teknologiat ylijäämälämmön hyödyntämiseksi ja niiden soveltuvuus ylijäämälämmön hyödyntämiseen riippuen lämmönlähteen lämpötilasta ja lämpömäärästä. Taulukossa 4 kyseisten teknologioiden edut ja haitat on listattu.



Kuva 6 Ylijäämälämmön hyödyntämisen menetelmät ja teknologiat (Waste heat, 2019)

Kuvassa esitetyistä teknologioista tämän selvityksen kannalta kiinnostavimmat sijoittuvat alalaitaan, koska matalilla lämpötilatasoilla on suurin osa Suomessa jäljellä olevasta potentiaalista.

Eri teknologioiden vaatimaa hukkalämmön lämpötilatasoa ja tekniikoiden hyviä ja huonoja puolia on käsitelty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 4 Eri ylijäämälämmön hyödyntämisen menetelmien ja teknologioiden ominaisuudet

Teknologia	Hukkalämmön lähde	Edut	Haitat
Lämpöpumput (mekaaninen)	< 10–100 °C	+ Kaupallista luotettavaa tekniikkaa + Matalalämpöistä ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää tehokkaasti + Suhteellisen nopea käynnistys ja hyvät osakuormaominaisuudet	– Edellyttää riittävän suuren ja tasaisesti ylijäämälämpöä tuottavan lähteen ja käyttävän kuluttajan – Ylijäämälämmön ja sähkön hinta voi heikentää kannattavuutta huomattavasti
Käyttö suoraan lämmityksessä, esim. kiinteistön lämmityksessä	~ 40–100 °C	+ Investointikustannukset tyypillisesti alhaiset + Yksinkertaista	– Lämmön kysyntä ja ylijäämälämmön tarjonta eivät välttämättä kohtaa
Absorptiolaitteet (jäähdytin ja lämpöpumppu)	~ 60–200 °C	+ Laaja säädettävyyys + Ylijäämälämmön käyttö myös jäähdytystarkoituksiin + Yksinkertaisia, kestäviä ja tarvitsevat vähän huoltoa + Alhainen sähkön kulutus	– Alhainen COP matalissa lämpötiloissa – Investointikustannus hyötyihin nähden
ORC-laitos	~ 80–350 °C	+ Matalalämpöistä hukkalämpöä voi hyödyntää suoraan sähköntuotannossa, kaupallista tekniikkaa + Nopea säätö sähköntuotannossa + Pitkä käyttöikä + Kokonaishyötysuhdetta voi parantaa CHP-käytössä	– Investointikustannus hyötyihin nähden – Sähköntuotannon hyötysuhde tyypillisesti 7–25 % ja matalalämpötilaisissa prosesseissa hyötysuhde < 10 %. – Tarvitsee mahdollisimman kylmän lämpönielun. Jopa yli 90 % lämmöstä siirtyy lämpönieluun niin kylmänä, ettei sen hyötykäyttö ole järkevää

Teknologia	Hukkalämmön lähde	Edut	Haitat
Kuivatus /Höyrystys /Esilämmitys	~ 40–450 °C	+ Investointikustannukset tyypillisesti alhaiset + Ylijäämälämpö voidaan hyödyntää paikallisesti esim. polttoaineen kuivaukseen ja parantaa polttoaineen ominaisuuksia ja polttoprosessin tehokkuutta + Veden tai ilman esilämmitys on tyypillisesti jatkuva lämmöntarve	– Mahdolliset päästöt raaka-aineen/tuotteen kuivatuksesta – Polttoaineen kuivaus ei aina järkevää, esim. lämpölaitoksessa, jossa on savukaasujen lämmön talteenottojärjestelmä käytössä
Höyrykattila /Jätelämpökattila	> 350 °C	+ Voidaan hyödyntää keski- ja korkealämpöistä hukkalämpöä höyryntuotantoon + Voi parantaa esim. voimalaitoksen hyötysuhdetta merkittävästi	– Höyryntuotannossa voi vaatia lisäpoltin tai jälkipoltin riippuen lämmönlähteen lämpötilasta ja lämpömäärästä
Palamisilman lämmitys	> 100 °C	+ Investointikustannukset tyypillisesti alhaiset + Yksinkertaista + Parantaa prosessin energiatehokkuutta	– Käytettävissä ainoastaan polttoprosessien yhteydessä → polttoprosessi tulisi sijaita lähellä hukkalämmön lähdettä – Lämmön kysyntä ja ylijäämälämmön tarjonta eivät välttämättä kohtaa
<u>Stirling</u>-moottori	> 600 °C	+ Hukkalämpöä voi hyödyntää suoraan sähköntuotannossa, kaupallista tekniikkaa + Voi ottaa käyttövoimansa käytännössä mistä tahansa lämmönlähteestä + Pitkä huoltoväli (5000–15000 h) + Hiljainen käyntiääni	– Kannattavuus – Isokokoisia tuottamaansa tehoon nähden – Heikko tehon säädettävyyttä – Käynnistysaika – Vaatii korkealämpöistä ylijäämälämpöä – Sähköntuotannon hyötysuhde suhteellisen matala

Kyseiset ylijäämälämmön hyödyntämismenetelmät ja teknologiat ovat pääasiassa kaupallista tekniikkaa, mutta kannattavuus on monen teknologian suurin haaste. Lämpöpumput ovat osoittautuneet suhteellisen kannattaviksi ja uudet kuumalämpöpumput voivat johtaa lämpöpumppujen suosion kasvamiseen, jonka johdosta tässä työssä keskitytään lämpöpumppuihin. Lisäksi ORC-järjestelmät ja lämpösähköiset generaattorit käsitellään lyhyesti.

Mekaaniset lämpöpumput sopivat moneen eri tarkoitukseen teollisuudessa aina polttoaineiden ja raaka-aineiden kuivauksesta, kaasujen ja nesteiden lämmittämiseen sekä lämmön hyödyntämiseen kaukolämmityksessä ja -jäähdytyksessä. Mekaanisilla lämpöpumpuilla voidaan hyödyntää jopa alle 10 °C lämpötiloja kaukolämmön tuottamiseen kohtuullisella hyötysuhteella (COP-arvolla).

Lämpöpumput soveltuvat hyvin myös matalalämpöisen jäteveden lämmön hyödyntämiseksi ja jätevesien lämmön hyödyntämisellä kaukolämmöntuotannossa on suuri potentiaali. Lämpöpumpulla voidaan potentiaalisesti hyödyntää jätevettä taajama-alueella, jossa asukasvastineluku (AVL) on yli 5 000, tai alueella, jossa muutoin on riittävän suuri kokoojaviemäri tai jätevedenpumppaamo. Jäteveden keskimääräinen virtaama tulisi olla vähintään noin 36–54 m³/h ja suhteellisen jatkuva. Jätevedenpuhdistamon yhteyteen tai teollisuuslaitoksen yhteyteen tehtävä lämmön talteenottoinvestointi on yleensä helpompi saada kannattavalle tasolle jäteveden suurempien virtaamien vuoksi. Ennen vuotta 2011 tehtyjen arvioiden mukaan Norjan jäteveden edelleen hyödynnettävissä oleva lämpöpotentiaali olisi noin 1 500 GWh/a ja Suomen jäteveden potentiaalin voisi olettaa olevan samaa suuruusluokkaa. (Salminen, 2011)

Uuden teknologian teollisilla lämpöpumpuilla voidaan tuottaa jopa 130 °C lämpöä 15–20 °C hukkalämmöstä. Käytännön esimerkkinä voidaan mainita suomalainen Calefa Oy, joka on toimittanut tällaisen lämpöpumpun esim. Lempäälässä toimivan Kiilto Oy:n kemiantehtaalle. (Yle, 2019) Seuraavassa taulukossa on verrattu Calefan teollisten lämpöpumppujen ja kuumaalämpöpumppujen teknisiä tietoja ja suorituskkyä.

Taulukko 5 Esimerkki uuden teknologian kuumaalämpöpumppujen teknisistä tiedoista ja suorituskkyistä, Calefan teollisuuslämpöpumput. (Calefa Oy)

	Calefan lämpöpumput	Calefan kuumaalämpöpumppu (Hot Level®)
Lämpötehot	100...1000 kW	100...1000 kW
Lämmönlähde	+0...+40 °C	+20...+90 °C
Lämmöntuotto	+40...+95 °C	+90...+130 °C
COP	3–6	3–7

Uudet kuumaalämpöpumput, jotka tuottavat yli 100 °C lämpöistä vettä voivat korvata priimäkilämpöä monessa eri käyttötarkoituksessa. Esimerkiksi kaukolämmöntuotannossa, jossa ne vähentävät kaukolämmön priimauksen tarvetta. Perinteisesti lämpöpumpuilla tuotetun kaukolämpöveden lämpötilaa on erityisesti talvella jouduttu priimaamaan esimerkiksi uudella tai olemassa olevan laitoksen tuottamalla höyryllä. Priimaustarve ja

mahdollinen investointi uuteen laitokseen kaukolämpöveden priimaamiseksi voivat heikentää lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuutta merkittävästi.

Taulukko 6 Lämpöpumppujen haasteet ja mahdollisuudet

Haasteet	Mahdollisuudet
• Riski sähkön hinnan nousulle (energia, siirto tai verot) • Takaisinmaksuaika • Monesti järkevämpää käyttää hukkalämpöä suoraan (miettiä sekundäärikytkentöjä uudestaan) ilman lämpöpumppua • Kriittinen näkökulma lämpöpumppujen ympäristöystävällisyydestä: • Pitäisikö tulkita, että sähkö on tuotettu lämmityskauden marginaalisähköntuotannolla (esim. hiililauhteella) vai uusiutuvilla ja päästöttömillä energiantuotantomuodoilla • Jos tuotettu hiililauhteella, jonka hyötysuhde on 30 % ja pumpun COP on 3 → sama kuin lämpö tuotettaisiin suoraan lämpölaitoksessa	• Mahdollisuus hyödyntää matalalämpöistä hukkalämpöä • Hallituksen ehdotus siirtää lämpöpumput sähköveroluokasta 1 → 2, jolloin sähkövero laskisi merkittävästi → parantaisi lämpöpumppujen kannattavuutta • Kuumalämpöpumput → käyttöalue laajenee ja esimerkiksi priimaustarve vähenee kaukolämmöntuotannossa • Kehitys ja korkeammat COP-arvot → sähköteho ja sähkönkulutus laskee → kannattavuus paranee • Tällä hetkellä ihmisten ja median mielikuva lämpöpumpuista on puhdas ja uusiutuva lämmöntuotantomuoto

Absorptiolaitteet

Absorptiolaitteet pumpppaa lämpöenergiaa alemmasta lämmönlähteestä ylemmälle tasolle ja soveltuu kohteisiin, joissa on käytettävissä edullista kuumaa lämpöenergiaa. Absorptiolaitteiden etuna on pieni sähkönkulutus verrattuna mekaanisiin lämpöpumppuihin. Seuraavassa taulukossa on esitetty tekniset tiedot Calefa Oy:n toimittamista absorptiolämpöpumpuista.

Taulukko 7 Esimerkkinä tekniset tiedot Calefa Oy:n toimittamista absorptiolämpöpumpuista (Calefa Oy)

Calefa Oy:n absorptiolämpöpumput	Tekniset tiedot
Käyttöenergia	Höyry 1...9 bar Kuuma vesi +65...+150 °C Moottorien pakokaasut +250...+700 °C
Lämpötehot	100 kW...10 MW
Sähkönkulutus per	noin 5 kW sähköä / MW jäähdytystehoa
Absorptiojäähdyttimen tyypillinen COP	0,7...1,0 Jäähdytys +5...+20 °C
Absorptiolämpöpumpun tyypillinen COP	1,7...2,0 Lämmitys +40...+95 °C

3.2 Ylijäämälämmön muuttaminen sähköksi

Jos teollisuusyrityksillä ei ole omaa käyttöä matalalämpöiselle hukkalämmölle, myynti ulkopuolelle voi olla kannattamatonta tai jopa mahdotonta teollisuusyrityksen sijainnin takia. Tuottamalla sähköä ylijäämälämmöstä, yritys voi vähentää omaa riippuvuuttaan ostosähköstä ja parhaimmassa tapauksessa lisätä sähkönmyyntiään sähköverkkoon. Sähkön siirtäminen on huomattavasti tehokkaampaa kuin lämmön siirtäminen pitkiä matkoja.

Lupaavimmat menetelmät matalalämpöisen ylijäämälämmön hyödyntämisessä sähköntuotannossa ovat ORC ja tulevaisuudessa mahdollisesti myös termosähkögeneraattorit.

ORC (Organic Rankine Cycle) on kypsää ja kaupallista teknologiaa ja ORC-järjestelmiä on jo käytössä teollisuuden hukkalämmön hyödyntämisessä. ORC-järjestelmiä on saatavissa noin 10 kWe ja 50 MWe kokoluokassa ja voivat hyödyntää hukkalämpöä lämpötilaltaan noin 80 – 350 °C välillä, jolloin sähköntuotannon hyötysuhteet vaihtelevat noin 7–30 % välillä. Matalalämpöisen hukkalämmön hyödyntämisessä (< 100 °C) ORC:n hyötysuhde on tyypillisesti alle 10 %, jolloin ORC:n investointi on haastavaa saada kannattavaksi.

Taulukko 8 Esimerkkejä olemassa olevista suurista ORC-laitoksista ja niiden teknisistä tiedoista, tiedot valmistajan ilmoittamia tietoja (Turboden)

Valmistaja	Käyttöönotto	Lämmönlähde	Lämpönielu	Sähköteho	Sähköntuotannon hyötysuhde (netto)
Turboden	2014	315 °C Termistä öljyä	Jäähdytystorni	2*5,5 MW	25 %
Turboden	2005	285 °C Termistä öljyä	60–80 °C Vesi	0,5 MW	19,3 %
Turboden	2008	180 °C Lämmin vesi	Vesi/ilma	3 MW	16,5 %
Turboden	2014	200 °C Lämmin vesi	Vesi/ilma	2,7 MW	16,5 %
Turboden	2011	275 °C Termistä öljyä	Ilmajäähdytin	1,3 MW	20,6 %

Taulukko 9 Esimerkkejä pienistä ORC-laitteista, tiedot valmistajien ilmoittamia tietoja (Enogia ja Rank)

Valmistaja	Lämmönlähde	Lämpönielu	Sähköteho (netto)	Sähköntuotannon hyötysuhde
Enogia	90 °C	10–30 °C	100 kW	6–10 %
Rank	90–120 °C	20–40 °C	8–80 kW	6–8 %
Rank	120–150 °C	20–40 °C	13–90 kW	7–10 %
Rank	150–180 °C	20–40 °C	18–120 kW	8–11 %

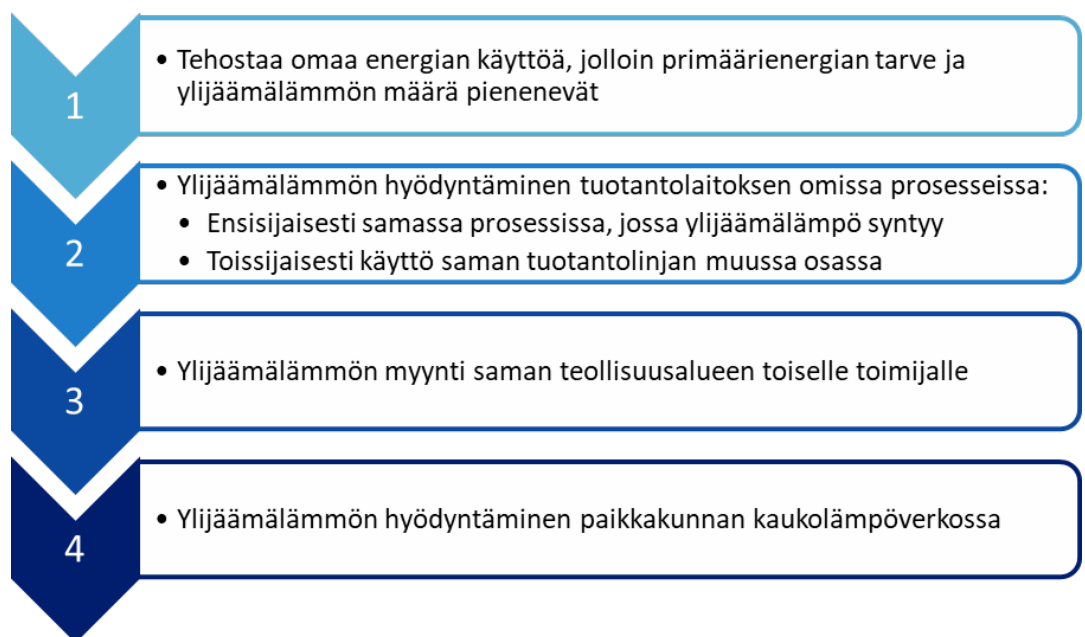
Termosähkö tai lämpösähköinen generaattori (TEG-generaattori) tuottaa sähköä suoraan kahden keskenään kosketuksissa olevan materiaalin lämpötilaeroista johtuen, eikä siinä ole liikkuvia osia niin kuin esim. ORC-laitteessa. TEG-generaattoreita on tyypillisesti saatavissa teholuokissa muutamista wateista satoihin watteihin. Termosähkön heikkous on sen matala hyötysuhde, joka tyypillisesti liikkuu 2–8 % suuruusluokassa, riippuen lämpötila-erosta ja puolijohdemateriaaleista. Uudemmat nanoteknologian tutkimukset osoittavat, että jopa 15 % ja sitä korkeammat hyötysuhteet ovat saavutettavissa ja TEG-valmistaja Tecteg ilmoittaa heidän laitteiden saavuttavan jo nyt jopa 12 % hyötysuhteita.

Taulukko 10 Esimerkkejä TEG-generaattoreista, tiedot valmistajien ilmoittamia tietoja
(Analog Technologies, EVERREDTRONICS ja Tecteg)

Valmistaja	Lämpötilaero	Sähköteho (laitevalikoima)	Hyötysuhde
Analog Technologies	100 °C	0,86–2,49 W	1,8–3,2 %
EVERREDtronics	110 °C	3–13 W	4,2–6,1 %
Tecteg	415 °C	1,3–30 W	Max 12 %

Ylijäämälämmön käyttömahdollisuudet

Ylijäämälämpöä tulisi hyödyntää mahdollisimman lähellä syntypaikkaansa, sillä mitä kauemmaksi lämpöä siirretään, sitä korkeammat ovat tyypillisesti investointikustannukset. Ylijäämälämmön käytön hierarkia olisi tässä tapauksessa:



Hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat mm.

- lämpötilatasot
- teho ja energia (pysyvyys, ajallinen vaihtelu)
- lämpövirran väliaine ja faasi (kaasu, höyry, neste, ilma jne.)
- väliaineen kemialliset ominaisuudet
- väliaineen puhtaus
- kysyntä

Yhdenkin tekijän ollessa riittävän epäsuotuisa, lämmön hyödyntäminen saattaa muuttua mahdottomaksi tai täysin kannattamattomaksi. Mikäli ylijäämälämmössä on suuri potentiaali, mutta sen hyödyntäminen todetaan kannattamattomaksi, on syytä selvittää, voitaisiinko jollain pienellä muutoksella esim. prosessin lämpötilatason muutoksella kokonaisuuden energiatehokkuutta ja kannattavuutta parantaa.

Hyödyt teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämisestä:

- Primäärienergian tarve laskee ja täten myös kokonaispäästöt vähenevät
- Säästöjä energiakustannuksissa tai lisätuloja energian myynnistä teollisuusyritykselle, alhaisemmat lämmön tuotantokustannukset kaukolämpöyrittäjälle ja täten edullisempaa kaukolämpöä kuluttajille
- Investointitarpeen väheneminen ostavalle osapuolelle (esim. kaukolämpöyrittäjälle)
- Uudet liiketoimintamahdollisuudet, esim. biopolttoaineiden kuivaus

4.1 Hyödyntäminen kohteessa

Taulukko 11 Teollisuuskohteen sisäiset hyödyntämismahdollisuudet sekundäärienergiana.

Prosessiin	Kiinteistöön	Jäähdytystarpeisiin
• Esim. kytkentämuutoksin, lämmönvaihtimen, lämpöpumpun, termokompressorin tai komprimoinnin avulla • Voidaan käyttää myös esim. yrityksen tarvitseman raaka-aineen tai polttoaineen kuivattamiseen • Yleensä pisin hyödyntämisaika ja paras ajallinen vaste	• Esim. kytkentämuutoksin tai lämpöpumpun avulla • Yleensä helppo toteuttaa • Ulkolämpötilariippuvuus rajoittaa hyödyntämisaikaa	• Absorptio- tai adsorptiolämpöpumpun avulla • Kaukojäähdytys tai suuremmat prosessiteollisuuden laitokset • COP 0,5-1,6 / Lämpötilavaatimus 60-200 °C

Teollisuusyritysten kannalta hukkalämpöjen hyödyntäminen voi olla haasteellista ja investointipäätökset vaativat yritysjohtolta rohkeutta:

- Teollisuusprosessit ovat usein mutkikkaita ja on iso kynnys lähteä muuttamaan niitä
- Tarvittavat investoinnit voivat olla isoja ja takaisinmaksuajat osalle yrityksistä liian pitkiä
- Sisäinen kilpailu investoinneista: investoinnit kohdistuvat yleensä teollisuusyrityksen ydinliiketoimintaan ja kasvuinvestointeihin, johon energiantuotanto harvoin kuuluu. Tehokkuusinvestointeja mietittäessä hukkalämmön hyödyntämien voi tulla kyseeseen

- Isot lämpöpumput voivat vaatia suuria investointeja myös sähköverkkoon ja sähköliityntöihin, mikä voi kasvattaa investoinnin suuruutta huomattavasti
- Tietoisuus ylijäämälämmön olemassaolosta ja luonteesta

4.2 Myynti ulkopuolelle

Tehdasalueen ulkopuoliset hyödyntämismahdollisuudet eli lämmön myynti:

- **Paikalliselle energiayhtiölle** kaukolämpönä
 - Potentiaali kasvaa tulevaisuudessa, kun kaukolämpöverkot vähitellen avataan ulkopuolisille toimijoille, esim. Fortum avasi Espoon kaukolämpöverkon kaikenlaiselle lämmöntuotannolle vuonna 2018 (Energiautiset, 2018).
- **Lähialueen yrityksille**
- Perustettavaan **uuteen yritystoimintaan** esim. biopolttoaineen kuivaus

Suurissa teollisuuspuistoissa/-keskittymissä energiantuotanto on nykyään usein keskitettyä ja energiaa myydään alueen muille toimijoille, samalla kun muiden toimijoiden mahdolliset tuotannon sivuvirrat hyödynnetään polttoaineena energiantuotannossa. Yritysten hukkalämpöjen hyödyntämisessä sen sijaan on vielä paljon potentiaalia.

Porvoon Kilpilahdessa esimerkiksi yhteisyritys KPP huolehtii alueen energiantuotannosta ja uuden laitoksen myötä polttoaineina tullaan entistä enemmän käyttämään alueen yritysten sivuvirtoja polttoaineena, esim. asfalteenia Nestein jalostamolta ja prosessikaasuja Borealikesen petrokemian- ja muovitehtaalta. Myös Kilpilahden hukkalämmön hyödyntämistä selvitetään parhaillaan.

Naantalissa taas Turun Seudun Energiatuotanto (TSE) hyödyntää Nestein Naantalin jalostamon prosessikaasuja energiantuotannossa, ja vastaavasti TSE myy Nesteelle prosessihöyryä. Myös Naantalissa selvitetään Nestein hukkalämmön hyödyntämistä TSE:n kaukolämpötuotannossa.

Ylijäämälämmön hyödyntämisen haasteiksi voi muodostua seuraavat asiat, kun ylijäämälämpöä myydään ulkopuolelle:

Tekniset haasteet:

- Myyjän hukkalämmön lähde, lämpötilatasot, huipputeho, energiamäärä, pysyvyys, toimitusvarmuus ja rajoitteet
- Ostajan lämmöntarve ja -vastaanottokyky, lämpötilatasot, huipputeho, energiamäärä, pysyvyys ja rajoitteet
- Lämmön jakelu asiakkaalle (lämpötila- ja painetasot, virtaamat)

Taloudelliset ja sopimustekniset haasteet:

- **Kustannukset:** Investointikustannusten jako, tariffi (perus- tai tehomaksut, energiamaksu), lunastus- ja irtisanomiskustannukset
- **Sopimuskauti:** pituus, sopimuksen siirto, irtisanominen
- **Sopimusehtojen muuttaminen**
- Sanktiot **sopimusrikkomuksista**
- Toimitusvarmuus

- Käyttö-, huolto- ja kunnossapito, vastuurajat

4.3 Ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa

Edellytykset hukkalämmön hyödyntämiseksi kaukolämpöverkossa:

- **Tekniset edellytykset:** ostettavan hukkalämmön tulee olla saatavilla kaukolämpöverkkoihin sopivalla paineella ja sopivassa lämpötilassa
- **Taloudelliset edellytykset:** hukkalämmön kerääminen edellyttää riittävää volyymiä, että sen käyttämisen vaatimat investoinnit olisivat mahdollisia. Lisäksi lämmön siirtoetäisyydet tulevat olla kohtuullisen lyhyet.

Riippuen hukkalämmön lämpötilasta, lämpöä voidaan siirtää kaukolämpöverkkoon suoraan lämmönvaihtimella joko

- kaukolämpöputken menopuolelle (hukkalämmön lämpötila vähintään noin 80 °C kesällä ja 100 °C talvella)
- tai kaukolämpöputken paluupuolelle (hukkalämmön lämpötila vähintään noin 60 °C)

Matalalämpöisen hukkalämpöjen hyödyntämiseksi kaukolämmöntuotannossa joudutaan turvautumaan lämpöpumppujen varaan, jolloin jopa alle 10 °C hukkalämpöjä voidaan hyödyntää kaukolämmöntuotannossa.

Lämpöpumppuja käytetään kaukolämmöntuotannossa jo useammassa kaupungissa ja uusia lämpöpumppulaitoksia on suunnitteilla. Tällä hetkellä kaukolämmöntuotannossa lämpöpumpuilla otetaan tyypillisesti talteen joko jäteveden lämpö tai datakeskusten ylijäämälämpö. Muun muassa seuraavissa kaukolämpöverkoissa on jo olemassa olevia suuria lämpöpumppuja käytössä:

Taulukko 12 Esimerkkejä Suomessa kaukolämmöntuotannossa käytettävistä suurista lämpöpumppulaitoksista (Valor Oy & Energiateollisuus, 2016, ja Tivi, 2018)

Kaupunki	Toimija ja laitos	Lämmönlähde	Lämpöteho	Jäähdytysteho
Helsinki	Helen, Katri Valan lämpöpumppulaitos	Puhdistettu jätevesi ja kaukojäähdytyksen paluuvesi	5*18 MW	5*12 MW
Espoo	Fortum, Suomenojan lämpöpumppulaitos	Puhdistettu jätevesi	2*20 MW	2*7,5 MW
Turku	TSE, Kakolan lämpöpumppulaitos	Puhdistettu jätevesi	2*20 MW	2*14 MW
Helsinki (Espoon kaukolämpöverkko)	Fortum: Telian Pitäjänmäen datakeskus	Datakeskus	Maks. 20 MW (suunniteltu)	-
Mäntsälä	Nivos Energia: Yandexin datakeskus	Datakeskus	n. 6 MW	-

Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämistä lämpöpumpuilla kaukolämmön tuotannossa selvitetään parhaillaan useamman eri tahdon toimesta. Esimerkiksi Neste, Borealis ja pääkaupunkiseudun energiayhtiöt ovat vuosien 2018 ja 2019 aikana selvittäneet Kilpilahdessa Nesteen ja Borealoksen laitoksilta muodostuvan hukkalämmön käyttömahdollisuuksista kaukolämpönä pääkaupunkiseudulla ja Porvoon alueella.

Esiselvityksen tulokset:

- Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa on teknisesti toteutettavissa ja Kilpilahden hukkalämpö voisi kattaa noin neljänneksen pääkaupunkiseudun kaukolämmön tarpeesta
- Lämmöntuotannon kustannuksiin ja hankkeen kannattavuuteen vaikuttavat merkittävästi tarvittavien investointien kokoluokka, lämpöpumppujen käyttämän sähkön hinta ja sähköveron suuruus
 - Tällä hetkellä kaukolämpöjärjestelmään kytketyt hukkalämpöä hyödyntävät lämpöpumput ovat korkeimmassa sähköveroluokassa, mikä nostaa hukkalämmöllä tuotetun kaukolämmön hintaa merkittävästi
- Hanke olisi toteutuessaan rakennustöiltään laaja, ja lämmöntoimitukset voisivat alkaa esiselvityksen arvion mukaan aikaisintaan vuonna 2025. (Neste, 2019)

Myös Neste ja TSE selvittävät parhaillaan Naantalin jalostamon hukkalämmön hyödyntämistä Turun kaukolämpöverkossa. Alustavien arvioiden mukaan jalostamon hukkalämmöllä voitaisiin kattaa satojen kerrostalojen lämmön tarve. Hukkalämpöjen hyödyntämisestä tehdään esisuunnittelu vuoden 2019 aikana ja mahdollinen investointipäätös vuoden 2020 aikana. Käytännössä hukkalämmön hyödyntäminen voisi alkaa aikaisintaan vuoden 2022 syksyllä. (Aamuset, 2019)

Riskit, haasteet ja mahdollisuudet teollisuuden ja kaukolämpöyritysten (KL-yritysten) välisessä hukkalämmön myynissä:

- **Toimitusvarmuus:**
 - Kaukolämpöyritys haluaa ostaa ennustettavaa lämpöä, mutta hukkalämpöä tarjolla vain silloin kun tehdas pyörii, jonka takia KL-yritys joutuu ylläpitämään riittävä määrä omaa varakapasiteettia.
 - Riski, että teollisuusyritys lakkautetaan, jolloin lämmöntuotanto päättyy. Teollisuuslaitos voidaan ajaa nopeallakin aikataululla alas, jolloin korvaavaa kapasiteettia voi olla haastavaa rakentaa.
 - Voidaan osittain ratkaista sopimusteknisin keinoin: esim. sopimuksessa myyjällä ei ole toimitusvelvollisuutta eikä ostajalla ole ostovelvollisuutta, jolloin kaupat syntyvät sovitulla hinnalla silloin, kun se on kummankin osapuolen tarpeiden mukaista.
- **Ajallinen vaste:** Kesäajan matala lämmöntarve (sopimustekninen asia)
 - Tämä voidaan ainakin osittain ratkaista lämmön varastoinnilla (perinteinen lämpöakku tai kallioon louhittavat kausivarastot). Lämmön varastoinnin

merkitys kasvanee myös tulevaisuudessa, kun lämpöpumput yleistyvät kaukolämmöntuotannossa samalla kun sähkön hinnan vaihtelut kasvavat uusiutuvien sähköntuotantomuotojen (tuuli- ja aurinkovoima) osuus sähköjärjestelmässä kasvaa.

- Lisääntyvä kaukojäähdytystarve.
- **Lämmönlähteen ominaisuudet ja sijainti** kaukolämpöverkkoon nähden
 - Suomessa suurin potentiaali on metsäteollisuuden hukkalämmön hyödyntämisessä, mutta metsäteollisuuden tuotantolaitokset sijaitsevat pääasiassa metsävarantojen läheisyydessä ja kaukana suurista kaukolämpöverkoista, eikä ole kannattavaa siirtää lämpöä pitkiä matkoja.
 - Ylijäämälämmön alkuperä: Ylijäämälämmön puhtaudesta (uusiutuvaa vai fossiilista) ja päästöttömyydestä voi kiistellä, jos ylijäämälämpö on peräisin teollisuudesta, joka käyttää fossiilisia polttoaineita ja raaka-aineita (esim. öljynjalostus), ja yhdistettynä lämpöpumppujen mahdollisesti fossiilisen sähkön alkuperän kanssa. Tällaisen ylijäämälämmön hyödyntäminen voi haitata KL-yrityksen imagoa.
- **Kaukolämpöyrityksen oma tuotanto** ja marginaalilämmön hinta:
 - Jos kaukolämpöyrityksellä on riittävästi omaa tuotantoa, sillä ei välttämättä ole halukkuutta lähteä tällaiseen järjestelyyn, ellei hinta ole tarpeeksi alhainen.
 - Jos KL-yrityksellä on savukaasujen lämmön talteenottojärjestelmä omassa tuotantoyksikössään, sillä ei välttämättä ole halukkuutta vastaanottaa matalalämpöistä hukkalämpöä kaukolämpöverkon paluupuolelle, sillä se vähentää savukaasujen lämmöntalteenotto-kapasiteettia.
 - Hukkalämmön ostaminen ja vastaanottaminen vaikuttaa myös CHP-laitosten käyttöön, mikä voi vähentää erityisesti CHP-laitosten sähköntuotantoa.
- **Investoinnin kannattavuus**
 - Teollisuusyrityksillä ja kaukolämpöyrityksillä on perinteisesti ollut eri tuotto-vaatimukset investoinneille ja eri käsitys houkuttelevasta takaisinmaksuajasta – miten investointikustannukset jaetaan ja mikä hinta sekundäärilämmölle muodostuu.

Ylijäämälämpöjen teknistä potentiaalia on selvitetty runsaasti useampana vuotena ja samaa asiaa ei kannata selvittää kerta toisensa jälkeen uudestaan. Suuruusluokka-arvioiden tarkentaminen myös vaatii käytännössä aina kohdekohtaista työtä. Tarkempi ylijäämälämpöselvitys voisi keskittyä seuraaviin asioihin:

- Uuden hallituksen verolinjaukset ja niiden vaikutus lämpöpumppujen kannattavuuteen:
 - Kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavat lämpöpumput siirtyvät veroluokkaan II.
 - Teollisuuden energiaveron palautusjärjestelmä poistuu ja samalla veroluokan II taso siirretään kohti EU:n minimiä.
 - Näiden yhteisvaikutuksena lämpöpumppujen kilpailukyky paranee selkeästi ja tuotantokustannukset alittavat monessa tapauksessa hakkeen hinnan.
 - Käytännössä kaikki ennen verolinjausta tehdyt selvitykset olisi syytä päivittää uuteen tilanteeseen, kun verotuksen taso ja aikataulu varmistuu.
- Uuden liiketoiminnan synnyttäminen hukkalämmön lähteen ympärille. Energia-kiertotalous.
- Ylijäämälämmön hyödyntämisen oheishyötyjen selvittäminen teollisuudessa ja kaukolämpöliiketoiminnassa.
- Käytännön toimet hukkalämpöjen hyödyntämisen helpottamiseen:
 - Markkinointi ja tietoisuuden levittäminen
 - Katselmustoiminnan elvyttäminen
 - Kaukokylmä mahdollistaa sekä lämmön että kylmän myynnin ja parantaa huomattavasti lämpöpumppuinvestoinnin kannattavuutta
 - Investointituet uudelle teknologialle, esimerkiksi geoterminen lämpö
 - Valmiit sopimusmallit
- Sopimuskysymykset ja vakuutukset
 - Investointien siirtyminen nollahinnalla sopimuskauden lopussa
 - Kilpailutus
 - Kaukolämpöyhtiö ostaa kyllä hukkalämpöä, jos saa halvemmalla kuin marginaalipolttoaineella tuotettu lämpö, esim. Helen on julkaissut ostotariffin: <https://www.helen.fi/uutiset/2018/avoinkaukolampo/>. Todennäköisesti vastaavat mallit yleistyvät lähitulevaisuudessa ainakin suurempien kaupunkien kaukolämpöverkoissa.

Taulukko 13 Kaukolämmön vuodenaikojen mukaan vaihtelevat ostohinnat (Helen)

Kausi	Ajanjakso	Ostohinta €/MWh, alv 0 %	Hintakerroin kaukolämmön energiamaksusta
Kesä	1.5.-30.9.2019	11,94	40 %
Kevät	1.3.-30.4.2019	28,72	50 %
Talvi	1.1.-28.2.2019	41,55	70 %
Syksy	1.10.-31.12.2018	30,60	55 %

- Toimitusvarmuus teollisuuskohteista peruskuormaksi voidaan hoitaa ajan myötä laskevalla sakkopykälällä, joka on reilu kummallekin osapuolelle.
- Vakuutustuote ylijäämälämmön saatavuuden varmistamiseksi
 - Vakuutusyhtiöiden tarjoama vakuutus, joka vähentäisi kaukolämpöyrittäjän riskiä investoida teollisuuden ylijäämälämmön hyötykäyttöön.
 - Vakuutus sen varalle, että teollisuuslaitoksesta saatava ylijäämälämpö loppuu kokonaan, esim. jos teollisuuslaitos lakkautetaan, tai että ylijäämälämmön laatu ja määrä alenee huomattavasti alkuperäisestä, esim. muutokset teollisuuslaitoksen prosesseissa ja teollisuuslaitoksen sisäisen energiatehokkuuden parantuminen.
- Mitä hukkalämpöjen potentiaalille tapahtuu ajan kuluessa:
 - Tekniikan kehityksen myötä
 - Sähköistymisen vaikutus
 - Matalalämpötilajärjestelmät kaukolämmössä
 - Merkittävimmät teknologiat ja potentiaalit hukkalämpöjen syntymisen vähentämiseksi.

Lähteet

Aamuset. (2019) Neste ja TSE selvittävät mahdollisuuksia Naantalin jalostamon hukkalämpöjen hyödyntämiseen. [verkkajulkaisu]. Viitattu 13.8.2019.

<https://aamuset.fi/uutiset/4599013/Neste+ja+TSE+selvittavat+mahdollisuuksia+Naantalin+jalostamon+hukkalampojen+hyodyntamiseen>

Analog Technologies. (2014) TEG Modules. [verkkajulkaisu]. Viitattu 14.8.2019.

<http://www.analogtechnologies.com/document/TEG.pdf>

Calefa Oy. Teknologiat. [verkkosivu]. Viitattu 6.8.2019. <http://www.calefa.fi/fi/palvelut/teknologiat/>

Energiateollisuus ry. (2019) Energiavuosi 2018 Kaukolämpö. [verkkajulkaisu]. Viitattu 27.6.2019. https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energia-vuosi_2018_-_kaukolampo.html

Energiauutiset. (2018) Fortum avaa kaukolämpöverkot, Hukkalämpöjä ostetaan — kaikki käy. [verkkajulkaisu]. Viitattu 28.6.2019. <https://www.energiuutiset.fi/uutiset/hukkalampo-ja-ostetaan-e2-80-94-kaikki-kay.html>

Enogia. (N.A.). Datasheet: Enogia's ENO-100LT ORC system fact sheet. [verkkajulkaisu]. Viitattu 12.8.2019. <http://enogia.com/docs/datasheets/datasheet-ENO100LT.pdf>

EU2018/2001. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi (uudelleenlaadittu). [verkkajulkaisu]. Viitattu 28.6.2019. <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

EVERREDtronics. Thermoelectric Generator/ Seebeck generator-TEG Modules. [verkkosivu]. Viitattu 14.8.2019. <http://www.everredtronics.com/TEG.html>

Neste. (2019) Kilpilahden hukkalämpö voisi kattaa noin neljänneksen pääkaupunkiseudun kaukolämmön tarpeesta. [verkkotiedote]. Viitattu 13.8.2019. <https://www.neste.com/fi/tiedotteet-ja-uutiset/circular-economy/kilpilahden-hukkalampo-voisi-kattaa-noin-neljanneksen-paakaupunkiseudun-kaukolammon-tarpeesta>

Rank. (N.A.). ORC-Products. [verkkosivu]. Viitattu 12.8.2019. <https://www.rank-orc.com/products/>

Salminen, A. (2011) Jäteveden lämmön hyötykäyttö - uusiutuvan energian käyttöä vai energiansäästöä., Vesitalous 4/2011, s. 18-23. [verkkojulkaisu]. Viitattu 7.8.2019. <https://vesitalous.mobie.fi/wp-content/uploads/2013/05/Vesitalous-4-2011-n%c3%a4ytt%c3%b6.pdf>

TECTEG MFR. PbTe/TAGS. [verkkosivu]. Viitattu 14.8.2019. <https://tecteg.com/pbtags-400c-600c-high-efficiency-up-to-12-teg-modules/>

Tilastokeskus. (2018) Tilastokeskuksen PxWeb-tietokannat. Teollisuuden energiankäyttö toimialoittain (TOL 2008). [verkkojulkaisu]. Viitattu 27.6.2019. http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_tene/stat-fin_tene_pxt_001.fi.px/

Tivi. (2018) Telia avasi jättimäisen datakeskuksen Helsingin Pitäjänmäelle. [verkkojulkaisu]. Viitattu 8.8.2019. <https://www.tivi.fi/uutiset/telia-avasi-jattimaisen-datakeskuksen-helsingin-pitajanmaelle/9e163d70-6e46-3688-96e0-bcb3747a7ecb>

Turboden. (N.A.). Turboden Waste to Energy ORC Solutions. [verkkojulkaisu]. Viitattu 12.8.2019. https://www.all-energy.co.uk/RXUK/RXUK_All-Energy/2016/Presentations%202016%20Day%202/Energy%20from%20Waste/Alessandro%20Bertacchini%20FOR%20WEB.pdf?v=635996062323156883

YIT, Energiateollisuus ry & Työ- ja elinkeinoministeriö. (2010) Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä.

Yle. (2019) Liimatehdas valjasti hukkalämmön hyötykäyttöön: Päästöt putosivat ja energialasku pieneni 100 000 euroa vuodessa. [verkkojulkaisu]. Viitattu 6.8.2019. <https://yle.fi/uutiset/3-10800350>

Valor Oy & Energiateollisuus. (2016). Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. [verkkojulkaisu]. Viitattu 27.6.2019. https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf

Waste heat. (2019) Waste heat technologies. [verkkosivu]. Viitattu 27.6.2019. <https://www.waste-heat.eu/about-waste-heat/waste-heat-technologies>

Kannen kuva: istock

