



Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä

Kirjoittajat: Miika Rämä, Krzysztof Klobut

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Mirja Tiitinen Energiateollisuus ry Eteläranta 10 00130 Helsinki		Asiakkaan viite VTT-CRM-166324-19
Outi Vilén Työ- ja elinkeinoministeriö PL 32 00023 VALTIONEUVOSTO		
Projektin nimi Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä		Projektin numero/lyhytnimi Hukkalämpö
Tiivistelmä <p>Työssä käytiin läpi energiatehokkuusdirektiivin ja uusiutuvan energian direktiivin asettama määritelmällinen viitekehys kaukolämmön lämmönlähteiden hyödyntämiselle. Pääpaino työssä on hukkalämmönlähteissä, mutta lämmönlähteitä on myös käyty läpi laajemmin.</p> <p>Raportti koostuu direktiivien esittelystä, hukkalämmönlähteiden (ja näihin rinnastettavien lämmönlähteiden) kuvauksesta ja luokittelusta, projektin ohjausryhmän kanssa valittujen erikoistapausten analyysistä sekä yhteenvedosta.</p> <p>Lämmitys- ja jäähdytyssektorin suhteen direktiivien määritelmät ovat usein monitulkintaisia ja epäselviä ja niitä tullaan tarkentamaan vuoden 2021 loppuun mennessä. Raportissa on pyritty tuomaan esille direktiivin määritelmät sellaisena kuin ne alkuperäisessä muodossaan on esitetty, mutta myös kuvaamaan laajemmin niiden käsittelemien lämmönlähteiden tilannetta suomalaisesta näkökulmasta. Vaikka direktiivit jättävät ilmaan avoimia kysymyksiä, pääviesti on selvä; uusiutuvien lämmönlähteiden ja hukkalämmönlähteiden hyödyntämistä pyritään edistämään. Määritelmät kuitenkin vaikuttavat raportointiin ja tilastointiin, joten maakohtaisten tavoitteiden suhteen niillä on merkitystä.</p> <p>Lämmönlähteet on ryhmitelty työssä alkuperän mukaisesti; lämmönlähteet rakennuksissa, kylmälaitteiden lauhdelämpö, julkiset kohteet, teollisuus ja energiateollisuus. Kunkin ryhmän sisällä on kuvattu joukko lämmönlähteitä sekä arvioitu näiden lämpötilataso, saatavuus ja säädettävyyys.</p> <p>Erikoistapauksiksi valikoituvat yhteistuotanto ja savukaasujen lämmöntalteenotto, jätteenpolto, lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä sekä teollisuuden hukkalämmöt.</p>		
Helsinki 13.5.2020 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Miika Rämä Tutkimustiimin päällikkö	Tiina Koljonen Tutkimustiimin päällikkö	Tuula Mäkinen Tutkimusalueen päällikkö
VTT:n yhteystiedot Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT.		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Energiateollisuus ry, Työ- ja elinkeinoministeriö, VTT.		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
1. Johdanto.....	3
2. Direktiivien määrittelyt.....	5
2.1 Yhteenveto direktiiveistä	5
2.2 Sisältö ja määritelmät suomalaisesta näkökulmasta	7
3. Hukkalämmönlähteiden kuvaus ja luokittelu.....	10
3.1 Lämmönlähteet rakennuksissa	11
3.2 Kylmälaitteiden lauhdelämpö	12
3.3 Julkiset kohteet.....	13
3.4 Teollisuus	13
3.5 Energiateollisuus	14
3.6 Hukkalämmön hyödyntämisen energiavirrat	16
4. Valittujen erikoistapausten tarkempi analyysi.....	17
4.1 Yhteistuotanto ja savukaasujen lämmöntalteenotto	17
4.2 Jätteenpoltto	20
4.3 Lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä	20
4.4 Teollisuuden hukkalämmöt	22
5. Yhteenveto.....	24
Lähdeviitteet.....	26
Liite A : Lämmönlähteiden kokoomataulukko.....	28

1. Johdanto

Projektin tavoitteena oli kartoittaa kaukolämmön tuotannossa potentiaalisesti hyödynnettäviä hukkalämmönlähteitä ja luoda yhtenäinen termistö lainsäädännön ja tilastoinnin pohjaksi.

Kytkeä kaukolämpöjärjestelmiin on sekä energiatehokkuusdirektiivin (EED) että uusiutuvan energian direktiivien (RED, RED2) näkökulmasta oleellinen määritelmä:

'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.

Direktiivien sekä Euroopan Unionin ja Suomen kansallisen ilmastopolitiikan taustalla ovat tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. Tästä johtuen raportissa käsitellään myös hukkalämmönlähteiksi laajemmin rinnastettavissa olevia lämmönlähteitä, määritelmän sijaan työtä rajaavat siis enemmän potentiaaliset hukkalämmönlähteet itse. Osa näistä lämmönlähteistä lukeutuvat direktiivien mukaan uusiutuviksi.

Direktiivien sisältö lämmitys- ja jäähdytyssektoria koskien on ylipäätään paikoin monitulkintainen tai vähintään avoin. Direktiivien sisältö käydään tarkemmin läpi luvussa 2.

Työn pääpaino on hukkalämmönlähteiden tunnistamisella, niiden sanallisella ja teknisellä kuvauksella sekä tarkoituksen mukaisella luokittelulla (luku 3). Tällä luodaan pohjaa myöhemmin tehtävään kokonaispotentiaalinen arviointiin. Osana työtä kuvataan muutamia erikoistapauksia (luku 4) liittyen yhteistuotannon asemaan ja jätteenpolttoon, lämpöpumppeihin kaukolämpöjärjestelmässä sekä teollisuuden hukkalämpöihin. Raportin sisältö on tiivistetty yhteenvedoksi luvussa 5.

Työn ulkopuolelle jäävät selkeästi uusiutuvaksi energiaksi luokiteltavat luonnon ja ympäristön lämmönlähteet kuten geoterminen energia.

Hukka- ja ylijäämälämpöjen hyödyntämistä on selvitetty vuosien varrella eri toimijoiden puolesta useaan kertaan. Taulukkoon 1 on koottu näiden selvitysten pääsisältöä.

Taulukko 1. Hukka- ja ylijäämälämmön hyödyntämistä käsitteleviä aiempia selvityksiä.

Selvitys	Toteuttaja	Pääsisältö
Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä (YIT Teollisuus ja Verkkopalvelut Oy, 2010)	YIT Teollisuus ja verkkopalvelut Oy	Selvityksessä käydään läpi kattavasti eri teollisuudenalojen hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuudet. Eri teollisuudenalojen erot on tuotu esiin ja myös kaukolämmön siirtolämpötilan vaikutus on pohdittu.
Ylijäämälämmön hyödyntäminen (Motiva, 2014a)	Motiva Oy	YLIMINI -projektin ylijäämäenergia-analyysien perusteella syntyneessä raportissa esitetään menettelytapoja ylijäämälämmön hyödyntämiseksi, uuden teknologian mahdollisuuksia, ylijäämälämmön myynnin ja oston ohjeita sekä esimerkkejä olemassa olevasta yhteistyöstä.
Tuotannon hukkalämpö hyödyksi (Motiva, 2014b)	Motiva Oy	YLIMINI -projektin kokonaistiivistelmä.
Lämmön pientuotannon ja pienimuotoisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa (Bröckl et al., 2014)	Gaia Consulting Oy	Selvitys asiakkaiden ja kaukolämpörytysten kiinnostuksesta lämmön pientuotantoa sekä ylijäämälämmön myyntiä ja ostoa kohtaan, keskittyen lämmön pientuotantoon ja pienimuotoiseen ylijäämälämpöön (<5 MW).
Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä (Sirola and Tiitinen, 2018)	Energiateollisuus ry	Ohje kaukolämpöyhtiöille ja -asiakkaille hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuuksista.
Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa (Pöry Finland Oy, 2019)	Pöry Finland Oy	Esiselvitys teollisuuden ylijäämälämpöjen tehokkaammasta hyödyntämisestä, potentiaalikartoituksesta ja hyödyntämisen toteuttamisesta.

2. Direktiivien määrittelyt

Luvussa käydään läpi energiatehokkuus- (European Commission, 2012) ja uusiutuvan energian (European Commission, 2018) direktiivien sisältö soveltuvin osin, päivitykset sekä Komission suositukset sekä jäsenmaiden yhteisiin toimiin (concerted action) liittyvät tulkinnat direktiivistä. Luvussa 2.1 esitetään käytettävissä oleva materiaali ja luvussa 2.2 on kirjoitettu auki niiden pääsisältö suomalaisen lämmitys- ja jäähdytyssektorin näkökulmasta.

2.1 Yhteenveto direktiiveistä

Projektissa läpikäytyt dokumentit ovat direktiivien viimeisiä versioita ja niihin liittyvät tärkeimmät muut dokumentit, (Taulukko 2).

Taulukko 2. Direktiivit ja niihin liitetyt viralliset dokumentit.

RED2 Directive 2018/2001 (recast)	EED directive 2018/2002 Amending Directive 2012/27/EU
Direktiivin teksti https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG	Direktiivin teksti (consolidated) https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02012L0027-20190612
	Delegated regulation (EU) 2019/826 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32019R0826
	Commission recommendation (EU) 2019/1659 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2019.275.01.0094.01.ENG&toc=OJ:L:2019:275:TOC

Direktiivin 2012/27 / EU (energiatehokkuusdirektiivi - EED) artiklan 14 kohdissa 1 ja 3 vaaditaan kunkin jäsenvaltion suorittamaan ja toimittamaan komissiolle kattava arvio energiatehokkuuden potentiaalista lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Arvioinnin täytyy sisältää kaikki EED:n liitteessä VIII mainitut osat.

Arviointien valmistelun sujuvoittamiseksi komissio julkaisi (EED:n artiklan 22 ja 23 pohjustuksella) delegoitu asetus (EU) 2019/826¹, jolla mm. muutetaan liitettä VIII.

Lisäksi komissio on julkaissut suosituksen (EU) 2019/1659² (jolla korvataan aiemmat ohjeet), jonka tarkoituksena on selittää uudet vaatimukset ja helpottaa liitteen VIII säännösten johdonmukaista soveltamista käytännössä. Jäsenvaltioiden tulisi noudattaa tämän suosituksen ohjeita suorittaessaan kattavia arviointeja EED:n 14 artiklan vaatimuksesta.

EED: n ja RED II: n yhteydet kattavan lämmityksen ja jäähdytyksen arvioinnin kontekstissa voidaan kuvata seuraavasti:

- Arviointi vaaditaan joka viides vuosi. Lähin on määrä suorittaa ja raportoida 31. joulukuuta 2020 mennessä - EED:n Artikla 14 (1)-(4)
- Arvioinnin sisältö ja menetelmä on määritelty liitteissä VIII ja IX, sellaisena kuin se on muutettu komission delegoidulla asetuksella ((EU) 2019/826 päivätty 4. maaliskuuta

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32019R0826>

² https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2019.275.01.0094.01.ENG&toc=OJ:L:2019:275:TOC

2019) ja selitetty komission suosituksessa ((EU) 2019/6625 päivätty 25. syyskuuta 2019) (kts. Taulukko 2)

- Lähimmässä arvioinnissa oltava mukana lämmityksen / jäähdytyksen osana uusiutuvien energialähteiden ja hukkalämmön- / kylmän potentiaalien arviointi - REDII Artikla 15 (7)
- RED II käyttää EED:n määritelmää käsitteistä tehokas kaukolämpö ja -jäähdytys, sekä tehokas yhteistuotanto (CHP) (kts. Taulukko 4).
- Yhteenvedo määritelmistä esitetään Taulukoissa 3 ja 4.

Kuten Taulukko 3 kiteyttää, jäsenmaiden välisessä keskustelussa (*concerted actions, CA, yhteiset toimet*) RED2-direktiivien kontekstissa "hukkalämmön" tunnusmerkki on sen hyödyntäminen kaukolämpö- tai kaukojäähdytysjärjestelmien välityksellä. CA-keskustelun sisältö ei ole sama asia kuin direktiivin virallinen tulkinta vaan tapa parhaiden käytäntöjen löytämiseksi kullekin jäsenmaalle kansallisen toteutuksen tueksi.

Taulukko 3. Yhteenvedo keskusteluista koskien "hukkalämpö"-termin määritelmää direktiiveissä (Joint Concerted Actions, 2020)

<p>Definition of waste heat - RED II Art.2(9)</p> <p>„Waste heat and cold means unavoidable heat or cold generated as a by-product in industrial or power generation installations or in the tertiary sector, which would be dissipated unused in air or water without access to a district heating or cooling system, where a cogeneration process has been used or will be used or where cogeneration is not feasible.“</p>	<p>Key elements of the definition</p> <ul style="list-style-type: none"> ❑ Unavoidable – all other feasible energy efficiency options have been exhausted to reduce waste heat/cold, including cogeneration. The technical and economic feasibility to apply these energy efficiency options has to be analysed. Cost-benefit analysis for CHP feasibility for power, industrial and district heating installation > 20 MW is mandatory (EED Art.14) ❑ By-product – waste heat/cold has not been produced intentionally; it is not the goal of the energy producer ❑ Only recognised under RED II, if utilised via a district heating/cooling systems
<p>Waste heat/cold under REDII</p> <ul style="list-style-type: none"> ❑ Waste heat/cold does not count as renewable for the purposes of the EU RES target or national RES contributions ❑ It is equivalent with RES under <i>Art. 23 and Art.24</i> and can count towards the HC target up to 40% of the 1,3% point annual average increase and to the DHC target up to 100% of the 1% point annual average increase ❑ It does not count as RES in the context of minimum RES levels in buildings (Art. 15(4)), even if it can be delivered through DHC networks together with RES 	<p>Waste heat/cold under EED</p> <ul style="list-style-type: none"> ❑ Waste heat/cold use is promoted through <ul style="list-style-type: none"> • the comprehensive national Heating and Cooling Assessments - Art. 14(1)-(5) • the obligation to assess via CBA the CHP & waste heat recovery potential of power, industrial and DHC installations for the purposes of issuing an authorisation - Art. 14(5)-(7) ❑ To promote efficient DHC, efficient individual HC and high-efficiency cogeneration ❑ Efficient DHC is defined as a DHC system using at least 50% RES, 50% waste heat, 75% cogenerated heat or a 50% of a combination of such energy and heat. – Art.2(41) of EED ❑ Waste heat/cold is not defined ❑ All kinds of waste heat use is encouraged, industrial, tertiary (e.g. ICT) and buildings, etc.

Taulukko 4. Yhteenvedo direktiivissä RED2 selostetuista valituista termeistä, ml. ristiviittaukset direktiiviin EED.

	Englanti	Suomi
§2 (9)	'waste heat and cold' means unavoidable heat or cold generated as by-product in industrial or power generation installations, or in the tertiary sector, which would be dissipated unused in air or water without access to a district heating or cooling system, where a cogeneration process has been used or will be used or where cogeneration is not feasible;	'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 (12)	'guarantee of origin' means an electronic document which has the sole function of providing evidence to a final customer that a given share or quantity of energy was produced from renewable sources;	'alkuperätakuulla' tarkoitetaan sähköistä asiakirjaa, joka toimii ainoastaan näyttönä loppukäyttäjälle siitä, että tietty energiaosuus tai -määrä on tuotettu uusiutuvista lähteistä;
§2 (13)	'residual energy mix' means the total annual energy mix for a Member State, excluding the share covered by cancelled guarantees of origin;	'jäännösjakaumalla' tarkoitetaan jäsenvaltion vuotuista energialähteiden kokonaisyhdistelmää, pois lukien peruutettujen alkuperätakuiden kattama osuus;
§2 (19)	'district heating' or 'district cooling' means the distribution of thermal energy in the form of steam, hot water or chilled liquids, from central or decentralised sources of production through a network to multiple buildings or sites, for the use of space or process heating or cooling;	'kaukolämmityksellä' tai 'kaukojäähdytyksellä' tarkoitetaan termisen energian jakelua höyryn, kuuman veden tai jäähdytetyn nesteen muodossa keskitetyistä tai hajautetuista tuotantolähteistä verkoston välityksellä useisiin rakennuksiin tai kohteisiin käytettäväksi lämmitykseen tai jäähdytykseen sisätiloissa tai prosesseissa;
§2 (20)	'efficient district heating and cooling' means efficient district heating and cooling as defined in point (41) of Article 2 of Directive 2012/27/EU (EED directive);	'tehokkaalla kaukolämmitys ja -jäähdytysjärjestelmällä' tarkoitetaan direktiivin 2012/27/EU [EED direktiivi] 2 artiklan 41 alakohdassa määriteltyä tehokasta kaukolämmitys- ja jäähdytysjärjestelmää;
§2(41)	EED2012§2(41) 'efficient district heating and cooling' means a district heating or cooling system using at least 50 % renewable energy, 50 % waste heat, 75 % cogenerated heat or 50 % of a combination of such energy and heat;	EED2012§2(41) 'tehokkaalla kaukolämmitys ja -jäähdytysjärjestelmällä' kaukolämmitys- tai jäähdytysjärjestelmää, jossa käytetään vähintään 50-prosenttisesti uusiutuvaa energiaa, 50-prosenttisesti hukkalämpöä, 75-prosenttisesti yhteistuotannosta saatavaa lämpöä tai 50-prosenttisesti tällaisen energian ja lämmön yhdistelmää;
§2 (21)	'high-efficiency cogeneration' means high-efficiency cogeneration as defined in point (34) of Article 2 of Directive 2012/27/EU;	'tehokkaalla yhteistuotannolla' tarkoitetaan direktiivin 2012/27/EU 2 artiklan 34 alakohdassa määriteltyä tehokasta yhteistuotantoa;
§2(34)	EED2012§2(34) 'high-efficiency cogeneration' means cogeneration meeting the criteria laid down in Annex II; (contains formula; must use at least 10 % less primary energy compared with the references for separate production of heat and electricity)	EED2012§2(34)'tehokkaalla yhteistuotannolla' liitteessä II asetetut perusteet täyttävää yhteistuotantoa; (sisältää yhtälöä; laskettujen primäärienergian säästöjen on oltava vähintään 10 prosenttia verrattuna sähkön ja lämmön erillisen tuotannon viitearvoihin)

2.2 Sisältö ja määritelmät suomalaisesta näkökulmasta

Tässä kappaleessa esitetyt määritelmät perustuvat itse direktiivien sisältöön. Kutakin aihetta on lisäksi taustoitettu VTT:n asiantuntemukseen perustuen.

RED2-direktiivin mukaan (artikla 2, kohta 9) hukkalämmöllä tarkoitetaan määritelmän mukaan teollisuus- tai sähköntuotantolaitoksissa tai palvelualalla sivutuotteena väistämättä syntyvää lämpöä tai kylmää, joka katoaisi käyttämättömänä ilmaan tai veteen, jos sitä ei johdetaisi kaukolämmitys- tai jäähdytysjärjestelmään, jos on käytetty tai käytetään yhteistuotantoprosessia tai jos yhteistuotanto ei ole mahdollista.

Oleellinen kriteeri on siis sivutuotteena väistämättä syntyvän lämmön tai jäähdytyksen hyödyntäminen kaukolämpö- tai kaukojäähdytysjärjestelmässä tai yhteistuotannon lämmönlähteenä. Loppuosa määritelmästä on sen sijaan monitulkintainen ja epäselvä. Yksi vaihtoehto korkean lämpötilan hukkalämmön hyödyntämiselle on sen käyttö polttoaineen sijaan energialähteenä yhteistuotannolle. Tämä on mahdollista myös orgaanisen Rankine-prosessin (ORC) avulla matalammilla lämpötiloilla, mutta matalan sähköntuotannon hyötysuhteen takia se on teknistaloudellisesti kiinnostava vaihtoehto usein vain, jos kaukolämpökytkentä ei ole mahdollinen.

EED:tä koskevan komission suosituksen mukaan (liite IV, kohta 2) sivutuotteena syntynyt lämpö tai kylmä tarkoittaa, ettei energiaa ole tuotettu siksi että hukkalämpöä syntyisi, vaan jokin primäärinen käyttötarkoitus ohjaa tuotetun energian määrää. Väistämättä syntynyt hukkalämpö puolestaan tarkoittaa, ettei lämpöä hyödynnetä tai voitaisi hyödyntää kohteen sisäisesti.

EED:n artikla 14 (kohta 5, a-d) velvoittaa jäsenvaltiot varmistamaan, että uusille tai merkittävästi saneerattaville yli 20 MW sähköntuotantolaitoksille tehdään kustannushyötyanalyysi niiden toteutuksesta tehokkaana yhteistuotantona. Tämä käytännössä lauhdelaitoksia koskeva kohta ei ole oleellinen Suomen kannalta. Samassa kohdassa mainitaan myös tarve kustannushyötyanalyysille 1) teollisuuden yli 20 MW hukkalämpöpotentiaalin omaaville laitoksille, jotka ovat joko kaukolämpöverkon alueella tai joiden hukkalämmön lämpötilataso mahdollistaisi yhteistuotannon, ja 2) uusien, olemassa olevien tai merkittävästi saneerattujen kaukolämpöjärjestelmien läheisyydessä olevien potentiaalisten teollisuuden hukkalämmönlähteiden hyödyntämiselle, kun kaukolämpöjärjestelmän yhteenlaskettu kapasiteetti ylittää 20 MW. Samat velvoitteet pätevät myös hukkakylmälle. Direktiivin velvoitteeseen perustuvassa Valtioneuvoston asetuksessa (Valtioneuvosto, 2015) sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä teollisuuden ylijäämälämmön kustannus-hyötyanalyysistä esitetään 20 MW rajan lisäksi myös ylijäämälämmölle kriteeri lämpötilatason suhteen (80 °C).

Direktiivien mukainen hukkalämpö tarkoittaa siis lämpöä, joka on hyödynnetty itse kohteen ulkopuolella. Ensisijaisesti ylimääräinen lämpö tulisi hyödyntää sisäisesti, jolloin kyseessä on energiatehokkuustoimi. Tässä raportissa puhutaan yleisesti hukkalämmöstä, mutta tuodaan esille, mikäli sen hyödyntäminen paikallisesti on mahdollista. Yleensä paikallinen mahdollisuus hukkalämmön hyödyntämiseen vaihtelee.

Direktiivit jättävät asuinrakennukset sekä julkisen sektorin tilat mainitsematta potentiaalisina hukkalämmön lähteinä. Vaikka näitä ei direktiivien mukaisessa raportoinnissa voikaan ottaa huomioon, ne voidaan silti nähdä kansallisesti kaukolämmön potentiaalisina, järkevästi hyödynnettävinä lämmönlähteinä. Sinänsä direktiivien yleiset tavoitteet uusiutuvien ja hukkalämmönlähteiden tehokkaasta hyödyntämisestä sekä näiden luonne sivutuotteen omaisena ja väistämättä syntyvänä lämpönä tukevat hyödyntämistä.

Lämmönlähteenä rakennusten tapauksessa ovat ilmanvaihto (lämmin sisäilma) sekä harmaa vesi (viemäriin valuva käyttövesi). Molemmissa tapauksissa lämpötilataso on kaukolämpöjärjestelmän tarpeisiin nähden matala eli lähteiden hyödyntämiseen vaaditaan lämpöpumppu. Lämpöpumpun talteen ottama lämpö on ensisijaisesti tehokkaammin hyödynnettävissä rakennuksessa itsessään ja esim. poistoilmalämpöpumppu toimii etupäässä näin. Ajoittain ja erityisesti lämmityskauden ulkopuolella lämpöä olisi kuitenkin usein saatavilla. Lisäksi tulevaisuudessa yksittäisiä lämpöpumppuja saattaa olla järkevää ajaa hetkittäin osana kaukolämmön tuotantoa rakennuksen lämmönkulutuksen ja rakenteisiin varastoituneen

lämmön sen salliessa. Tällä voidaan leikata kulutushuippuja tai hyödyntää sähkön hinnan muutoksia.

Jätevesi on RED2-direktiivissä määritelty (artikla 2, kohdat 1 ja 2) hukkalämmön sijaan uusiutuvaksi energiaksi (ympäristön energia). Jäteveden hyödyntäminen lämmönlähteenä voidaan toteuttaa keskitetysti (vedenpuhdistuslaitokset) tai rakennuskohtaisesti (lämmön talteenotto harmaasta vedestä). Ensimmäinen edustaa yhtä kaupunkialueen suurimmista pistelähteistä, mutta toinen on myös mahdollinen ja kiinnostava erityisesti suuremmissa kohteissa (esimerkiksi pesula, hotelli, kauppakeskukset ravintoloihin). Rakennus- tai kohdekohtainen harmaan veden lämmön hyödyntäminen on etupäässä energiatehokkuustoimi eli talteen otettu lämpö hyödynnetään paikallisesti, mutta voi myös toimia lämpöpumpun lämmönlähteenä kaukolämmön tuotannossa.

Uusiutuvia lämmönlähteitä hyödyntävien lämpöpumppujen tapauksessa RED2-direktiivi ohjeistaa laskemaan varsinaisen uusiutuvan osuuden siten, että lämpöpumpun sähkönkulutus vähennetään kokonaislämmöntuotannosta vuoden keskimääräisen lämpökertoimen avulla (RED2, Annex VII). Lisäksi lämpökertoimen tulee olla riittävän korkea, mutta tämä toteutunee teknistaloudellisen kannattavuuden kautta itsestään. Hukkalämpöä ei tässä yhteydessä mainita, joten sen suhteen laskentatapa on epäselvä. RED2-direktiivin Annex VII tullaan päivittämään vuoden 2021 loppuun mennessä (artikla 7, kohta 3).

Hukkalämpö on sitä käyttökelpoisempaa mitä korkeammassa lämpötilassa se on. Jos lämpö on suoraan hyödynnettävissä, se on luonnollisesti korkea-arvoisempaa kuin lämpöpumpun vaatima hukkalämmönlähde. Suomessa nykyisin yleisellä kaukolämmön menolämpötilatasolla (75-115 °C) lämpöpumpun jälkeen lämpötilaa joudutaan tapauskohtaisesti vielä nostamaan sähkövastuksin tai muilla lämmöntuotantotavoilla, mikäli matalampi lämpötilataso ei tasaudu järjestelmän muun tuotannon seurauksena. Tätä tilannetta direktiivit eivät tunnista. Lienee kuitenkin selvää, ettei lämpötilan nostoon käytettyä energiaa voida pitää hukkalämpönä. Mikäli lämpötilaan nostoon käytetään biomassan polttoon perustuvia vaihtoehtoja, lukeutuvat ne puolestaan uusiutuvaksi energiaksi.

EED:tä koskevassa Komission suosituksessa (kohta 2.1.1) tuodaan esille tarve sektorikohtaisen lämmön kulutuksen jakamisesta eri lämpötilatasoille, mahdollisuuksien mukaan. Tämä helpottaisi kustannushyötyanalyysin tekemistä erilaisille tuotantoteknologioille. Suosituksen kohdassa 4 (taulukko luvun lopussa) on esitetty viitteelliset lämpötilarajat eri lämpötilatasoille. Lämpötilatasoja määritellään myös RED2:ssa päästöjen allokoinnin yhteydessä, mutta muutoin lämmönlähteen käyttökelpoisuutta sen lämpötilatason mukaan ei käsitellä.

Hukkalämmön hyödyntäminen on sen lämpötilatasosta riippuen teknisen toteutuksen osalta niin erilaista, että sitä saattaa olla tarpeen käsitellä tarkemmin esim. tilastoinnin ja hukkalämmön hyödyntämisen kokonaispotentiaalin ymmärtämisen näkökulmasta. Hukkalämmön hyödyntäminen teknistaloudellinen potentiaali kaukolämpöjärjestelmässä riippuu lisäksi itse kaukolämpöjärjestelmän lämpötilatasosta, joka tyypillisesti vaihtelee ulkolämpötilan mukaan. Lisäksi odotettavissa on, että tulevaisuudessa lämpötilatasoa pyritään laskemaan, jotta uusiutuvaa lämpöä ja hukkalämpöä saataisiin paremmin hyödynnettyä. Nykytilanteessa selkein ja yksinkertaisin jako hukkalämmönlähteille lämpötilatason mukaan on 1) suoraan kaukolämmössä hyödynnettävä lämpö ja 2) lämpöpumpun ja/tai muun lisälämmönlähteen vaativa lämpö.

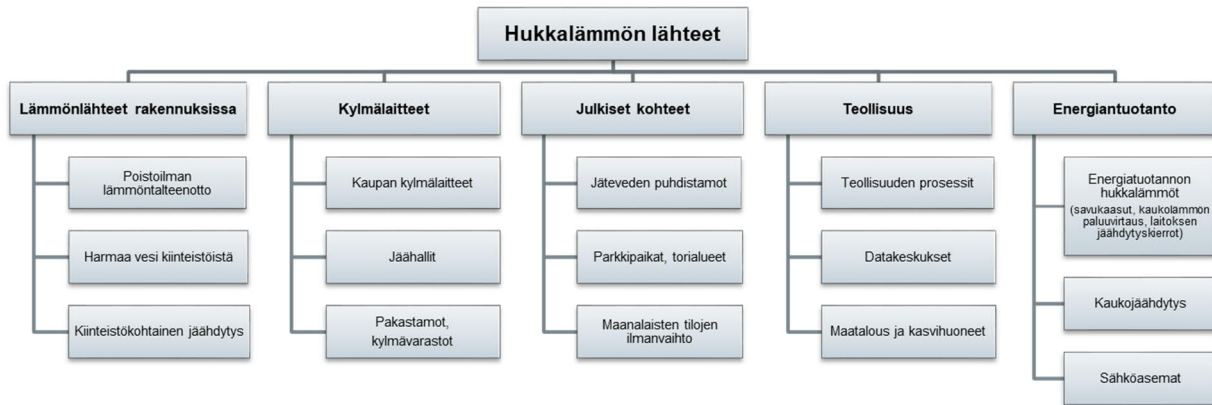
Yleisesti EED keskittyy hukkalämpöjen osalta korkeamman lämpötilan lähteisiin kuten teollisuuteen ja RED2 tuo tämän rinnalle myös matalamman lämpötilan kohteet sekä uusiutuvan energian lähteet.

3. Hukkalämmönlähteiden kuvaus ja luokittelu

Tässä kappaleessa käydään läpi kaikki tunnistetut hukkalämmönlähteet. Erillisissä alakappaleissa käydään läpi kukin lämmönlähde ja kuvataan sen lämpötilataso, saatavuuden vaihtelevuus sekä säädettävyys. Kuvauksessa otetaan huomioon mahdollinen hyödynnettävyys kohteen sisällä (energiatehokkuus) tai kaukolämmön tuotannossa (hukkalämpö).

Työssä oletetaan hyödynnettävyyden kaukolämmön tuotannossa tarkoittavan nykyisen kaltaisen kaukolämpöjärjestelmän menopuolelle kytkettävän lämmönlähteen soveltuvuutta sellaisenaan. Kaukolämpö menopuolen lämpötilataso Suomessa vaihtelee ulkolämpötilan mukaan arviolta välillä 75-110 °C. Paluupuolella lämpötilataso on noin 30-55 °C. Tulevaisuuden matalalämpötilakaukolämpöratkaisut voivat laskea menopuolen lämpötilan arviolta tasolle 65 °C tai alle, jos käyttöveden vaatima lämpötilataso (58 °C) pystytään tarjoamaan osin muilla tavoin tai lämpöpumppua hyödyntäen.

Alla kuvassa 1 on esitetty kaikki lämmönlähteet ryhmiteltynä lämmön alkuperän mukaan, esim. rakennukset, teollisuus tai kylmälaitteet. Luvun alakappaleet noudattelevat tätä jakoa.



Kuva 1. Hukkalämmönlähteet ryhmiteltynä alkuperän mukaisesti.

Käytetty ryhmittelytapa jakaa potentiaaliset hukkalämmönlähteet siten, että kukin lämmönlähde esiintyy ryhmittelyssä vain kerran. Tämä muodostaa selkeän kokonaisuuden, mutta ei sovellu yhtä hyvin esimerkiksi tilastoinnin tarpeisiin. Taulukossa 5 on esitetty vastaava jaottelu tilastokäytäntöjen mukaan.

Taulukko 5. Tilastokäytäntöjen mukainen ryhmittely potentiaalisille hukkalämmönlähteille.

Pääluokka	Hukkalämmönlähteet
Energiantuotanto	Kaukojäähdytys, savukaasujen lämmöntalteenotto, kaukolämmön paluuvirtaus, voimatai yhteistuotantolaitoksen jäähdytyskierrot, sähköasemat
Teollisuus	Teollisuuden prosessit (eri teollisuuden alat), pakastamot, kylmävarastot (elintarviketeollisuus).
Julkinen ja palvelusektori	Datakeskukset, Kaupan kylmälaitteet, jäähallit, parkkipaikat, torialueet, maanalaisten tilojen ilmanvaihto, jäteveden puhdistamot, kiinteistökohtainen jäähdytys, harmaa vesi.
Asuminen ja kotitaloudet	Poistoilman lämmöntalteenotto, harmaa vesi, kiinteistökohtainen jäähdytys.
Maatalous	Maatalouslaitokset ja kasvihuoneet

Yleisesti eri lämmönlähteiden hyödyntämisen ratkaisevat lämpötilataso, yksittäisen kohteen potentiaali sekä saatavuuden vaihtelu. Mitä tasaisemmin lämmönlähde on käytettävissä ja

mitä korkeampi lämpötilataso ja potentiaali ovat, sitä todennäköisemmin tämä on teknistaloudellisesti järkevää hyödyntää. Esimerkkinä jäteveden puhdistamot (suuri potentiaali, riittävä lämpötilataso, vuoden ympäri käytettävissä) ovat usein hyödynnettyjä lämmönlähteitä, kun taas kaukolämmön lähteenä kiinteistökohtaiset lämpöpumput (pieni potentiaali, matala lämpötilataso, ylimääräistä lämpöä lämmityskauden ulkopuolella) tai yksittäisten rakennusten tai palveluiden jäähdytyslaitteiden lauhdelämmön hyödyntäminen (sama kuin kiinteistöt, mutta osin saatavilla myös lämmityskaudella) on harvinaista. Hukkalämmön ja uusiutuvien lämmönlähteiden houkuttelevuuteen vaikuttavat myös päästövähennystavoitteet ja muiden vaihtoehtoisten ratkaisuiden hintataso. Teknologian kehitys ja yleistymisen tuovat myös investointikustannuksia alaspäin ja varsinkin lämpöpumppuihin liittyen sähkön hinnalla ja verotuspäätöksillä on suuri vaikutus teknistaloudelliseen kannattavuuteen. Tässä raportissa esitetyt lämmönlähteet ovat kaikki teknisesti toteutettavissa, mutta niiden taloudellista kannattavuutta tulee arvioida järjestelmäkohtaisesti kuten yksittäisten kaukolämpöjärjestelmien kehittämistä yleisemminkin.

3.1 Lämmönlähteet rakennuksissa

Lämmönlähteiksi rakennuksissa luetaan poistoilman lämmöntalteenotto, harmaa vesi ja kiinteistökohtaisen jäähdytyksen lauhdelämpö. Kaikkien osalta lämmönlähde on parhaiten hyödynnettävissä rakennuksen itsensä sisällä lämmönkulutuksen niin salliessa.

Poistoilman lämmön talteenotolla tarkoitetaan poistoilmalämpöpumppuratkaisua (PILP), jossa poistoilmasta talteen otettua lämpöä käytetään lämpöpumpun lämmönlähteenä rakennuksen lämmönkulutuksen kattamiseksi osin. Tässä tapauksessa hukkalämpönä pidetään lämpöpumpun mahdollisesti tuottamaa, mutta rakennuksen oman lämmönkulutuksen ylittävää osaa lämmöstä. Toisin sanoen potentiaali hukkalämpönä on pääosin olemassa vain lämmityskauden ulkopuolella. Yleisesti kaukolämpö vaatii PILP -ratkaisun tarjoamaa lämpötilatasoa korkeampia lämpötiloja, joten joko suurempaan lämpötilanostoon kykenevä lämpöpumppu tai toinen sarjaan kytketty lämpöpumppu olisi tarpeen.

Harmaa vesi lämmönlähteenä perustuu normaalisti viemäriin valuvan lämpimän käyttöveden tai esim. kodinkoneiden lämmittämän käyttöveden lämmöntalteenottoon. Vesi kulkee spiraaliputkessa nestesäiliön läpi lämmittäen sitä. Nestesäiliön vettä tai vesi/glykoli-liuosta voidaan hyödyntää lämpöpumpun lämmönlähteenä. Taloudellisesti harmaan veden käyttö lämmönlähteenä on kannattavinta uusissa rakennuksissa. Jätevesi luetaan direktiivien mukaan uusiutuvaksi lämmönlähteeksi.

Kiinteistökohtainen jäähdytys lämmönlähteenä tarkoittaa kompressoripohjaisen jäähdytysjärjestelmän lauhdelämmön hyödyntämistä. Kuten PILP -ratkaisun tapauksessa, todennäköisesti tarvitaan erillinen sarjana kytketty lämpöpumppu. Yleisimmin lauhdelämpö lauhdutetaan ulkoilmaan eli sen lämpötilatason tulee olla ulkoilmaa selkeästi korkeampi. Matalampi lauhdelämmön lämpötilataso nostaa itse jäähdytysprosessin tehokkuutta.

Sähkön, lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja jäähdytyksen kulutusprofiilit ja ominaiskulutukset eroavat toisistaan huomattavasti rakennustyypeittäin ja rakennusvuosittain. Tämän seurauksena myös lämmöntalteenoton, harmaan veden ja jäähdytyksen potentiaali lämmönlähteenä vaihtelee myös. Esimerkiksi pelkästään palvelurakennusten osalta Motivan energiakatselmustietokannan perusteella kerätyt ominaiskulutustiedot (sähkö, lämpö, vesi) näyttävät huomattavia eroja eri rakennustyyppien välillä (Motiva, 2018).

Taulukko 6. Lämmönlähteiden lämpötilataso, vaihtelevuus ja säädettävyys rakennuksissa.

Lämmönlähde	Luokittelu	Lämpötilataso	Suuruusluokka	Ajallinen vaihtelu
Poistoilman lämmön talteenotto	Hukkalämpö, ei määritelty asuinrakennuksille.	40-65 °C (neste/lauhdutin, lämpöpumpun jälkeen) tai 0-15 °C (vesi/glykoli, ennen lämpöpumppua)	100 kW	Pääosin käytettävissä (muussa kuin itse kohteessa) lämmityskauden ulkopuolella. Säädettävissä.
Harmaa vesi	Uusiutuva, ei määritelty asuinrakennuksille.	0-20 °C (vesi, vesi/glykoli)	10 - 100 kW	Suurempia veden kuluttajia lukuun ottamatta käytettävissä pääosin lämmityskauden ulkopuolella. Säädettävissä.
Kiinteistökohtainen jäähdytys	Hukkalämpö, ei määritelty asuinrakennuksille.	30-40 °C (lauhdutin)	100 kW	Saatavissa jäähdytystä tarvittaessa eli pääosin lämmityskauden ulkopuolella. Ei säädettävissä jos lämmön hyödyntäminen on ainoa tapa lauhduttaa.

3.2 Kylmälaitteiden lauhdelämpö

Kylmälaitteiden tuottama hukkalämpö on kompressoripohjaisen jäähdytyskäytön seurauksena syntyvää lauhdelämpöä. Tämä lauhdelämpö johdetaan usein lauhdutinten kautta ulkoilmaan hyödyntämättä.

Kaikki kaupan kylmälaitteet, jäähallit ja pakastamot sekä kylmävarastot ovat luonteeltaan samankaltaisia. Ulkoilmalauhduttimien tapauksessa lämpötilataso seuraa ulkoilman lämpötilaa (min. 5-10 °C tätä korkeampi), mutta matalampi lauhtumislämpötila parantaa itse jäähdytysprosessin tehokkuutta. Lopullisen lämpötilatason valinta on optimointitehtävä, jossa otetaan huomioon jäähdytysprosessin ja mahdollisen lämpöpumpun tehokkuuden lämpötilariippuvuus, sähkön hinta, hukkalämmön arvo sekä tarvittavat lisäinvestoinnit.

Periaatteessa jäähdytyslaiteratkaisut voidaan toteuttaa myös siten, että niiden lauhdelämmön lämpötilataso olisi riittävän korkea ilman erillistä sarjaan kytkettyä lämpöpumppua.

Yksi vaihtoehto lauhdelämmön hyödyntämiseen ja yhtä lailla mahdollisuus paikallisten jäähdytyslaitteiden tehokkuuden parantamiseksi on lauhdelämmön kerääminen kaukojäähdytysverkkoon. Etuna on kerätyn hukkalämmön keskitetty hyödyntäminen, haasteena taas kaukojäähdytysverkon rajallinen kattavuus. Kaukojäähdytystä on käsitelty erikseen luvussa 3.5.

Taulukko 7. Lämpötilataso, vaihtelevuus ja säädettävyys hyödynnettäessä kylmälaitteiden lauhdelämpöä.

Lämmönlähde	Luokittelu	Lämpötilataso	Suuruusluokka	Ajallinen vaihtelu
Kaupan kylmälaitteet	Hukkalämpö.	0-40 °C (lauhdutin)	10-100 kW	Vuoden ympäri saatavilla, kaupan aukioloaikoihin liittyvä luonnollinen päivittäinen vaihtelu. Ei säädettävissä.
Jäähallit	Hukkalämpö.	0-40 °C (lauhdutin)	100 kW	Jäähallit usein kesäaikaan suljettuna, jäähdytystarve nousee yleisötahtumien yhteydessä. Kokonaispotentiaali vaihtelee jäähallin tyyppistä (lämmin, kylmä) riippuen. Ei säädettävissä.
Pakastamot, kylmävarastot	Hukkalämpö.	0-40 °C (lauhdutin)	100 kW - 1 MW	Vuoden ympäri saatavilla, lauhdelämmön määrä vaihtelee kuitenkin vuodenajoin ja varaston tai pakastamon käyttöasteen mukaan. Ei säädettävissä.

3.3 Julkiset kohteet

Julkisiksi kohteiksi luetaan tässä raportissa jäteveden puhdistamot, parkkipaikat ja torialueet sekä maanalaisten tilojen ilmanvaihto.

Jäteveden puhdistamoissa lämpöä otetaan talteen puhdistetusta jätevedestä lämpöpumpun lämmönlähteeksi. Näin itse puhdistusprosessin mahdollisesti vaatimaan lämpötilatasoon ei puututa ja lämmönsiirtimien tekniset vaatimukset ja huolto helpottuvat. Näin kaukolämpöä tuottavia laitoksia on Suomessa jo useita, esimerkiksi Helsingissä, Espoossa ja Turussa. Jäteveden puhdistamo edustaa suurta pistemäistä lämmönlähdettä. Lämmön talteenoton jälkeen puhdistettua ja jäähtynyttä jätevettä on myös mahdollista käyttää kaukojäähdytyksen tuotannossa. Lämpöpumpulaitosten tuotantokapasiteetit ovat kymmenestä yli sataan megawattiin. Jätevesi luetaan direktiivin mukaan uusiutuvaksi lämmönlähteeksi. Kaukojäähdytyksen tuotannossa se on erikoistapaus ja sen luokittelu on epäselvä, sillä mahdollisuus jäähdytyskäyttöön syntyy kaukolämmön tuotannon seurauksena. Loogisesti tulkittuna se olisi hukkakylmää, mutta tätä ei direktiivissä erikseen mainita.

Nestekiertoisella keruuputkistolla varustettuna parkkipaikat ja torialueet voivat toimia aurinkokeräiminä, jonka keräämä lämpö hyödynnetään lämpöpumpun lämmönlähteenä. Tämä luetaan RED2-direktiivin perusteella uusiutuvaksi energiaksi, toki RED2 Annex VII liitteen mukaan lämpöpumpun sähkönkulutus huomioiden.

Maanalaisten tilojen ilmanvaihdolla tarkoitetaan pääosin metron ilmanvaihdon yhteydessä toteutettua lämmöntalteenottoa. Metrojunat tuottavat ylimääräistä lämpöä toimiessaan. Sähkömoottorit tuottavat lämpöä johtuen niiden sähköisestä ja mekaanisesta toiminnasta. Noin puolet maanalaisen järjestelmän lämmöstä tuotetaan, kun junat hidastuvat: jarrut tuottavat jätelämpöä, kun juna lähestyy asemaa. Junien ilmanvaihtojärjestelmä tuottaa myös ylimääräistä lämpöä. Esim. Länsimetron tunnelissa lämpötila pysyy välillä +5°C – +10°C, mutta kun poikkeuksellisen kova -30°C pakkanen kestää yhtäjaksoisesti 7 vrk peräkkäin, putoaa lämpötilat tunnelissa välille -1°C – -12°C. Vaikka metron ilmanvaihto edustaa konkreettista esimerkkiä, tähän luokkaan kuuluvat kaikki maanalaiset tilat, joiden ilmanvaihdosta voidaan kerätä lämpöä talteen. Ilmanvaihdosta talteen kerätty lämpö luetaan direktiivien mukaan hukkalämmöksi.

Taulukko 8. Julkiset kohteet hukkalämmönlähteinä.

Lämmönlähde	Luokittelu	Lämpötilataso	Suuruusluokka	Ajallinen vaihtelu
Jäteveden puhdistamot	Uusiutuva.	10-20 °C (puhdistettu jätevesi)	1-10 MW	Vuoden ympäri käytettävissä, vain vähäisiä vaihteluita vuodenajan mukaan. Säädettävissä.
Parkkipaikat, torialueet	Uusiutuva.	5-40 °C (vesi, vesi/glykoli)	10-100 kW	Pääsin vain lämmityskauden ulkopuolella käytettävissä. Säädettävissä.
Maanalaisten tilojen ilmanvaihto	Hukkalämpö.	5-10 °C (ilma)	10-100 kW	Käytettävissä vuoden ympäri, vaihtelee jonkin verran kohteen ja vuodenajan mukaan. Säädettävissä.

3.4 Teollisuus

Teollisuuteen luetaan teollisuuden prosessit, datakeskukset sekä maatalous ja kasvihuoneet.

Teollisuuden prosessit sisältävät laajan kirjon erilaisia potentiaalisia lämmönlähteitä, jotka vaihtelevat paljon sekä teollisuuden alojen välillä että jossain määrin myös niiden sisällä. Oleellisinta on, että teollisuuden hukkalämmönlähteet antavat mahdollisuuden myös suoraan käyttöön kaukolämpöjärjestelmän lämmönlähteinä korkean lämpötilatason ansiosta. Teollisuuden roolia hukkalämmönlähteenä tarkastellaan tarkemmin luvussa 4.4.

Datakeskukset vaativat jäähdytystä ja nämä jäähdytysratkaisut edustavat myös potentiaalista hukkalämmönlähdettä. Vaikka huomio pääosin keskittyy kymmenien tai satojen megawattien suuruisiin keskuksiin, myös pienempiä sadoista kilowateista muutaman megawatin teholuokkaan esiintyy yleisesti yritysten omina datakeskuksina. Käynnissä olevan ReUseHeat-projektin tulosten mukaan hyödynnettävän hukkalämmön määrä olisi noin 46 % datakeskuksen kuluttamasta sähköstä (IVL Swedish Environmental Research Institute (koordinaattori), 2020). Yleisin jäähdytystapa datakeskuksissa on ilmajäähdytys. Palvelimia jäähdytetään puhaltamalla noin 16-25 °C ilmaa palvelintelineiden läpi. Ilman lämpötila nousee tasolle 25-45 °C. Suurempien lämpökuormien poistoon hyödynnetään myös nestejäähdytystä. Tämä voidaan toteuttaa yksifaasisesti (vesi) tai kaksifaasisesti (jäähdytinneste). Hukkalämmön lämpötilataso näissä vaihtoehdoissa on palvelinten jälkeen 22-80 °C eli hetkittäin myös hyödynnettävissä suoraan kaukolämpöjärjestelmässä. (Vuorinen, 2019)

Maatalousrakennukset ja kasvihuoneet voivat myös olla lämmönlähteitä. Mahdolliset hukkalämmönlähteet syntyvät tarpeesta jäähdyttää tiloja tai kasvihuoneiden tapauksessa yllilämmön talteenotosta. Molempien yhteydessä on myös mahdollisesti hajautettua lämmöntuotantoa sekä jäähdytystarpeita, esim. elintarviketuotteille.

Taulukko 9. Hukkalämmönlähteitä teollisuudessa.

Lämmönlähde	Luokittelu	Lämpötilataso	Suuruusluokka	Ajallinen vaihtelu
Teollisuuden prosessit	Hukkalämpö.	Metalliteollisuus 30-1650 °C, kemianteollisuus 90-300 °C, tekstiiliteollisuus 40-160 °C, elintarviketeollisuus 30-150 °C, puu- ja paperiteollisuus 70-120 °C. (Brückner et al., 2015)	100 kW - 100 MW	Riippuvainen teollisuuden käyttöasteesta, voi vaihdella prosessisyklin mukana. Kuitenkin suhteellisen tasainen vuoden ympäri. Säädettyvyys liittyy prosessiin.
Datakeskukset	Hukkalämpö.	25-45 °C (ilmajäähdytys), 22-65 °C (yksifaasinen nestejäähdytys), 62-80 °C (kaksifaasinen nestejäähdytys) (Vuorinen, 2019)	10 kW - 100 MW, yleisimmin 10 MW	Suhteellisen tasainen vuoden ja vuorokauden ympäri. Ei säädettyissä ellei jäähdytykselle ole vaihtoehtoja ratkaisua.
Maatalous ja kasvihuoneet	Hukkalämpö.	20-30 °C (ilma, vesi)	10-100 kW	Painottuu kesäaikaan, kun yllilämpöä on eniten saatavilla. Säädettyissä.

3.5 Energiateollisuus

Energiateollisuuden osalta hukkalämpöjen hyödyntämisen potentiaali liittyy yhteistuotanto- ja kattilalaitosten savukaasujen lämmöntalteenottoon, kaukojäähdytykseen lämmönlähteenä sekä sähköasemien lämpöhäviöiden talteenottoon.

Savukaasujen lämmöntalteenoton hukkalämmöillä tarkoitetaan sitä osaa, jonka hyödyntämiseen tarvitaan tai hyödyntämisen mahdollistaa erillinen lämpöpumppu. Yhteistuotantolaitoksen lämmöntuotanto ei sinänsä siis ole hukkalämpöä. Toisaalta korkean lämpötilatason (esim. metalliteollisuus) mahdollistama tulistetun höyryn tuotanto yhteistuotannon tarpeisiin luetaan hukkalämmön piiriin. Kaikkien näiden osalta pätee hukkalämmön yleismääritelmä kaukolämmityksessä tai -jäähdytyksessä hyödynnettävästä lämmöntuotannosta, jonka käyttöenergia syntyy väistämättä ja sivutuotteena.

Kaukolämmön paluuvirtaus voi myös toimia lämpöpumpun lämmönlähteenä, mikäli halutaan parantaa kaukolämmön jäähtymää. Sinänsä talteen otettu lämpö on poissa itse primäärisestä tuotantomuodosta (esim. yhteistuotantolaitos), mutta toisaalta voi mahdollistaa tehokkaamman lämmön talteenoton savukaasuista. Direktiivien osalta paluuvirtausta ei tunnusteta hukkalämmönlähteeksi ja savukaasujen suora lämmöntalteenotto (ilman lämpöpumppua, kts. edellinen kappale) luetaan osaksi kattila- tai yhteistuotantolaitoksen tuotantoa. Mikäli laitos käyttää uusiutuvia polttoainetta, koko tuotanto (ml. savukaasun lämmön talteenotto) luetaan uusiutuvaksi.

Erikoistapauksena voima- tai yhteistuotantolaitoksen lämmöntalteenotosta ovat laitoksen sisäiset jäähdytyskierrot, joilla jäähdytetään esim. generaattoreita. Tällaisen hukkalämmönlähteen hyödyntäminen on suunnitteilla Vuosaaren yhteistuotantolaitoksen yhteyteen rakennettavalle lämpöpumppulaitokselle Helsingissä. Jäähdytyskierron lisäksi lämpöpumppu käyttää myös (uusiutuvaksi luettavaa) merivettä lämmönlähteenä. Laitos tulee tuotantokäyttöön 2022. (Helen Oy, 2019)

Kaukojäähdytystä hukkalämmönlähteenä ei ole direktiiveissä erikseen mainittu, vaikka se sopii yleismäärittelyyn ("teollisuus- tai sähköntuotantolaitoksissa tai palvelualalla sivutuotteena väistämättä syntyvää lämpöä tai kylmää") hyvin. Kaukolämmityksen ja kaukojäähdytyksen yhdistäminen lämpöpumppujen avulla on jo pitkään ollut toiminnassa mm. Helsingissä (Helen, 2015). Näin tuotettu lämpö ja jäähdytys ei direktiivien nyky muodossa luokitella hukkalämmöksi ja -kylmäksi, mutta tällainen tulkinta voi tulevaisuudessa vakiintua. Kaukojäähdytystä voitaisiin hyödyntää myös keräämällä lauhdelämpöä kaukojäähdytysverkon alueelta pienemmistäkin kohteista kuten kaupan kylmälaitteiden lauhtuttamista. Näin saataisiin talteen lämpö keskitettyä lämpöpumppua varten ja lisäksi tehostettaisiin paikallista jäähdytysprosessia laskemalla lauhtumislämpötilaa.

Sähköasemat ja muuntamot ovat yksi kaupunkialueen hukkalämmönlähde pienen määrän häviösähköä muuttuessa lämmöksi jännitetason muutoksen yhteydessä. Häviöt ovat hyvin pienet, mutta toisaalta sähköasemia on paljon ja jotkut niistä ovat kapasiteetiltaan hyvin isoja. Hukkalämmönlähteenä se on myös harvinainen siinä suhteessa, että potentiaali saattaa kasvaa lämmityskaudella sähkön kulutuksen noustessa.

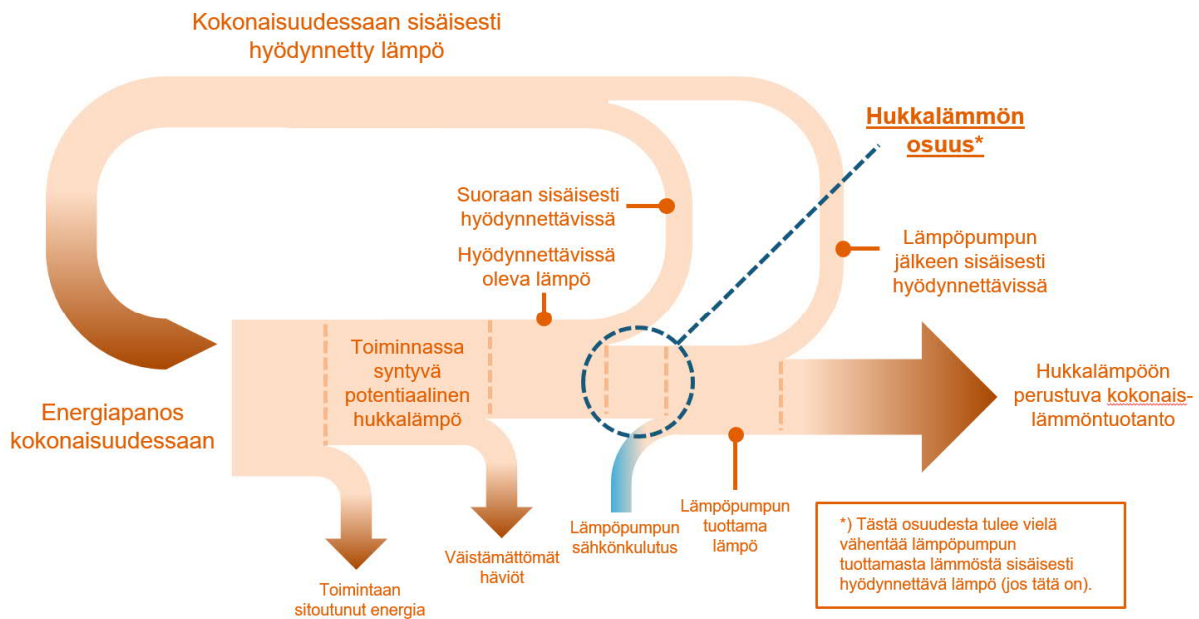
Ydinkaukolämpö yhteistuotantona rinnastunee normaaliin yhteistuotantoon eli ei lukeudu hukkalämmön piiriin, vaikka tätä ei erikseen direktiiveissä mainita. Ydinvoimalaitoksen lauhdelämmön hyödyntäminen lämpöpumpun avulla täyttää hukkalämmön tunnusmerkit, mutta ei myöskään ole direktiiveissä erikseen mainittu.

Taulukko 10. Energiategollisuuden hukkalämmönlähteet.

Lämmönlähde	Luokittelu	Lämpötilataso	Suuruusluokka	Ajallinen vaihtelu
Savukaasujen lämmöntalteenotto	Hukkalämpö.	10-20 °C (savukaasupesurin vesi), 50-120 °C (yhteistuotantolaitoksen savukaasut)	100 kW-10 MW	Vaihtelee laitoksen lämmöntuotannon mukaan eli seuraa käytännössä usein lämmön kysyntää. Säädettävissä, mutta laitosprosessi asettaa tälle rajat.
Kaukolämmön paluuvirtaus	Hukkalämpö. Tosin vaatii jonkin hyödyn virtauksen jäähdyttämiseksi.	30-60 °C	1 kW - 10 MW	Ympäri vuoden käytettävissä. Säädettävissä.
Voima- ja yhteistuotantolaitoksen jäähdytyskierto	Hukkalämpö.	-	100 kW - 1 MW	Laitoksen ollessa käytössä. Säädettävissä.
Kaukojäähdytys	Hukkalämpö.	14-18 °C (vesi)	1-10 MW (järjestelmän koko määrittää)	Painottuu kesään, mutta pieni kuorma on saatavissa. Käytännössä ei säädettävissä jos muuta tapaa tuottaa jäähdytystä ei ole.
Sähköasemat	Hukkalämpö.	20-50 °C (avoin mitoituskysymys)	10 kW - 1 MW	Vuoden ympäri melko tasaisesti käytössä, talvella enemmän sähkönkulutusta ja näin myös suurempi potentiaali. Säädettävissä.
Ydinkaukolämpö	Hukkalämpö.	~90 °C (mitoituskysymys), 30-40 °C (lauhdevedet)	100-1000 MW	Ydinvoimalla korkea käyttöaste; lähes vuoden ympäri siis käytössä mahdollista huoltoseisokkia lukuun ottamatta. Säädettävissä.

3.6 Hukkalämmön hyödyntämisen energiavirrat

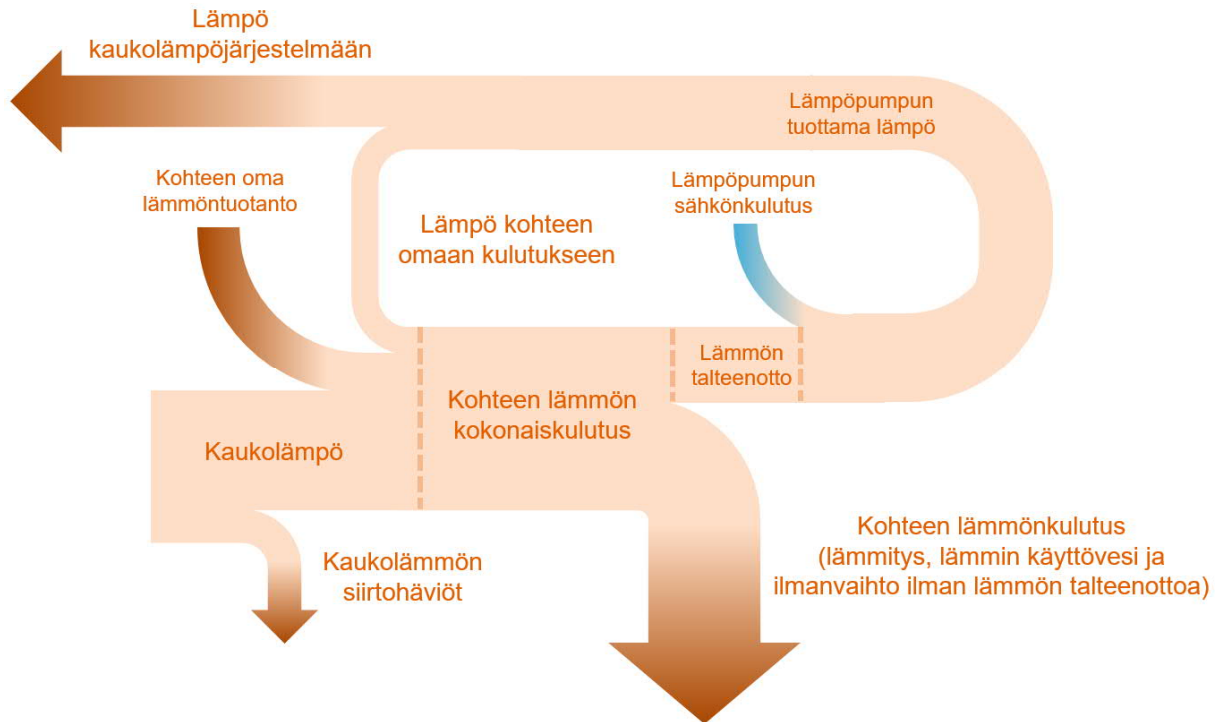
Kuvassa 2 on hahmoteltu teollisuuden tai vastaavan toiminnan hukkalämpöjen hyödyntämiseen liittyviä energiavirtoja. Primäärisestä energialähteestä eli kokonaisenergiapanoksesta osa sitoutuu itse tuotteeseen tai toimintaan, loput muodostavat hukkalämmön kokonaispotentiaalin. Tästä osa on otettavissa talteen, osa taas ei (väistämättömät häviöt). Talteen otetusta lämmöstä osa on suoraan käytettävissä prosessin sisäisesti, esim. esilämmitykseen. Osa tarvitsee ulkopuolista energiaa (esim. lämpöpumpun sähkö) ollakseen käyttökelpoista prosessissa tai sen prosessin ulkopuolella jalostettuna hukkalämpönä. Hukkalämpö on siis toiminnasta ylijäävä energia, pois lukien sen jalostamiseen käytetty ylimääräinen energiapanos kuten lämpöpumpun sähkönkulutus.



Kuva 2. Periaatteellinen kuvaus teollisuuden hukkalämpöjen hyödyntämisestä.

Kuva kuvastaa hyvin esim. teollisuuden hukkalämmön hyödyntämistä yleisellä tasolla. Kussakin vaiheessa eri energiavirtojen väliset suhteet voivat vaihdella voimakkaasti, esim. ulkopuolisen energian tarve voi olla merkittävä, jos sen lämmönlähteenä hyödynnettävä jalostamaton hukkalämpö (kuvan hyödynnettävissä oleva lämpö) on matalassa lämpötilassa ja tarvitaan lämpöpumppu.

Kuva 3 mukailee samaa esitystapaa, mutta pyrkii kuvaamaan kaupunkialueen hukkalämmönlähdettä yleisellä tasolla. Kohde on kytketty kaukolämpöverkkoon ja sillä on omaa lämmöntuotantoa sekä lämpöpumppu matala-arvoisen hukkalämmön hyödyntämistä varten. Kuten kuvassa 2, energiavirtojen väliset suhteet voivat vaihdella kohteesta riippuen.



Kuva 3. Lämpövirrat ja hukkalämpö rakennukselle tai muulle lämpöpumpun avulla hyödynnettävälle kohteelle.

4. Valittujen erikoistapausten tarkempi analyysi

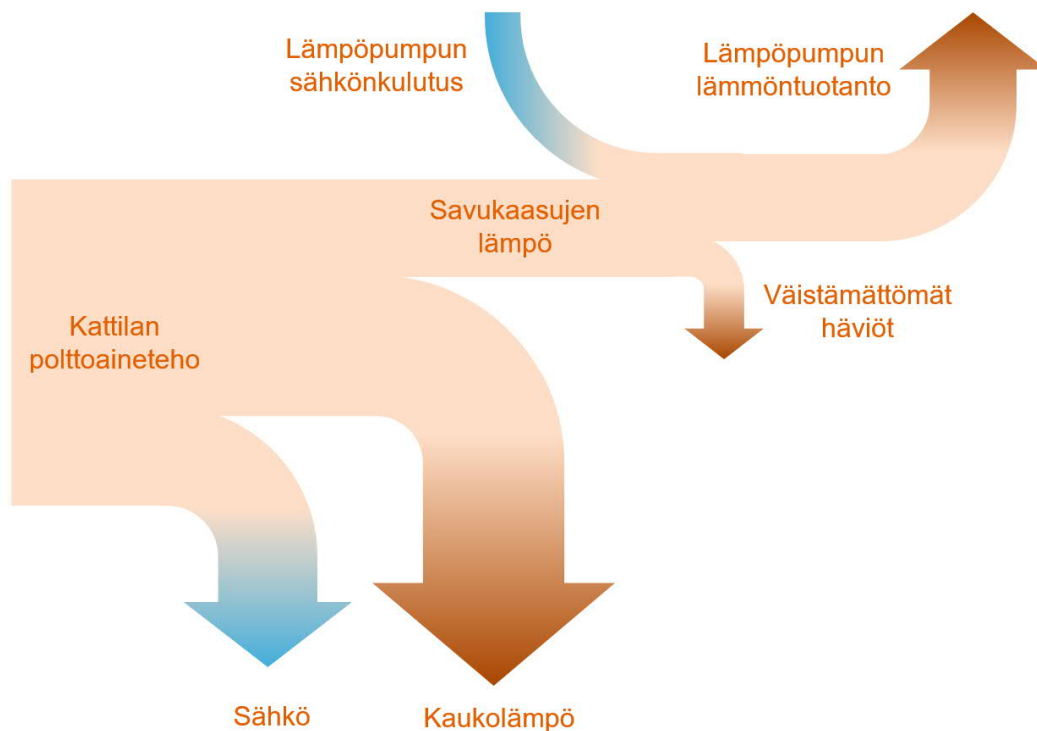
Tässä kappaleessa läpikäytyt erikoistapaukset sisältävät yhteistuotannon savukaasujen lämmöntalteenoton lämpöpumpua hyödyntäen, jätteenpolttoon liittyvät kysymykset, lämpöpumppujen roolin hukkalämpöjen hyödyntämisessä sekä teollisuuden hukkalämmöt ja näiden hyödyntämisen. Käsittely on pääosin laadullista ja analyysiä on taustoitettu tarpeen mukaan kuvin ja tilastotiedoin.

4.1 Yhteistuotanto ja savukaasujen lämmöntalteenotto

Yhteistuotannon lämmöntuotantoa ei sinänsä lueta hukkalämmöksi. Laitoksen kattilasta tai kaasukombilaitoksen lämmöntalteenottokattilasta poistuvien savukaasujen lämpöä lämpöpumpun avulla hyödyntävät ratkaisut sen sijaan luetaan. Tätä lämpöä voidaan hyödyntää kaukolämmön lämmönlähteenä suoraan (tuntuva lämpö) tai erillisellä savukaasujen lämmöntalteenotolla (latentti lämpö, savukaasujen sisältämän vesihöyryn lauhtuessa) esim. savukaasupesurin yhteydessä. Varsinkin latenttia lämpöä hyödyntäviä ratkaisuita voidaan tehostaa helpoiten lämpöpumpulla laskemalla kaukolämmön paluuvien lämpötilaa, jolloin suurempi osuus savukaasujen energiasisällöstä saadaan talteen. Lämpöpumppu hyödyntää näin siis käytännössä kaukolämmön paluuvettä lämmönlähteenä ja tuottaa samalla (tehostuneen savukaasujen lämmön talteenoton lisäksi) kaukolämpöä riittävän korkealla lämpötilatasolla menopuolelle. Varsinkin jos paluuvesi on jo riittävän viileää, lämpöpumppua voidaan myös hyödyntää käyttämällä savukaasuja lämmönlähteenä suoraan. Savukaasujen lämmöntalteenotto on kiinnostava vaihtoehto kosteita (turve, hake) tai merkittävästi vetyä sisältävien polttoaineita (maakaasu) polttaville laitoksille. Savukaasun lämmöntalteenotto ilman lämpöpumppua on hukkalämmön määritelmän suhteen hankala aihe. Selkeää hukkalämmön määritelmää talteen otetulle lämmölle ei ole. Kysymys siitä, luetaanko lämmöntalteenotto ilman lämpöpumppua osaksi yhteistuotantolaitoksen tuotantoa uusissa laitoksissa, ainoastaan lisäinvestointina vai ei ollenkaan, on siis avoin.

Suomalainen verotuskäytäntö, jossa yhteistuotantolaitoksen polttoaineerotus määräytyy koko lämmöntuotannon mukaan, tekee verotettavia (fossiilisia) polttoaineita pääosin käyttävän laitoksen hukkalämpöjen hyödyntämisen kuitenkin epäedulliseksi. Tässä tapauksessa yhteistuotantolaitoksen yhteydessä sijaitsevan lämpöpumpun sähkökulutus lasketaan verottomaksi omakäyttösähköksi, mutta polttoaineiden valmisteveroon perustuvaa lämpöenergiaa kannetaan koko tuotetusta lämpömäärästä. Riippuen siitä, kuinka suuri osa polttoaineista on verotettavia, kokonaisvaikutus voi olla negatiivinen, vaikka samasta polttoainemäärästä olisi tuotettu suurempi määrä energiaa. Pelkästään lämpöä tuottavia kattilalaitoksia tämä tilanne ei koske, vaan verotus perustuu ainoastaan todelliseen polttoaineen kulutukseen. Koska biomassaa tai muita uusiutuvia polttoaineita ei veroteta, tilanne ei koske näitä käytäviä yhteistuotantolaitoksia.

Kuvassa 4 on esitetty yhteistuotantolaitoksen energiavirrat tapauksessa, jossa hyödynnetään lämpöpumpun lämmönlähteenä savukaasuja suoraan. Tilanne, jossa kaukolämmön paluuvirtausta jäähdytetään lämpöpumpulla savukaasujen talteenoton tehostamiseksi, on energiavirroiltaan tätä hiukan mutkikkaampi. Pohjimmiltaan tilanne on kuitenkin sama; lämpöpumppu mahdollistaa savukaasujen sisältämän lämmön talteenoton.



Kuva 4. Energiavirrat yhteistuotantolaitoksessa, jossa hyödynnetään lämpöpumppua savukaasujen lämmöntalteenotossa suoraan.

Kuten kappaleessa 2.2 todettiin, hukkalämpöä lämmönlähteenä käyttävien lämpöpumppujen määritelmällinen hukkalämmön määrä on epäselvä. Uusiutuvien lämmönlähteiden osalta lämpöpumpun tuotannosta vähennetään lämpöpumpun sähkökulutus uusiutuvan energian määrää laskettaessa. Energiatuotannon muuten hukkaan menevänä lämpönä esitetyn kaltainen lämmön talteenotto sinänsä täyttää hukkalämmön määritelmän.

Suomessa tilanne on siis ongelmallinen, jos potentiaalisesti käytettävissä oleva hukkalämpö jäisi hyödyntämättä verotuksellisista syistä. Jos ratkaisuna lämpöpumpun tuotanto yksinkertaisesti lasketaan verotuksen perusteena olevasta lämmöstä (ns. VPO-lämpö) pois, voi syntyä tilanne, jossa savukaasuja tai prosessikierron höyryä ohjataan normaalin lämmöntuotannon (Kuva 4; "Kaukolämpö") ohi ja hyödynnetään näin suurempi osa kattilasta peräisin olevasta lämmöstä lämpöpumpun lämmönlähteenä. Tämä tilanne voidaan estää

määrittelemällä VPO-lämpö laitoksen lämmön- ja sähköntuotantokapasiteettien sekä kattilan mitoituspolttoainetehon suhdetta (mitoitushyötysuhde) sekä todellista sähköntuotantoa ja polttoaineenkulutusta tarkastelujaksolla seuraavasti:

$$VPO = \frac{P + Q_{KL}}{Q_K} * Q_{PA} - P_{tod}$$

P	Sähkön tuotannon kapasiteetti (MW)
Q_{KL}	Kaukolämmön tuotannon kapasiteetti (MW)
Q_K	Kattilan mitoituspolttoaineteho (MW)
Q_{PA}	Tarkastelujaksoa vastaava polttoaineen kulutus (MWh)
P_{tod}	Todellinen sähköntuotanto tarkastelujaksolla (MWh)

Esimerkiksi maakaasua polttavan 100 MW kattilatehon laitoksella, jossa sähkön tuotannon kapasiteetti on 40 MW ja kaukolämmön 50 MW, ja jonka vuotuinen huipun käyttöaika on 4 000 h, VPO-lämpö on normaalin käytännön mukaan lämmöntuotanto $50 \text{ MW} * 4\,000 \text{ h} = 200\,000 \text{ MWh}$ (kulutukseen luovutettu hyötylämmön määrä). Tämä kerrottuna vakio kertoimella 0.9 tuottaa verolliseksi katsottavan polttoaineen määrän eli 180 000 MWh.

Jos laitokseen yhteyteen rakennetaan savukaasujen lämpöä hyödyntävä 15 MW lämpöpumppu, lämpökerroin (COP) on 3, saadaan kulutukseen luovutetun hyötylämmöksi vastaavasti $(50 \text{ MW} + 15 \text{ MW}) * 4\,000 \text{ h} = 260\,000 \text{ MWh}$ ja verolliseksi katsotun polttoaineen määräksi 234 000 MWh.

Jos lämpöpumpun tuotanto lasketaan sellaisenaan VPO-lämmöstä pois ja toisen vaihtoehdon verolliseksi katsottu polttoainemäärä palautuu ensimmäisen vaihtoehdon 200 000 MWh tasolle. Tällöin herää kysymys, kannattaisiko kenties ohjata 10 MW lisää kaukolämmön tuotantotehosta suoraan tai savukaasujen välityksellä lämpöpumpun lämmönlähteeksi. Tällöin VPO-lämmöksi tulisi $40 \text{ MW} * 4\,000 \text{ h} = 160\,000 \text{ MWh}$ ja verotettavaksi polttoaineen määräksi 144 000 MWh. Todellinen kaukolämmön tuotantoteho olisi $40 \text{ MW} + 15 \text{ MW} + 15 \text{ MW}$ eli 70 MW (10 MW lämmönlähde ja COP 3 tarkoittaa 15 MW tuotantoa).

Rajaamalla VPO-lämpö ainoastaan laitoksen alkuperäiseen kaukolämmön tuotantokapasiteettiin ei vielä riitä, sillä tällöin olisi mahdollista laskea sähköntuotannon kapasiteettia (esim. -10 MW) ja johtaa käyttämättä jäänyt energia lämpöpumpun lämmönlähteeksi.

Kaavan mukaan VPO-lämmöiksi saadaan ensimmäisessä perustapauksessa sama 200 000 MWh kuin nyky menetelmälläkin, toisessa lämpöpumpun sisältävässä tapauksessa edelleen 200 000 MWh eli koko lämpöpumpun tuottama kaukolämpö lasketaan pois kokonaislämmöntuotannosta. Kolmannessa tapauksessa VPO-lämpö on edelleen 200 000 MWh, mutta tällöin huomionarvoista on, että lämpöpumpun tuotannosta (120 000 MWh) vain 2/3 eli 80 000 MWh saa vähentää. Neljännessä tapauksessa VPO-lämmöksi tulee 240 000 MWh, koska sähköntuotannosta on luovuttu lämmöntuotannon eduksi.

Kaikkissa tapauksissa itse polttoainetta kuluu todellisuudessa lämmön ja sähkön tuotantoon $100 \text{ MW} * 4\,000 \text{ h}$ eli yhteensä 400 000 MWh.

Uudet laitokset voitaisiin toki suunnitella (sopivat kapasiteetit) verotuksellisista syistä hyödyntämään laskentasaännön mahdollisia puutteita, mutta investoinnit fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaan uuteen yhteistuotantoon lienevät harvinaisia.

Esimerkki osoittaa, että verotuksen muutokset on hyvä käydä läpi eri laitostyypeillä ja niiden arviointi edellyttää yhteistuotantolaitoksen teknistä tuntemusta ja sen sisäisten energiavirtojen tarkastelua.

4.2 Jätteenpoltto

Jätteenpoltto rinnastuu suomalaisen käytännön mukaan siitä saatavan energian hyötykäyttöön yhteistuotannossa eikä näin ollen sisällä erikoistapausta liittyen hukkalämmön rooliin. Jätteenpolttolaitokset on lähtökohtaisesti rakennettu siten, että jätteen poltosta syntyvä lämpö saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin. Poikkeuksena tälle ovat ongelmajätteen käsittely, jossa pääpaino on haitallisten yhdisteiden hajottamisella. Tässäkin tapauksessa lämmön hyötykäyttö on mukana. Jätteenkäsittely ylipäätään on melko tehokasta, alle 1 % jätteistä päätyy hävityspolttoon tai kaatopaikoille. Hävityspoltolla tarkoitetaan jätteen polttamista, joka ei täytä energiahyödyntämisen energiatehokkuusvaatimuksia. Käytännössä kotimaiset jätteenpolttolaitokset nämä täyttävät. Hävityspoltto on siis pääosin vaarallisten jätteiden käsittelyä ja pieniä määriä esim. tietosuojamateriaalin hävittämistä.

Taulukko 11. Yhdyskuntajätteen kokonaiskertymä (3 041 082 t) ja käsittely vuonna 2018. (Tilastokeskus, 2018a)

Jätteen käsittely	Jätteen määrä (tonnia)	Osuus kaikesta jätteestä (%)
Materiaalikäyttö	885 972	29.1 %
Kompostointi ja mädätys	399 739	13.1 %
Energia	1 732 451	57.0 %
Hävityspoltto	972	< 0.1 %
Kaatopaikat	21 949	0.7 %

Euroopassa jätteenpolton tilanne vaihtelee maittain ja tästä syystä tulkinnot hukkalämmön määritelmästä ovat myös erilaisia. Useassa maassa jätteenpoltto on puhtaasti vaihtoehto kaatopaikkasijoitukselle, lämpöä hyödynnetään vain osin tai ei ollenkaan eikä yhteistuotanto ole lainkaan niin yleistä kuin esim. Suomessa. Jätteenpoltto nähdään siis potentiaalisena hukkalämmön lähteenä. Yleisellä tasolla tämä on toki nykytilanteeseen nähden perusteltua, mutta asettaa jäsenmaat erilaiseen asemaan toisiinsa nähden. Kun hukkalämmön lisääminen lämmityssektorilla on vielä asetettu direktiiveissä tavoitteeksi ja on osin yhteismitallinen sektorin uusiutuvan lisäämisen tavoitteiden kanssa, tulkinnalla on merkitystä.

4.3 Lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä

Suurin osa luvussa 3 esitetyistä hukka- tai uusiutuvan lämmön lähteistä esiintyy matalassa lämpötilatasossa ja vaatii näin ollen lämpöpumpun, jotta niitä voitaisiin hyödyntää kaukolämpöjärjestelmässä. Lämpöpumppujen oletetaan ylipäätään yleistyvän sekä kaukolämmön tuotannossa että kiinteistökohtaisessa lämmöntuotannossa.

Pääasialliset tavat hukkalämpöjen hyödyntämiseen kaukolämpöjärjestelmässä ovat keskittetyt, suuren kokoluokan lämpöpumput (Valor Partners Oy, 2016) ja hajautetut, tyypillisesti pienet rakennus- tai kohdekohtaiset lämpöpumput (Bröckl et al., 2014). Suurten lämpöpumppujen lämmönlähteinä ovat teollisuuden prosessit, datakeskukset, puhdistettu jätevesi ja kaukojäähdytysverkko. Pienten taas esimerkiksi rakennukset ja kylmälaitteet. Pienemmissä kohteissa tuotettu lämpö on usein parhaiten hyödynnettävissä itse kohteessa, vaikkakin ajoittain se voi tuottaa lämpöä myös kaukolämpöverkkoon. Edellytykset tämän kaltaisen kaksisuuntaisen kaukolämmön toteutukseen ovat jo olemassa usean kaukolämpöyhtiön tarjotessa mahdollisuutta myydä ylimääräinen lämpö kaukolämpöjärjestelmään ennalta ilmoitetun hinnoittelun mukaisesti (esim. Helen³, Fortum⁴, Tampereen sähkölaitos⁵).

³ Helen, Avoin kaukolämpö: <https://www.helen.fi/yritykset/lampoa-yrityksille/avoin-kaukolampo>

⁴ Fortum, Avoin kaukolämpö: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo>

⁵ Tampereen Sähkölaitos, OmaLämpö: <https://www.sahkolaitos.fi/lampoa-ja-viilevta/omalampo/>

Ensimmäinen toteutus⁶ kaksisuuntaisesta kaukolämmöstä on Tampereen Pohjolankatu 18–20 kiinteistö.

Rajatapauksena voidaan pitää hajautettuja lämpöpumppuja, jotka omistaisi tai vähintään ohjaisi paikallinen kaukolämpöyhtiö – huolimatta siitä, etteivät ne kirjaimellisesti tuottaisi lämpöä kaukolämpöverkkoon. Jos lämpöpumppujen toimintaa optimoidaan osana kaukolämpöjärjestelmää, voidaan niiden käytännössä ajatella kuuluvat osaksi sitä. Mikäli omistajuus ja ohjaus molemmat ovat rakennuksen omistajalla, kyseessä olisi ennemmin energiatehokkuustoimi. Ohjausvastuu ja -mahdollisuus voidaan nähdä omistajuutta selkeämpinä kriteereinä lukemiselle osaksi kaukolämpöjärjestelmää.

Hajautettuja, pienempiä lämpöpumppuja lienee joka tapauksessa kustannustehokkainta operoida kaukolämpöyhtiön tai jonkin kolmannen osapuolen toimesta. Rakennuksen omistajan näkökulmasta yksittäisen verrattain pienen lämpöpumpun rooli osana kaukolämpöjärjestelmää tai tulonlähteenä ei liene merkittävä. Sadat tai tuhannet lämpöpumput sen sijaan yhdessä muodostavat jo suuremman kokonaisuuden kaukolämpöjärjestelmän lämmöntuotannon näkökulmasta.

Hukkalämpöä tai uusiutuvaa lämmönlähdettä hyödyntävien lämpöpumppujen kiinnostavuus voi kasvaa mikäli ne mahdollisesti luetaan tulevaisuudessa (Koljonen et al., 2019) matalampaan sähköveroluokkaan. Lämpöpumppujen osalta tämä vaatii niiden sähkökulutuksen ja lämmöntuotannon mittaamista erikseen. Eryityisesti yksittäisten toimijoiden omistamien pienien, hajautettujen lämpöpumppujen osalta ylläpidon, hallinnoinnin ja asentamisen kustannukset voivat olla hyötyjä suuremmat.

Kaukojäähdytystä (lämpötilatasoltaan ~8 °C) voidaan tuottaa myös absorptioprosessin avulla, jonka käyttöenergiana toimii kuuma vesi (yleisesti >80 °C). Mitä korkeampi lämpötilataso on käytettävissä, sitä tehokkaammin prosessi toimii käyttöenergian suhteessa tuotettuun jäähdytykseen. Absorptiolämpöpumpun toiminta perustuu liuottimen ja absorbentin muodostaman aineparin fysikaalisiin ominaisuuksiin. Prosessi koostuu neljästä osasta; imeytimestä, keittimestä, lauhduttimesta ja höyrystimestä. Imeyttimessä väkevoitynyt liuos sekoittuu höyrystimestä palaavan lauhtuvan liuoksen kanssa matalassa painetasossa, jonka jälkeen se nostetaan pumpulla korkeampaan painetasoon keittimelle. Täällä liuos höyrystetään ulkopuolisen pääasiallisena käyttöenergiana toimivan lämmön avulla, josta se jatkaa edelleen lauhduttimelle. Lauhduttimessa höyrystynyt neste lauhtuu ja se ohjataan paisuntaventtiiliin kautta matalammassa painetasossa toimivalle höyrystimelle. Täällä neste höyrystyy uudelleen jäähdyttämällä kylmäainepiirin virtausta. Imeyttimen ja lauhduttimen toiminta vaatii jäähdyttävän vesivirtauksen (ns. välijäähdytys), lämpötilatasoltaan keittimen ja höyrystimen välillä, tyypillisesti noin +30 °C. (Laitinen et al., 2016)

Tämä välijäähdytys olisi käytettävissä hukkalämmönlähteenä tavalliselle kompressorilämpöpumpulle. Järjestely mahdollistaa korkeamman lämpötilatason ja paremman kokonaishyötysuhteen yhdistetylle lämmityksen ja jäähdytyksen tuotannolle verrattuna ainoastaan kompressoripohjaiseen ratkaisuun, mutta toisaalta vaatii sekä absorptio- että kompressorilämpöpumput.

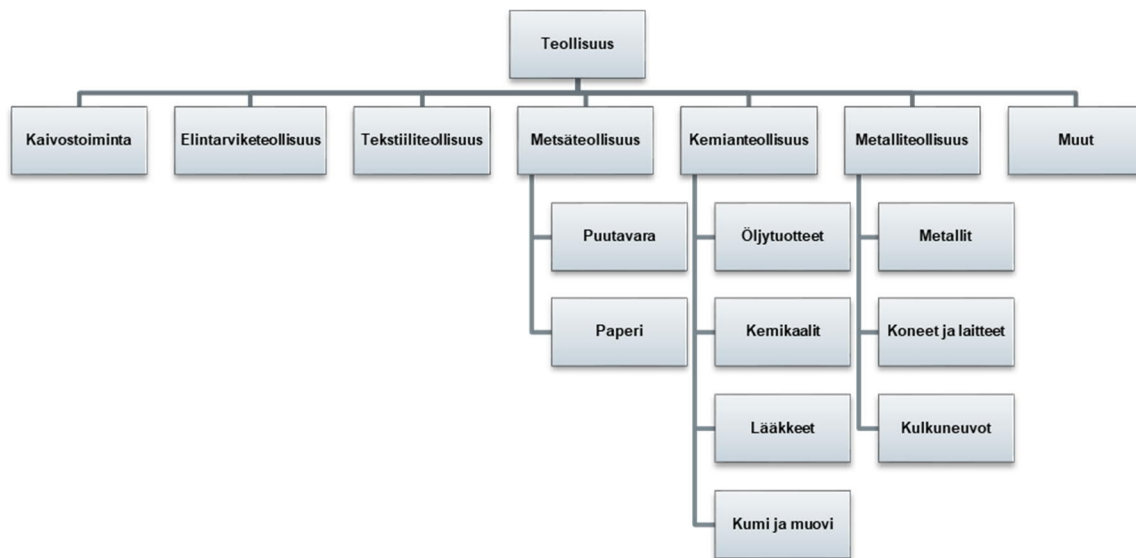
Lämpöpumpuin yhdistetty kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tuotanto siten kuin se mm. Helsingissä on toteutettu (Helen, 2015) on tärkeä erikoistapaus hukkalämpöjen hyödyntämisessä. Sama periaate on kyseessä myös kaikkien kylmälaite- ja jäähdytysprosessien yhdistämisessä kaukolämmöntuotannossa. Molempien (kaukojäähdytys ja kylmälaite/jäähdytysprosessit) tapauksessa jäähdytyksen tarve määrittää hyödynnettävän hukkalämmön määrän.

⁶ Tampereen Pohjolankatu 18-20: <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/taloyhtio-aloittaa-kaukolammon-pientuotannon-tampereella/>

4.4 Teollisuuden hukkalämmöt

Teollisuuden hukkalämmön edustavat yleisesti suuria, pistemäisiä lämmönlähteitä. Toisaalta ne sijaitsevat usein kaukana kaukolämpöjärjestelmistä ja/tai läheisin kaukolämpöjärjestelmä on saatavilla olevaan hukkalämmön määrään nähden pieni.

Teollisuuden prosessit ovat myös hyvin erilaisia keskenään ja käytävissä oleva lämpötilataso vaihtelee melkoisesti, mutta on kautta linjan korkeampi kuin yleisesti kaupunkialueen tai luonnon lämmönlähteissä. Kuvassa 6 on esitetty teollisuuden alat kokonaisuudessa tilastokäytäntöjen mukaisella jaolla. Metsä-, metalli- ja kemianteollisuus on jaettu alakokonaisuuksiin tuotteiden mukaisesti.

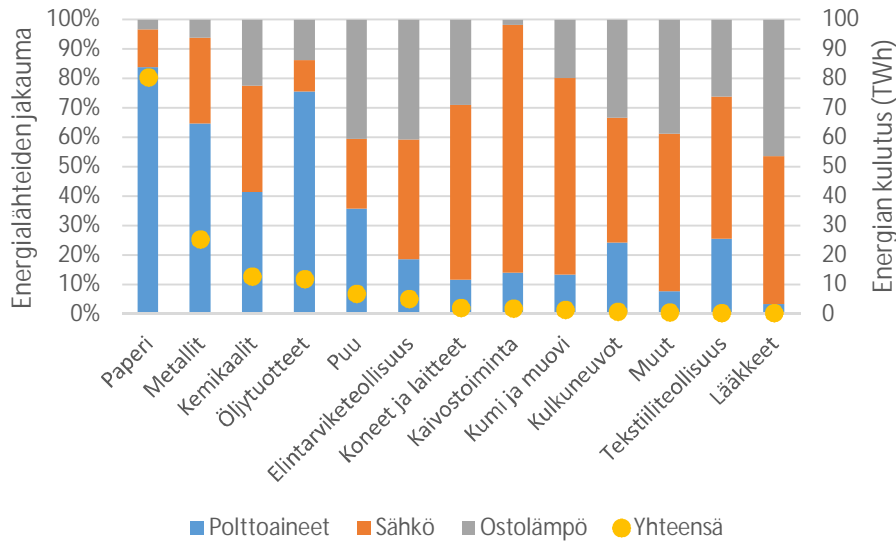


Kuva 5. Teollisuuden alat tilastointikäytännön mukaan jaoteltuna.

Valtakunnan tasolla teollisuuden aloja vastaava hukkalämmön potentiaali seurailee luonnollisesti alan energiankulutusta. Kunkin pääteollisuuden alan energiankulutus jaettuna polttoaineisiin, sähkön ja lämpöön on koottu taulukkoon 12. Huomionarvoista on, että yli 95 % kulutuksesta on puu- ja paperiteollisuuden, metalliteollisuuden ja kemianteollisuuden piirissä. Huomattavia, paikallisesti merkittäviä teollisuuden hukkalämmönlähteitä löytyy kuitenkin myös muista teollisuuden aloista. Kuva 6 visualisoi tiedot kuvaa 5 vastaavalla, tarkemmalla jaolla.

Taulukko 12. Teollisuuden energiakäyttö (Tilastokeskus, 2018b) ja lämpötilataso (Brückner et al., 2015) toimialoittain.

Teollisuudenala	Polttoaineet (TWh)	Sähkö (TWh)	Ostolämpö (TWh)	Yhteensä (TWh)	Lämpötilataso
Puu ja paperiteollisuus	69.6	11.9	5.6	87.1	70-120 °C
Metalliteollisuus	16.8	8.9	2.4	28.0	30-1650 °C
Kemianteollisuus	14.2	6.7	4.8	25.7	90-300 °C
Elintarviketeollisuus	0.9	2.0	2.0	5.0	30-150 °C
Tekstiiliteollisuus	0.1	0.1	0.1	0.2	40-160 °C
Muut	0.3	1.7	0.2	2.2	-



Kuva 6. Teollisuuden eri energiamuotojen käytön jakauma sekä kokonaisenergiankulutus. (Tilastokeskus, 2018b)

Teollisuuden hukkalämpöihin liittyy tietty oleellinen epävarmuus erityisesti kaukolämpöjärjestelmissä, missä käytettävissä olevan hukkalämmön määrä ylittää kaukolämmön kokonaistarpeen. Kaukolämpöyhtiö joutuu varautumaan sekä hetkittäisiin katkosiin esim. teollisuuden huoltoseisokkien muodossa että pidemmän aikavälin epävarmuuteen teollisen toiminnan pysyvyydestä paikkakunnalla. Hukkalämmön määrä ei myöskään ole kaukolämpöyhtiön ohjattavissa, vaikka se teollisuuden toiminnan luonteesta johtuen on melko tasaisesti saatavilla vuoden ympäri. Tästä syystä se edustaa kaukolämmön tuotantorakenteessa peruskuormaa ja puolestaan vaikuttaa kaukolämpöjärjestelmän muihin tuotantoratkaisuihin voimakkaasti. Teollisuuden hukkalämmönlähteitä, niihin liittyvää epävarmuutta ja roolia lämmöntuotannossa kokonaisuutena on välttämätöntä tarkastella tapauskohtaisesti.

Teollisuuden hukkalämpöjen hyödyntäminen on poikkeuksetta hyvä asia. Teollisuuden alasta riippuen sen primäärinen energialähde voi kuitenkin olla fossiilisiin polttoaineisiin perustuva. Pitkällä tai keskipitkällä aikavälillä teollisuus siirtyy kuitenkin muun yhteiskunnan mukana kohti vähähiilisiä energiaratkaisuita. Samalla toiminnan luonne ja teollisuuden prosessit voivat kuitenkin muuttua, joka voi heijastua myös käytettävissä olevan hukkalämmön määrään. Teknitaloudellisen hyödyntämisen potentiaalia, toteutusvaihtoehtoja sekä eri teollisuudenalojen mahdollisuuksia on käsitelty laajasti (YIT Teollisuus ja Verkkopalvelut Oy, 2010; Pöyry Finland Oy, 2019).

5. Yhteenveto

Alle on koottu yhteenvetona raportin sisältö sekä tärkeimmät sen sisältämät johtopäätökset:

- Työssä käytiin läpi energiatehokkuus- ja uusiutuvan energian direktiivien asettama määritelmällinen viitekehys hukkalämpöjen hyödyntämiselle, potentiaaliset hukkalämmönlähteet kuvauksineen ja arvioituine lämpötilatasoineen sekä projektin aikana esille tulleen erikoistapaukset niiden liittyen hukkalämpöjen hyödyntämiseen
- Vaikka direktiivit eivät ole täysin yksiselitteisiä, niistä käy ilmi selkeä tahtotila hukkalämpöjen hyödyntämisen edistämiseen. Suomalaisesta näkökulmasta voidaan puutteena pitää sitä, ettei asuinrakennuksia ei käsitellä hukkalämmönlähteinä lainkaan. Jätevesi määritellään hieman yllättäen uusiutuvaksi hukkalämmön sijaan. Sinänsä luokittelulla uusiutuvaksi tai hukkalämmöksi ei ole merkitystä, ja molemmat ovat toivottavia lämmönlähteitä kaukolämmön tuotannossa.
- Hukkalämpö tai -kylmä on siis kaukolämmitys- tai kaukojäähdytysjärjestelmässä hyödynnettävä väistämättömänä sivutuotteena syntyvää lämpöä tai jäähdytysenergiaa, joka ilman tätä hyödyntämistä katoaisi käyttämättömänä ympäristöön
- Enimmäkseen fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan yhteistuotannon savukaasujen lämmöntalteenotto lämpöpumpulla luo suomalaisessa verotusjärjestelmässä ongelmallisen tilanteen, jossa tehokkaampi järjestelmä tuo toimijalle raskaammat veroseuraamukset. Muutokset verotuskäytännölle tulee testata eri laitostyypeille, hahmotellut ratkaisut tarvitsevat kaikki lisätietoja laitoksesta.
- Jätteenpolttolaitosten osalta tilanne ja näkemykset Suomen osalta saattavat erota Manner-Euroopan vastaavista. Aiheen osalta on hyödyllistä seurata kehitystä ja keskustelua Euroopan osalta. Yhteinen näkemys tulkinnasta ja hukkalämpöjen mahdollisimman tehokas hyödyntäminen on hyvä tavoite.
- Lämpöpumput tulevat yleistymään Suomen lämmityssektorilla sekä kaukolämmön tuotannossa että erillisenä lämmitysmuotona. Mahdollisen lämpöpumppuihin kohdistuvan edullisemman verokohtelun toteutuessa lämpöpumppujen sähkönkulutusta tulee mitata erikseen. Lisäksi tarvitaan päätös sen suhteen onko lämpöpumppu oikeutettu edullisempaan verokohteluun myös silloin kun se ei tuota hukkalämpöä kaukolämpöverkkoon vaan lämpöä paikallisesti samaan kohteeseen, esim. poistoilmanlämpöpumpun tapauksessa rakennukselle itselleen. Mikäli ei, myös hukkalämmön tuotantoa tulee mitata. Järjestelmän näkökulmasta tilanteessa oleellisinta on lämpöpumpun ohjauksivastuu, ei välttämättä omistajuus. Mittaustarpeet ja verotuksen tiedontarpeiden mukaan vaikuttaa selvältä, että yksittäisten kohteiden osalta verotukselliset hyödyt voivat jäädä kustannuksia pienemmiksi. Lämpöpumppuihin perustuva pientuotanto todennäköisesti siis aggregoidaan kaukolämpöyhtiön tai kolmannen osapuolen toimesta. Tämä koskee hukkalämpöjen lisäksi myös uusiutuvaan energiaan pohjautuvia lämpöpumppuratkaisuita.
- Uusiutuvaa lämmönlähdettä hyödyntävien lämpöpumppujen tuottama lämpö lasketaan kansalliseen uusiutuvan energiaan osuuteen siten, että sähkön osuus vähennetään lämpöpumpun kokonaistuotannosta (RED2, Liite VII) vuositasolla. Hukkalämpöjen osalta käytäntöä ei ole direktiivin osalta vahvistettu. Molempien tapauksessa lämmöntuotanto on uusiutuvaan tai hukkalämpöön ”perustuva” kaukolämpöyhtiön näkökulmasta. Määritelmän yksityiskohtat ohjaavat siis enemmän tilastointia ja maakohtaista raportointia kuin itse lämmityssektorin kehitystä.
- Teollisuuden hukkalämpöpotentiaali on suuri, mutta käytännössä osa siitä ei ole hyödynnettävissä kaukolämpöjärjestelmissä. Nykyisellään hukkalämpöjen

hyödyntäminen Suomessa ei ole lainkaan harvinaista. Teollisuuden hukkalämpöjen haasteena on usein tarpeeksi suuren kaukolämpöjärjestelmän puute ja/tai etäisyys sopivaan järjestelmään. Teollisuuden hukkalämpö edustaa myös usein peruskuormaa kaukolämmön tuotantorakenteessa eli vaikuttaa selkeästi muuhun lämmöntuotantoon. Samasta syystä epävarmuus liittyen teollisen toiminnan jatkumiseen on otettava huomioon.

- Kokonaisuutena työ luo pohjaa tarkemmalle hukkalämpöpotentiaalin arvioinnille, joka puolestaan tarjoaa tarvittavat tiedot sen hyödyntämisen teknistaloudelliselle arvioinnille järjestelmätasolla. VTT on aloittanut työn teollisuuden ja kaupunkialueiden hukkalämmön sekä luonnon lähteiden tarkempaa arviointia koskien. Tavoitteena on tarjota kaukolämpöyhtiöille mahdollisuus tähän liittyvään päätöksentekoon sekä tukea kansallisella tasolla energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteiden toteutumista.

Lähdeviitteet

- Bröckl, M., Immonen, I., Vanhanen, J., 2014. Lämmön pientuotannon ja pienimuotoisen ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämpötoiminnassa [WWW Document]. URL https://energia.fi/files/981/Lammon_pientuotannon_ja_ylijaamalammon_hyodyntaminen_kaukolampotoiminnassa20141215_.pdf (accessed 3.31.20).
- Brückner, S., Liu, S., Miró, L., Radspieler, M., Cabeza, L.F., Lävemann, E., 2015. Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies. Appl. Energy. doi:10.1016/j.apenergy.2015.01.147
- European Commission, 2012. Energy efficiency directive 2012/27/EU.
- European Commission, 2018. Revised renewable energy directive 2018/2001/EU.
- Helen, 2015. Combined district heating and cooling [WWW Document]. Euroheat power, Case Stud. URL <https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/Case-study-Helsinki-GDECA15.pdf> (accessed 3.30.20).
- Helen Oy, 2019. Vuosaaren uusi, ainutlaatuinen meriveden lämpöä hyödyntävä lämpöpumppu [WWW Document]. URL <https://www.helen.fi/uutiset/2019/merivesilampopumppu> (accessed 4.16.20).
- IVL Swedish Environmental Research Institute (koordinaattori), 2020. ReUseHeat -projekti [WWW Document]. EE-01-2017. URL <https://www.reuseheat.eu/data-centres/> (accessed 3.27.20).
- Joint Concerted Actions, 2020. Waste heat in the context of REDII, EED and EPBD [WWW Document]. Barcelona Work. URL https://www.cares.eu/fileadmin/cares/PublicArea/Joint_workshop_presentations/Session_7_Waste_heat.pdf (accessed 3.30.20).
- Koljonen, T., Lehtilä, A., Koreneff, G., Lindroos, T.J., Pursiheimo, E., Rämä, M., Siikavirta, H., Laukkanen, M., Kyritsis, E., Ollikka, K., Eerola, E., Ollikainen, M., 2019. Energiantuotannon valmisteverotuksen kehittäminen Suomessa [WWW Document]. VTT Technol. 359. URL <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2019/T359.pdf> (accessed 4.17.20).
- Laitinen, A., Rämä, M., Airaksinen, M., 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut [WWW Document]. Asiakasraportti. URL https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf (accessed 3.31.20).
- Motiva, 2014a. Ylijäämälämmön hyödyntäminen [WWW Document]. URL https://www.motiva.fi/files/13515/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Ylijaa_malampoenergia-analysit.pdf (accessed 3.31.20).
- Motiva, 2014b. Tuotannon hukkalämpö hyödyksi [WWW Document]. URL https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf (accessed 3.31.20).
- Motiva, 2018. Palvelusektorin ominaiskulutuksia [WWW Document]. URL https://www.motiva.fi/files/15570/Palvelusektorin_ominaiskulutukset_2011-2017.pdf (accessed 4.16.20).
- Pöyry Finland Oy, 2019. Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa [WWW Document]. Motiva. URL https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf (accessed 4.15.20).
- Sirola, V., Tiitinen, M., 2018. Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä

- [WWW Document]. Tek. toimintaohjeet verkkoon liittämistä. URL https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot_kaukolampoverkkoon_tekniset_ohjeet_20181016.pdf (accessed 4.15.20).
- Tilastokeskus, 2018a. Yhdyskuntajättekertymä 2018 [WWW Document]. Jätetilasto. URL http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_tau_001_fi.html (accessed 3.26.20).
- Tilastokeskus, 2018b. Teollisuuden energiankäyttö toimialoittain vuonna 2018 [WWW Document]. Teollisuuden energiankäyttö. URL https://www.stat.fi/til/tene/2018/tene_2018_2019-11-01_tau_002_fi.html (accessed 3.27.20).
- Valor Partners Oy, 2016. Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä [WWW Document]. URL https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf (accessed 4.17.20).
- Valtioneuvosto, 2015. Valtioneuvoston asetus sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä teollisuuden ylijäämälämmön kustannus-hyötyanalyysistä [WWW Document]. 1297/2015.
- Vuorinen, L., 2019. Kannattavuusmalli datakeskuksen hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkossa [WWW Document]. Diplomityö. URL <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201902043985> (accessed 3.25.20).
- YIT Teollisuus ja Verkkopalvelut Oy, 2010. Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä.

Liite A : Lämmönlähteiden kokoomataulukko

Lämmönlähde	Luokittelu	Lämpötilataso	Suuruusluokka	Ajallinen vaihtelu
Poistoilman lämmön talteenotto	Hukkalämpö, ei määritelty asuinrakennuksille.	40-65 °C (neste/lauhdutin, lämpöpumpun jälkeen) tai 0-15 °C (vesi/glykoli, ennen lämpöpumpua)	100 kW	Pääosin käytettävissä (muussa kuin itse kohteessa) lämmityskauden ulkopuolella. Säädettävissä.
Harmaa vesi	Uusiutuva, ei määritelty asuinrakennuksille.	0-20 °C (vesi, vesi/glykoli)	10 - 100 kW	Suurempia veden kuluttajia lukuun ottamatta käytettävissä pääosin lämmityskauden ulkopuolella. Säädettävissä.
Kiinteistökohtainen jäähdytys	Hukkalämpö, ei määritelty asuinrakennuksille.	30-40 °C (lauhdutin)	100 kW	Saatavissa jäähdytystä tarvittaessa eli pääosin lämmityskauden ulkopuolella. Ei säädettävissä jos lämmön hyödyntäminen on ainoa tapa lauhduttaa.
Kaupan kylmälaitteet	Hukkalämpö.	0-40 °C (lauhdutin)	10-100 kW	Vuoden ympäri saatavilla, kaupan aukioloaikoihin liittyvä luonnollinen päivittäinen vaihtelu. Ei säädettävissä.
Jäähallit	Hukkalämpö.	0-40 °C (lauhdutin)	100 kW	Jäähallit usein kesäaikaan suljettuna, jäähdytystarve nousee yleisötapahtumien yhteydessä. Kokonaispotentiaali vaihtelee jäähallin tyyppistä (lämmön, kylmä) riippuen. Ei säädettävissä.
Pakastamot, kylmävarastot	Hukkalämpö.	0-40 °C (lauhdutin)	100 kW - 1 MW	Vuoden ympäri saatavilla, lauhdelämmön määrä vaihtelee kuitenkin vuodenaikojen ja varaston tai pakastamon käyttöasteen mukaan. Ei säädettävissä.
Jäteveden puhdistamot	Uusiutuva.	10-20 °C (puhdistettu jätevesi)	1-10 MW	Vuoden ympäri käytettävissä, vain vähäisiä vaihteluita vuodenaikan mukaan. Säädettävissä.
Parkkipaikat, torialueet	Uusiutuva.	5-40 °C (vesi, vesi/glykoli)	10-100 kW	Pääsin vain lämmityskauden ulkopuolella käytettävissä. Säädettävissä.
Maanalaisten tilojen ilmanvaihto	Hukkalämpö.	5-10 °C (ilma)	10-100 kW	Käytettävissä vuoden ympäri, vaihtelee jonkin verran kohteen ja vuodenaikan mukaan. Säädettävissä.
Teollisuuden prosessit	Hukkalämpö.	Metalliteollisuus 30-1650 °C, kemianteollisuus 90-300 °C, tekstiiliteollisuus 40-160 °C, elintarviketeollisuus 30-150 °C, puu- ja paperiteollisuus 70-120 °C.	100 kW - 100 MW	Riippuvainen teollisuuden käyttöasteesta, voi vaihdella prosessisyklin mukana. Kuitenkin suhteellisen tasainen vuoden ympäri. Säädettävyyttä liittyy prosessiin.
Datakeskukset	Hukkalämpö.	25-45 °C (ilmajäähdytys), 22-65 °C (yksifaasinen nestejäähdytys), 62-80 °C (kaksifaasinen nestejäähdytys)	10 kW - 100 MW, yleisimmin 10 MW	Suhteellisen tasainen vuoden ja vuorokauden ympäri. Ei säädettävissä ellei jäähdytykselle ole vaihtoehtoja ratkaisua.
Maatalous ja kasvihuoneet	Hukkalämpö.	20-30 °C (ilma, vesi)	10-100 kW	Painottuu kesäaikaan, kun ylälämpöä on eniten saatavilla. Säädettävissä.
Savukaasujen lämmön talteenotto	Hukkalämpö.	10-20 °C (savukaasupesurin vesi), 50-120 °C (yhteistuotantolaitoksen savukaasut)	100 kW-10 MW	Vaihtelee laitoksen lämmöntuotannon mukaan eli seuraa käytännössä usein lämmön kysyntää. Säädettävissä, mutta laitosprosessi asettaa tälle rajat.
Kaukolämmön paluuvirtaus	Hukkalämpö. Tosin vaatii jonkin hyödyn virtauksen jäähdyttämiseksi.	30-60 °C	1 kW - 10 MW	Ympäri vuoden käytettävissä. Säädettävissä.
Energiantuotantolaitoksen jäähdytyskierto	Hukkalämpö.	-	100 kW - 1 MW	Laitoksen ollessa käytössä. Säädettävissä.
Kaukojäähdytys	Hukkalämpö.	14-18 °C (vesi)	1-10 MW (järjestelmän koko määrittää)	Painottuu kesään, mutta pieni kuorma on saatavissa. Käytännössä ei säädettävissä jos muuta tapaa tuottaa jäähdytystä ei ole.
Sähköasemat	Hukkalämpö.	20-50 °C (avoin mitoituskysymys)	10 kW - 1 MW	Vuoden ympäri melko tasaisesti käytössä, talvella enemmän sähkönkulutusta ja näin myös suurempi potentiaali. Säädettävissä.
Ydinkaukolämpö	Hukkalämpö.	~90 °C (mitoituskysymys), 30-40 °C (lauhdevedet)	100-1000 MW	Ydinvoimalla korkea käyttöaste; lähes vuoden ympäri siis käytössä mahdollista huoltoseisokkia lukuun ottamatta. Säädettävissä.