

Nykytila-analyysi

Hukkalämmöt hyötykäyttöön (Hukka)

Sauli Lönni, Kaisa Kontu, Anttu Koskinen

29.8.2025

Kestävät energiajärjestelmät -tutkimusryhmä



**Euroopan unionin
osarahoittama**



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Sisällysluettelo

1 Hanke-esittely	1
2 Energiamarkkinan muutokset	3
2.1 Suomen energian hankinta	3
2.2 REPowerEU	5
2.3 Kaukolämmön hinnanmuutos Kanta-Hämeessä 2019–2024.....	6
2.4 Sähkön hinnanmuutos Suomessa 2019–2024.....	7
3 Hukkalämpö.....	9
3.1 Energiatehokkuusdirektiivin mukainen hukkalämpöpotentiaali.....	10
3.2 Suomen teollisuuden hukkalämpöpotentiaali	11
3.3 Kaupan alan hukkalämpöpotentiaali	12
3.4 Muu potentiaali	13
3.5 Haasteet hukkalämmön hyödyntämisessä.....	15
3.6 Tuet hukkalämmön hyödyntämiseen	16
4 Hukkalämpöteknologiat	19
4.1 Korkean lämpötilan teknologiat.....	19
4.1.1 Rekuperaattorit	19
4.1.2 Regeneraattorit	20
4.1.3 Regeneratiiviset ja rekuperatiiviset polttimet	21
4.1.4 Jätelämpökattilat.....	22
4.2 Keskilämpötilan teknologiat	22
4.2.1 Passiiviset ilman esilämmittimet (PAP)	22



4.2.2 Ekonomaisierit	23
4.3 Matalan lämpötilan teknologiat	24
4.3.1 Mekaaniset lämpöpumput	24
4.3.2 Absorptiolämpöpumppu	25
4.4 Sähkön tuotanto	26
4.4.1 ORC-prosessi	26
4.4.2 Kalina-prosessi	28
4.4.3 Lämpösähköiset generaattorit (TEG)	28
4.5 Muu teknologia	30
4.5.1 Kaukolämpöön liittäminen	30
4.5.2 Lämpövarastot	31
5 Hinnoittelu- ja sopimusmallit	33
5.1 Kaksisuuntainen kaukolämpö	33
5.1.1 Energiayhtiöiden hinnoittelu hukkalämmölle Suomessa	34
5.1.2 Hukkalämmön sopimusmallit Tukholmassa	37
5.2 Alueellinen matalalämpöverkko	38
5.3 Hyödyntäminen läheisessä kiinteistössä	39
5.4 Rahoitusmallit	40
6 Esimerkkitoteutuksia	42
7 Yhteenveto	51
Lähteet	53

1 Hanke-esittely

Hukkalämmöt hyötykäyttöön (Hukka) -hanke on HAMK:n Kestävät energijärjestelmät tutkimusryhmän toteuttama hanke, jossa etsitään ratkaisuja hukkalämmön hyödyntämisen mahdollisuuksien ja esteiden arvioimiseen. Hankkeessa tuotamme nykytila-analyysin hukkalämpöjen hyödyntämisestä tämänhetkisessä energiamarkkinatilanteesta, ja selvitämme syitä niiden matalaan hyödyntämisasteeseen energialähteenä. Kartoitamme myös merkittävimmät hukkalämpöjen sijainnit Kanta-Hämeessä ja esitämme ne osana karttapalvelua. Hankkeen kohderyhminä ovat hukkalämpöenergian potentiaaliset käyttäjät, tuottajat ja mahdolliset lämmön välittäjäosapuolet tai teknologian tarjoajat, eli erilaiset energia-asiakkaat, pienet ja keski-suuret yritykset, kaukolämpöyritykset sekä teknologiayritykset.

Hukkalämmöllä tarkoitetaan esimerkiksi teollisuuden prosesseissa tai kiinteistöissä syntyvää ylimääräistä lämpöä, jota ei hyödynnetä mitenkään, vaan se päättyy ympäristöön esimerkiksi savukaasujen, jätevesien, jäähdytysjärjestelmien tai poistoilman kautta. Tämä lämpö olisi kuitenkin mahdollista ottaa talteen ja hyödyntää esimerkiksi prosessien esilämmityksessä, kuivauksessa tai kiinteistöjen lämmityksessä. Hukkalämpöä hyödynnetään Suomessa verrattain vähän ja Kanta-Hämeen alueella syntyvän hukkalämmön sijaintia ei ole selvitetty tarkkaan. Kierrättämällä hukkalämpö takaisin käyttöön, vähennetään ostoenergian tarvetta, primäärienergian kulutusta, polttoon perustuvaa lämmöntuotantoa, hiilidioksidipäästöjä ja parannetaan energiatehokkuutta. Hukkalämpöä hyödyntämällä on myös mahdollista parantaa energiaomavaraisuutta riippuvuuden vähentyessä polttoaineen tuonnista.

Suomen tavoite on olla hiilineutraali vuonna 2035 ja myös Kanta-Häme on maakuntana sitoutunut tähän tavoitteeseen (A.-M. Ahonen & Lipsanen, 2025, s. 23). Tavoitetta varten Kanta-Hämeen alueen kaupungit, kunnat ja yritykset tarvitsevat tietoa hiilineutraaliutta edistävistä teknologioista ja toimintamalleista. Tässä nykytila-analyysissa, joka on ensimmäinen työpaketti Hukkalämmöt hyötykäyttöön (Hukka) -hankkeessa, annetaan läpikatsaus energiamarkkinan keskeisimmistä muutoksista, hukkalämmön hyödyntämisen haasteista ja mahdollisuuksista, esitetään hukkalämmön hyödyntämiseen liittyviä teknologioita ja esimerkkiratkaisuja sekä hyödyntämiseen liittyviä hinnoittelu- ja sopimusmalleja. Nykytila-analyysi tuotetaan kirjallisuuskatsauksen, asiantuntijahaastatteluiden ja yritysvierailujen avulla. Nykytila-analyysin tavoitteena on lisätä Kanta-Hämeen alueen kuntien ja yritysten



tietoisuutta hukkalämmöstä sen tehokkaampaa hyödyntämistä varten. Hankkeen toisessa työpaketissa tehdään haastatteluita ja työpaja alueen toimijoiden kanssa, joiden tarkoituksena on selvittää heidän haasteitaan hukkalämpöjen hyödyntämisessä ja löytää ratkaisuja niihin. Kolmannessa työpaketissa selvitetään Kanta-Hämeen alueen merkittävimpien hukkalämmönlähteiden sijainnit ja ne tuodaan esille energiakarttapalvelussa.



2 Energiamarkkinan muutokset

Energiamarkkinaa ohjataan jatkuvasti poliittisin keinoin kohti kestävämpää ja hiilineutraalia suuntaa, esimerkiksi päästökaupan ja erilaisten direktiivien avulla. Kyseisillä ohjauskeinoilla on suoraan vaikutusta investointeihin ja valittuihin energiantuotantomuotoihin. Esimerkiksi teollisuus on kulkemassa vahvasti kohti suoraa ja epäsuoraa sähköistymistä. Ajoittain energiamarkkinoita horjuttavat myös odottamattomat asiat. Näitä ovat olleet mm. koronaviruspandemia ja Venäjän aloittama hyökkäyssota Ukrainaan. Koronaviruspandemia haastoi energiamarkkinoiden dynamiikkaa, energiateknologian raaka-aineiden tarjontaa ja energian toimitusketjujen toimivuutta (Ahola ym., 2024, s. 14). Koronan aiheuttamista haasteista oltiin vasta toipumassa, kun Venäjä aloitti sodan Ukrainassa. Sodan seurauksena Suomessa ja muualla Euroopassa haluttiin irtaantua venäläisistä polttoaineista mahdollisimman nopeasti. Muutoksia Suomen ja EU:n energianhankinnassa käsitellään kappaleissa 2.1 ja 2.2.

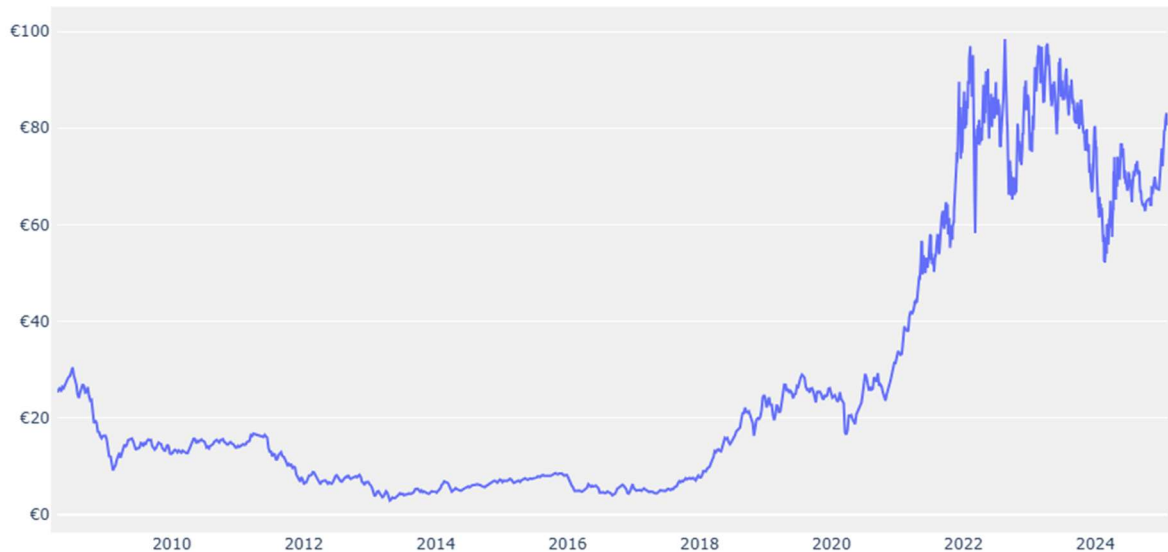
Kappaleissa 2.3 ja 2.4 tarkastellaan energian hintojen kehitystä vuosien 2019 ja 2024 välillä. Kaukolämmön hintaa käsitellään Kanta-Hämeen alueella, sillä sen osalta asiakkaat ovat sidottuja paikalliseen toimijaan. Sähkön hintaa taas käsitellään Suomen alueella, sillä sen osalta asiakkailta on mahdollisuus valita myyjänsä. Vertailuvuotena käytetään vuotta 2019, jotta nykyisiä hintatietoja voi verrata aikaan ennen koronaviruspandemiaa ja Venäjän aloittaman sodan laukaisemaa energiakriisiä.

2.1 Suomen energian hankinta

Vuonna 2021, ennen sodan alkamista, valtaosa Suomen energiantuotannon polttoaineista tuotiin Venäjältä. Öljystä 81 prosenttia, maakaasusta 75 prosenttia, hiilestä 51 prosenttia, puuhakkeesta 25 prosenttia, ydinpolttoaineesta 35 prosenttia ja tuontisähköstä 51 prosenttia tuotiin Venäjältä. Puuhakkeen tuonti loppui maaliskuussa 2022 ja sähkönsiirto sekä maakaasun tuonti loppuivat toukokuussa 2022. (IEA, 2023.) Tämä johti uusien energiantoimittajien hankintaan, omavaraisuuden parantamiseen, energiankulutuksen vähentämiseen ja samalla energianhintojen nousuun. Kesän 2022 jälkeen lähes kaikki energiantuonti Venäjältä Suomeen on loppunut, lukuun ottamatta ydinpolttoaineen tuontia Loviisan ydinvoimalaan ja LNG:tä (Huttunen ym., 2024, s. 10).



Vuodesta 2020 eteenpäin päästöoikeuden noussut hinta on vaikuttanut omalta osaltaan energianhintojen nousuun. Yhdellä päästöoikeudella on oikeutettu päästämään yksi hiilidioksidiekvivalenttitonni päästöjä ilmakehään. Kohonnut päästöoikeuden hinta on tehnyt etenkin fossiilissa polttoaineilla tuotetusta energiasta entistä kalliimpaa. Päästöoikeuden hinnan kehitys on esitetty kuvassa 1. (Sandbag, 2025.)



Kuva 1. Päästöoikeuden hinta (€/tCO₂-ekv) on noussut merkittävästi vuoden 2020 jälkeen (Sandbag, 2025).

Korvatakseen Venäjältä tuotuja polttoaineita Suomen piti neuvotella uusia toimitusketjuja energiansaannin turvaamiseksi. Maakaasun toimituksia jatkettiin Virossa Baltic Connector -linjan avulla ja lisäksi tehtiin sopimus LNG-terminaalilaivasta. Myös öljykauppa neuvoteltiin onnistuneesti uudelleen ja kivihiilen tuonti lopetettiin. (Ahola ym., 2024, ss. 18-19.) Ydinvoiman osalta jouduttiin luopumaan käynnissä olleesta Hanhikivi 1 ydinvoimalahankkeesta (Ahola ym., 2024, s. 14) ja hankkimaan jatkolupa Loviisan ydinvoimalan toiminnalle vuoteen 2050 asti (Ahtokivi, 2023). Kauan rakenteilla olleen Olkiluoto 3 -laitosyksikön käyttöönotto toi myös suurta helpotusta sähköntuotannon riittävyyteen.

Haasteita on ollut myös sähkönsiirrossa sen päätyttyä Venäjältä. Haasteet ovat johtuneet etenkin SE3 siirtoyhteydestä Ruotsiin, jossa on ollut ongelmia. Pelkona on ollut etenkin suurimpina kysynnän hetkinä sähkön riittävyys asiakkaille. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi on aloitettu rakentamaan uutta Aurora Line -sähkönsiirtoyhteyttä Ruotsiin, joka otetaan käyttöön vuonna 2025. (Ahola ym., 2024, s. 23.) Aurora Line -sähkönsiirtoyhteyden

rakentaminen ja yleinen sähkönsiirtoverkon kehittäminen auttavat Suomen ilmasto- ja energiastrategian tavoitteita vihreän siirtymän ja energijärjestelmän sähköistymisen osalta. Energijärjestelmän sähköistyminen mahdollistaa puolestaan lämpöpumpputeknologian laajemman hyödyntämisen lämmityssektorilla, joka on keskeinen tekijä hukkalämmön tehokkaammassa hyödyntämisessä.

2.2 REPowerEU

Euroopan Unioni käynnisti toukokuussa 2022 REPowerEU -hankkeen, jonka tavoitteena oli päästä eroon Venäjältä tuodusta fossiilienergiasta, säästää energiaa, monipuolistaa energian tuontia ja keskittyä puhtaan energian tuottamiseen. Hankkeessa keskityttiin erityisesti maakaasuun, josta Venäjäriippuvuus oli todella merkittävä. Vuonna 2021 EU:n alueelle tuodusta maakaasusta 45 prosenttia oli peräisin Venäjältä ja tämä osuus oli onnistuttu vähentämään 15 prosenttiin vuonna 2023. Hankkeen myötä EU teki myös merkittäviä kiristyksiä ilmastotavoitteisiinsa ja päivitti energiatehokkuusdirektiivin (EED) ja uusiutuvan energian direktiivin (RED III). (European Commission, 2024.)

Päivitetty energiatehokkuusdirektiivi astui voimaan 10.10.2023 (European Commission, ei pvm.-a). Päivitetty uusiutuvan energian direktiivi astui puolestaan voimaan 20.10.2023 (European Commission, ei pvm.-b). Päivityksien myötä Suomen tavoite energian vuosittaisessa loppukulutuksessa kiristyi 239,6 terawattituntiin (TWh) ja vaatimus uusiutuvan energian osuudesta kokonaisloppuenergian käytöstä 62 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Samalla päästökaupan ulkopuolisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitetta tiukennettiin 50 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 2005. (Huttunen ym., 2024, s. 5.) Hukkalämmön tehokkaammalla hyödyntämisellä on mahdollisuus vaikuttaa jokaisen näiden tavoitteiden saavuttamiseen. Vuonna 2023 energian loppukulutus oli noin 280 TWh (Tilastokeskus, 2024a), uusiutuvan energian osuus oli 42,1 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta (Tilastokeskus, 2024b) ja päästökaupan ulkopuoliset kasvihuonekaasupäästöt olivat vähentyneet 22 prosenttia vuoden 2005 tasosta (Huttunen ym., 2024, s. 9).

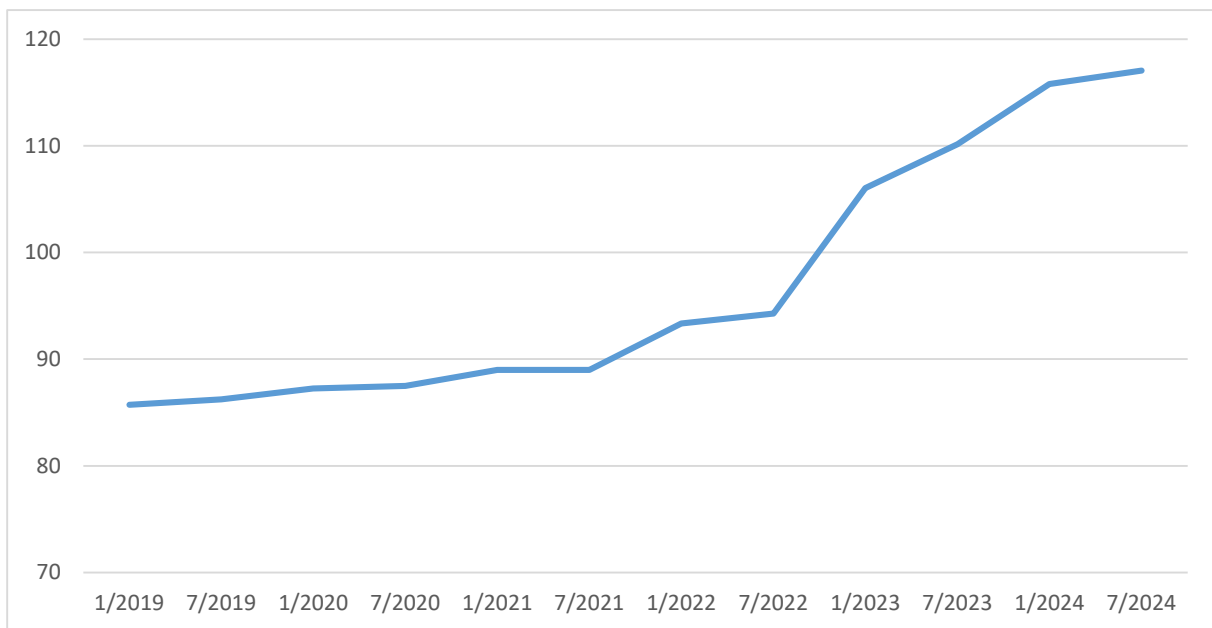
Viime vuosien aikana tapahtuneet muutokset energiamarkkinassa, Suomen kansalliseen ilmasto- ja energiastrategiaan kirjattu tavoite polttoon perustumattoman lämmöntuotannon edistämisestä ja teollisuuden sähköistyminen tukevat hukkalämpöjen tehokkaampaa



hyödyntämistä. Ostoenergian tarpeen vähentyessä kunnat, kaupungit ja yritykset olisivat energiaomavaraisempia, eivätkä olisi niin herkkiä energian hinnanvaihteluille.

2.3 Kaukolämmön hinnanmuutos Kanta-Hämeessä 2019–2024

Kanta-Hämeen alueella kaukolämpöä myy neljä isompaa yhtiötä. Yhtiöt ovat Adven Oy, Loimua Oy, Nevel Oy ja Riihimäen Kaukolämpö Oy. Adven Oy myy kaukolämpöä Hausjärvellä ja Lopella, Loimua Oy Hämeenlinnassa, Lammilla, Hauholla, Tervakoskella ja Turengissa, Nevel Oy Forssassa, Jokioisissa ja Tammelassa ja Riihimäen Kaukolämpö Oy Riihimäellä. Jokaisen yhtiön toiminta-alueella on tapahtunut merkittävää kaukolämmön hinnan nousua viimeisen viiden vuoden aikana. Valitessa tyypikäyttäjäksi 80 asunnon kerrostalo 230 kilowatin (kW) lämpöteholla, voidaan hintojen havaita nousseen alueilla 33,1–43,0 prosenttia. Kuvassa 2 esitetään keskimääräinen kaukolämmön hinnanmuutos (€/MWh) Kanta-Hämeessä edellä mainitun tyypikäyttäjän kohdalla. Hinta sisältää energiamaksun, tehomaksun ja verot. (Energiateollisuus ry, 2024.)

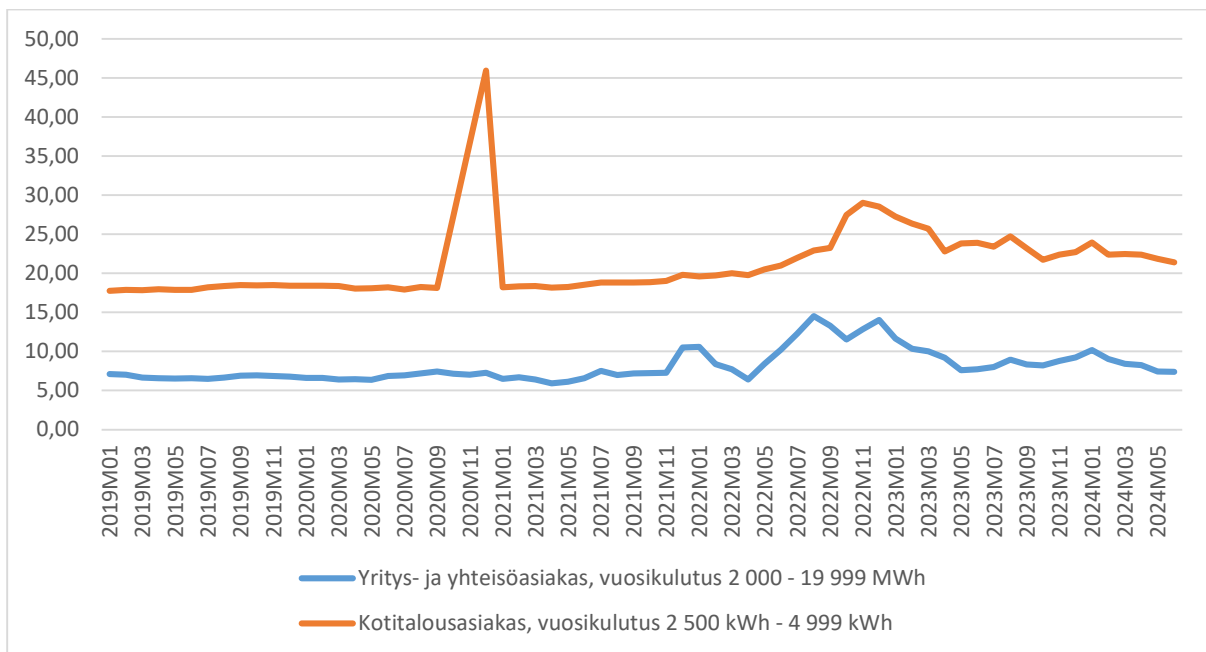


Kuva 2. Kanta-Hämeen alueen keskimääräinen kaukolämmön hinnanmuutos tammikuun 2019 ja heinäkuun 2024 välillä (€/MWh) tyypikäyttäjän ollessa 80 asunnon kerrostalo 230 kW lämpöteholla.

Kuvasta 2 nähdään keskimääräisen kaukolämmön hinnan nousseen valitulla tyyppikäyttäjällä tammikuun 2019 hinnasta 85,72 €/MWh heinäkuun 2024 hintaan 117,07 €/MWh. Hinta on noussut Kanta-Hämeessä valitulla tyyppikäyttäjällä keskimäärin 36,6 prosenttia.

2.4 Sähkön hinnanmuutos Suomessa 2019–2024

Sähkön kuluttajahinta on vaihdellut todella rajusti viime vuosien aikana. Kuvassa 3 esitetään sähkön kuluttajahinnan (snt/kWh) kehitys tammikuun 2019 ja kesäkuun 2024 välillä. Oranssi käyrä kuvastaa sähkön kokonaishintaa kotitalousasiakkaalla, jonka vuosikulutus on 2 500 – 4 999 kWh. Sininen käyrä kuvastaa sähkön kokonaishintaa yritys- ja yhtiöasiakkaalla, jonka vuosikulutus on 2000–19 999 MWh. (Tilastokeskus, 2024.)



Kuva 3. Sähkön kokonaishinnan (snt/kWh) kehitys kotitalousasiakkaalla sekä yritys- ja yhtiöasiakkaalla vuosina 2019–2024.

Kuvasta 3 havaitaan sähkön kokonaishinnan käyneen kotitalousasiakkailla erityisen korkealla loppuvuoden 2020 aikana. Yritysasiakkailla välttyttiin tältä hintapiikiltä, joka on todennäköisesti seuraus paremmasta hinnan suojauksesta. Tämän jälkeen hinta palasi hetkellisesti lähelle aikaisempaa tasoa, kunnes molemmilla kuluttajatyypeillä alkoi hinnan nousu vuoden 2021 aikana. Vuoden 2023 jälkeen hinnat alkoivat taas laskea, mutta olivat edelleen vertailujakson lopussa kotitalousasiakkailla 20,4 prosenttia ja yritys- ja yhtiöasiakkailla 4,3 prosenttia

korkeammat tarkastelujakson valittuun aloitusajankohtaan nähden. Vaikka sähkön keskihinta onkin palautunut lähelle entistä tasoa, on hinnassa tapahtuva suuri päivittäinen ja tuntinen vaihtelu jäänyt osaksi arkea.



3 Hukkalämpö

EU korostaa hukkalämmön käytössä sen hyödyntämistä erityisesti kaukolämpö- ja kaukokylmäverkoissa. Tässä tutkimuksessa selvitetään sen hyödyntämistä tämän lisäksi myös suoraan kiinteistöissä ja teollisuuden prosesseissa, sillä sen hyödyntäminen ei ole aina kustannusten tai sijainnin kannalta kannattavaa tai mahdollista kaukolämpöverkossa. Hukkalämpö- ja kylmä määritellään Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä (EU) 2018/2001 direktiivin 2 artiklan 9 alakohdassa seuraavasti:

'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;

Uusiutuvan energian osuuden rakennuksien loppuenergian kulutuksesta tulee olla vähintään 49 prosenttia vuonna 2030. Hukkalämmön ja -kylmän saa sisältää laskentaan mukaan, mutta niiden osuus loppuenergian kulutuksesta saa olla enintään 20 prosenttia. Jos niitä sisällytetään enemmän laskentaan mukaan, kasvattaa se uusiutuvan energian osuutta puolella hyödynnetystä määrästä. (*Euroopan Parlamentin Ja Neuvoston Direktiivi (EU) 2018/2001*, artikla 15 a.)

Uusiutuvan energian osuutta tulee lisätä teollisuuden loppuenergian käytöstä keskimäärin 1,6 prosenttia vuodessa kausina 2021–2025 ja 2026–2030. Laskentaan saa sisällyttää 0,4 prosenttia hukkalämpöä ja -kylmää, mutta se kasvattaa puolella uusiutuvan energian osuutta energian loppukäytössä hyödynnetyn hukkalämmön määrästä. Hukkalämmön tai -kylmän tulee olla peräisin tehokkaasta kaukolämmitysverkosta tai kaukokylmäverkosta ellei hyödynnetä paikallista verkkoa, jossa ei myydä lämpöenergiaa vaan kaikki lämmitysenergia käytetään itse. (*Euroopan Parlamentin Ja Neuvoston Direktiivi (EU) 2018/2001*, artikla 22 a.)

Uusiutuvan energian osuutta tulee lisätä vuosittain myös lämmityksessä ja jäähdytyksessä vähintään 0,8 prosenttia kautena 2021–2025 ja 1,1 prosenttia kautena 2026–2030. Laskentaan saa sisällyttää 0,4 prosenttia hukkalämpöä ja -kylmää, mutta se kasvattaa puolella uusiutuvan energian osuutta energian loppukäytössä hyödynnetyn hukkalämmön määrästä.



Vuotuisen lisäyksen enimmäismäärä saa olla kaudella 2021–2025 enintään 1,0 prosenttia ja kaudella 2026–2030 1,3 prosenttia. (*Euroopan Parlamentin Ja Neuvoston Direktiivi (EU) 2018/2001*, artikla 23.)

Hukkalämpöä syntyy esimerkiksi teollisuuden prosesseissa, erilaisissa jäähdytys- ja kylmäjärjestelmissä ja poistoilman mukana. Hukkalämmön potentiaalia Suomessa on arvioitu useammassa eri tutkimuksessa. Tässä luvussa käsitellään useamman eri tutkimuksen tuloksia teollisuuden ja kaupan alan hukkalämmöstä sekä muita keskeisiä hukkalämmön lähteitä.

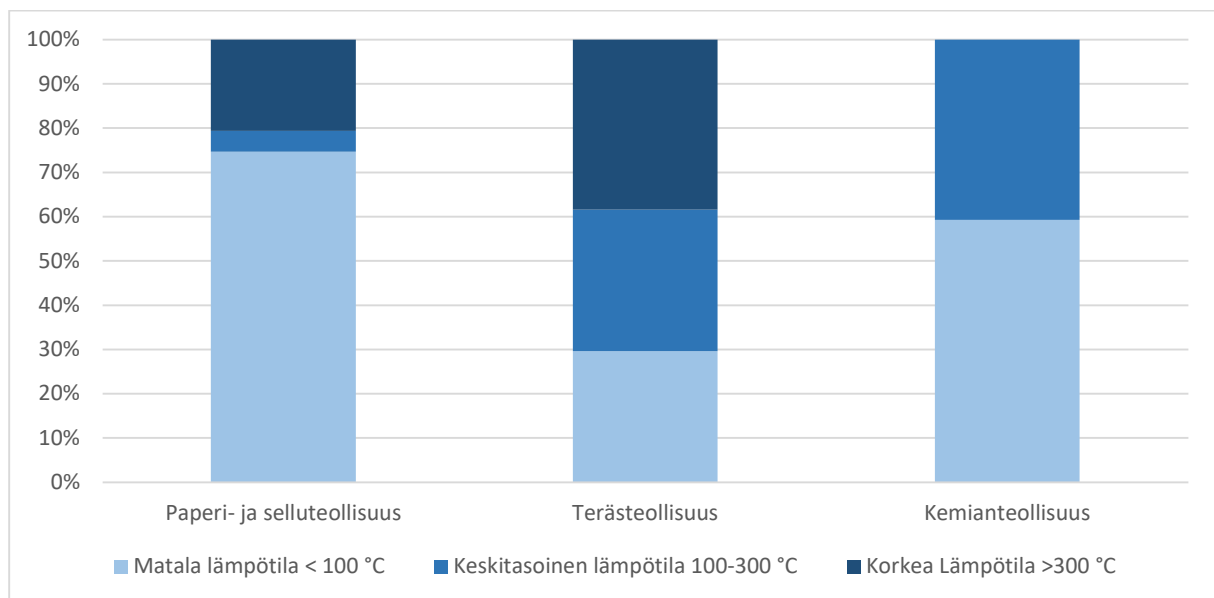
3.1 Energiatehokkuusdirektiivin mukainen hukkalämpöpotentiaali

Uimonen & Patronen (2020) ovat arvioineet Työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM) tekemässään selvityksessä energiatehokkuusdirektiivin liitteen VIII osan 1 (2b) mukaisten teollisuuslaitosten hukkalämpöpotentiaalia. Näitä ovat yli 50 MW lauhdelaitokset, kaikki jätteenpolttolaitokset, yli 20MW teollisuuslaitokset, yli 20 MW CHP-laitokset, yli 20 MW uusiutuvan energian lämpölaitokset ja yli 5 MW konesalit. Direktiivissä mainittujen laitosten lisäksi selvityksessä huomioitiin myös pienempiä laitoksia, kuten 5–20 MW teollisuuslaitokset, 10–20 MW CHP-laitokset, 10–20 MW uusiutuvan energian lämpökattilat ja 0,5–5 MW konesalit. Selvityksessä on huomioitu vain kaukolämpöverkossa tai kaukokylmäverkossa käytettävän hukkalämpöpotentiaalin määrä, sillä selvityksessä hukkalämpöä käsitellään Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EU) 2018/2001 mukaisesti. Hukkalämmön hyödyntäminen itse teollisuuslaitoksen alueella tulkittaisiin energiatehokkuustoimenpiteeksi varsinaisen hyödyntämisen sijaan. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna Suomessa syntyvän hukkalämmön määräksi arvioitiin noin 130 TWh, josta teknisesti hyödynnettävissä olisi vielä noin 35 TWh. Selvityksen aikana kaukolämpöverkossa hyödynnettiin noin 3 TWh hukkalämpöä. Selvityksessä havaittiin suurimman potentiaalin olevan yli 20 MW teollisuuslaitoksilla, joiden hukkalämpöpotentiaaliksi arvioitiin 15 TWh. Lauhdelaitosten potentiaaliksi arvioitiin 16 TWh, mutta tämä sisälsi oletuksen, että Loviisan ydinvoimalan tuottama lauhdelämpöä käytettäisiin pääkaupunkiseudun lämmittämiseen.



3.2 Suomen teollisuuden hukkalämpöpotentiaali

Bianchi et al. (2019) ovat puolestaan arvioineet tutkimuksessaan Suomen teollisuuden teoreettiseksi hukkalämpöpotentiaaliksi 37,5 TWh. Tästä merkittävin osa on peräisin paperi- ja selluteollisuudesta (20,9 TWh). Tämän jälkeen merkittävimmät hukkalämmön lähteet ovat terästeollisuus (3,4 TWh) ja kemianteollisuus (3,4 TWh). Näiden kolmen merkittävimmän hukkalämmön lähteen lämpötilatasot esitetään kuvassa 4. Muita merkittäviä hukkalämpöä tuottavia teollisuuden aloja ovat puutuoteteollisuus (2,0 TWh) ja elintarviketeollisuus (1,6 TWh).

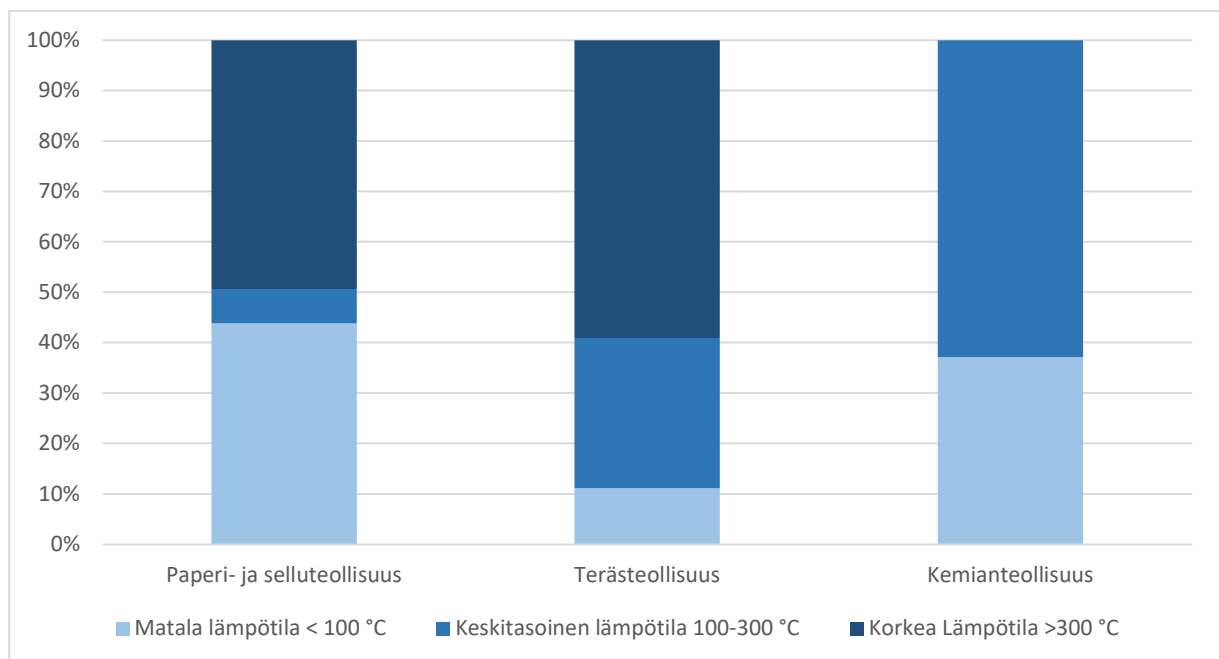


Kuva 4. Paperi- ja selluteollisuuden, terästeollisuuden ja kemianteollisuuden hukkalämpöjen lämpötilatasot teoreettisen potentiaalin mukaan (Bianchi ym., 2019).

Kuvasta 4 voidaan havaita, että suuri osa hukkalämmöstä on matalan tai keskitason lämpötilan hukkalämpöä. Tämä on tyypillistä lähes kaikilla teollisuuden aloilla. Ainoastaan ei-metallisten mineraalien- ja värimetalliteollisuuden parissa syntyvä hukkalämpö on suurimmalta osin korkeassa lämpötilassa (75,5 % ja 86,5 %), mutta näiden alojen hukkalämpöpotentiaali on Suomessa vähäisempi (0,7 TWh ja 0,4 TWh). (Bianchi ym., 2019.)

Carnot-potentiaalin kautta tarkasteltuna saadaan realistisempi kuva oikeasti hyödynnettävissä olevan hukkalämmön potentiaalista. Menetelmä huomioi paremmin hukkalämmön

lämpötilatason ja rajaa potentiaalista pois matalan lämpötilan hukkalämpöä. Tämä johtuu siitä, että lähtökohtaisesti korkeamman lämpötilan hukkalämpö on helpommin hyödynnettävissä. Carnot-potentiaalin kautta merkittävimmät hukkalämpöpotentiaalit löytyvät edelleen paperi- ja selluteollisuudesta (3,8 TWh), terästeollisuudesta (1,2 TWh) ja kemianteollisuudesta (0,7 TWh), mutta potentiaali on huomattavasti teoreettista potentiaalia vähäisempi. Tästä perspektiivistä hyödynnettävissä olevan hukkalämmön lämpötilataso jakautuu kuvan 5 mukaan. (Bianchi ym., 2019.)



Kuva 5. Paperi- ja selluteollisuuden, terästeollisuuden ja kemianteollisuuden hukkalämmön lämpötilataso carnot-potentiaalin mukaan (Bianchi ym., 2019).

Kuvasta 5 havaitaan, että carnot-potentiaalin mukaan matalan lämpötilan hukkalämmön hyödyntäminen on huomattavasti haastavampaa, kuin korkean lämpötilan. Tämän vuoksi sen osuus potentiaalista on todellisuudessa huomattavasti vähäisempi, kuin teoreettisen potentiaalin mukaan.

3.3 Kaupan alan hukkalämpöpotentiaali

Martin & Koikkalainen (2021) selvittivät Motivan tilauksesta kaupan alan hukkalämpöpotentiaalia. Kaupan alalla hukkalämpöä syntyy pääsääntöisesti kolmesta eri

lähteestä. Nämä lähteet ovat kaupan poistoilma, kylmäjärjestelmän lauhde-energia ja tilojen jäähdytysjärjestelmään sitoutunut lämpöenergia. Tutkimuksen aikana kaupan alalla hukkalämmöstä hyödynnettiin 10–16 prosenttia. Tutkimuksessa kaupan alan jäljellä olevaksi hukkalämpöpotentiaaliksi arvioitiin päivittäistavarakaupoissa 797 GWh/vuosi, kauppakeskuksissa 113 GWh/vuosi ja tavarataloissa 20 GWh/vuosi.

3.4 Muu potentiaali

Asuinrakennukset

Asuinrakennuksien hukkalämpöpotentiaali sijaitsee poistoilmassa, jätevesissä ja jäähdytysjärjestelmissä. Suurin potentiaali piilee asuinrakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanpoisto ilman lämmöntalteenottoyksikköä. Kyseinen ilmanvaihtoratkaisu oli erittäin suosittu 1960–1990-luvuilla, mutta ratkaisua löytyy myös tämän jälkeen asuinrakennuksista, jotka on rakennettu ennen vuotta 2002, jonka jälkeen poistoilman lämmöntalteenotto tuli pakolliseksi uudisrakennuksissa. (Korpela ym., 2022.)

Uimahallit

Suomessa on noin 200 uimahallia. Uimahallit ovat usein kuntien omistuksessa ja niiden energiankäyttö on suurimpia yksittäisiä kulueriä kunnille. Uimahallien ostoenergian tarpeesta olisi leikattavissa osa hukkalämmön talteenotolla. Merkittävimmät mahdollisuudet tähän tarjoavat uimahallin lämpimät jätevedet, jotka syntyvät pesuvesistä ja suodattimien huuhteluviesistä sekä lämmöntalteenotto allasosaston poistoilmasta. (Koski, 2022, ss. 17–23.)

Jäähallit

Suomessa on melkein 250 jäähallia, jotka kuluttavat paljon energiaa (Koski 2022, 15). Energiaa kuluu etenkin jään jäätyneenä pitämiseen ja jäähallin tuloilman lämmittämiseen. Kaikissa jäähalleissa ei vielä hyödynnetä tehokkaasti hukkalämpöä osana energiatehokkuutta. Hukkalämpöä syntyy etenkin lauhdelämmöstä, joka on peräisin jäätä poistetusta lämpöenergiasta. Tätä lämpöä olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi lämmöntalteenottoratkaisun avulla hallin tuloilman lämmittämisessä ja lattialämmityksessä. (Aalto-yliopisto ym., ei pvm., ss. 2–3.)

Jätevedenpuhdistamot

Jätevedenpuhdistamoilla on useampi hukkalämmönlähde. Yksi merkittävimpiä lähteitä on puhdistettu jätevesi. Jäteveden lämpötila vaihtelee vuoden aikana pääasiassa 5–20 °C välillä ja sen lämpötila ja määrä on yleisesti helposti ennustettavissa. Muita merkittäviä hukkalämmönlähteitä ovat puhdistamoiden ilmanvaihto sekä ilmastukseen käytettävien kompressoreiden hukkalämpö. Näistä kohteista talteen otettua lämpöä on mahdollista hyödyntää rakennusten lämmityksessä, puhdistusprosessissa tai kaukolämpöverkossa. (Linjama, 2021.)

Datakeskukset

Datakeskukset kuluttavat paljon sähköä ja kulutettu sähkö palvelimilla muuttuu lähes kokonaan lämmöksi. Tämän vuoksi ne vaativat jatkuvaa jäähdyttämistä. Jäähdytyksessä talteen otettava lämpö on tavallisesti korkeintaan 35 °C. Syntyvän lämmön määrä on yleensä niin suuri, että sitä syntyy yli omien tarpeiden, joten sitä tulisi pystyä hyödyntämään omien toimintojen lisäksi esimerkiksi kaukolämpöverkossa tai alueellisessa lämpöverkossa. Hukkalämmön ollessa korkeintaan 35°C, lämpötilaa pitää korottaa kaukolämpöverkkoa varten esimerkiksi lämpöpumpun avulla. Kaukolämpöliittymän tilaaminen ja lämpöpumppuinvestointi tulevat kalliiksi, ja hukkalämmön myynnistä kaukolämpöyhtiölle ei tavallisesti saa isoja tuloja. (Lavento, 2022.) Tämän vuoksi datakeskuksilla ei ole aiemmin ollut suurta mielenkiintoa lämmön myyntiä kohtaan, mutta uuden EU-lainsäädännön kautta datakeskuksilta vaaditaan tiukempia energiatehokkuustoimenpiteitä. Noudattamalla energiatehokkuusvaatimuksia koskien hukkalämmön hyödyntämistä, datakeskukset pääsevät ainakin toistaiseksi hyötymään alemmasta sähköveroluokasta II (Verohallinto, 2025). Datakeskusten mahdollista siirtämistä pois sähköveroluokasta II käsitellään enemmän kappaleessa 3.7.

Suomeen suunnitellaan jatkuvasti uusia datakeskuksia. Elinkeinoelämän keskusliiton (2025) datasta voidaan havaita, että vuoden 2025 aikana kesäkuuhun mennessä on jo 22 uutta datakeskushanketta vähintään esiselvitysasteella. Kanta-Hämeen alueelle on suunnitteilla kuitenkin vain yksi datakeskus Forssaan. Laitoksen suunniteltu kapasiteetti on 450 MW.



Vetyteollisuus

Vihreän vedyn valmistamisen elektrolyysiprosessissa syntyy merkittävä määrä hukkalämpöä. Elektrolyysiprosessissa vedestä erotetaan vety ja happi toisistaan hyödyntämällä sähköenergiaa. Tästä sähköenergiasta arviolta 17–22 prosenttia muuttuu hyödynnettävissä olevaksi hukkalämmöksi. Hukkalämmön lämpötila on elektrolyysiprosessista riippuen noin 40–80 °C. (Kiviranta ym., 2023.) Elinkeinoelämän keskusliiton (2025) mukaan Suomessa on käynnistynyt kaksi vihreän vedyn tuotantolaitosta ja tämän lisäksi neljä on saanut investointipäätöksen. Nämä neljä ovat kooltaan pieniä testilaitoksia tai tankkausasemia.

3.5 Haasteet hukkalämmön hyödyntämisessä

Christodoulides ym. (2022) suorittivat tutkimuksen syistä hukkalämmön heikkoon hyödyntämiseen EU:n alueella. Tutkimuksessa tehtiin kirjallisuuskatsaus aikaisemman tutkimuksen osalta ja sen pohjalta luotiin kysely EU:n alueella toimiville teollisuusyrityksille, jossa kartoitettiin niiden tilannetta hukkalämmön hyödyntämisen osalta. Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin kymmenen pääasiallista syytä hukkalämmön heikkoon hyödyntämiseen. Nämä olivat:

- informaation puute
- tietämättömyys hukkalämpöteknologiaa kohtaan
- teknologiaan liittyvät riskit
- teknologian korkeat kustannukset
- taloudellisten kannustimien ja tuen puute
- tilojen sopimattomuus teknologian hyödyntämiseen kokonsa puolesta
- puutteet käytettävissä olevassa infrastruktuurissa
- rajoitteet tuotannossa ja tuotannon mahdolliset häiriöt
- järjestelmän mahdollinen negatiivinen vaikutus yrityksen toimintoihin
- rajoitteet politiikassa ja säännöksissä



Tutkimuksessa suoritettuun kyselyyn osallistui yhteensä 46 yritystä yhdestätoista eri maasta. Näistä yrityksistä 30 tunnisti tuottavansa hukkalämpöä jossain vaiheessa prosessiaan, 28 oli tutkinut niiden hyödyntämistä sisäisesti ja kahdeksan ulkoisesti. Yritykset tunnistivat kolmeksi suurimmaksi esteeksi hukkalämmön hyödyntämiseen puutteen informaation ja teknologian tuntemiseen liittyen, korkeat alkukustannukset sekä kannustimien ja taloudellisen tuen puutteen.

Auvinen ym. (2021) selvittivät puolestaan hukka- ja ympäristölämmön kasvun esteitä ja edistämiskeinoja kaukolämpöverkoissa osana Canemure -hanketta. Tutkimus toteutettiin syyskuun 2020 ja huhtikuun 2021 välillä. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti kaukolämpöyhtiöiden näkökulmaan, mutta siinä huomioitiin myös suurimpien hukkalämmön tuottajien, kuten jätevesiyhtiöiden, konesalien omistajien ja isojen kiinteistönomistajien näkökanta. Molemmat osapuolet ovat havainneet haasteiksi:

- investointien kannattavuuden
- näkemyserot hukkalämmön taloudellisesta arvosta
- lämmöntuotannon ja sen tarpeen ajallinen kohtaaminen

Näiden yhteisten haasteiden ratkaisemiseksi hukkalämmön taloudellisesta arvosta tulisi päästä sopuun, lämpöä tulisi pystyä varastoimaan ajankohtiin, joissa sille on kysyntää ja tarjota enemmän investointitukia teknologioiden käyttöönottoon. Yhteisten haasteiden lisäksi kaukolämpöyhtiöt kokivat suurimpina haasteinaan ilmastopolitiikkaan ja energiamurrokseen liittyvät epävarmuudet ja hukkalämmön lähteen pysyvyyden. Hukkalämmön tuottajat puolestaan kokivat haasteiksi yhteistyön kaukolämpöyhtiöiden kanssa, erot toimijoiden kulttuurissa ja kaukolämpöyhtiön monopoliaseman.

3.6 Tuet hukkalämmön hyödyntämiseen

Hukkalämmön hyödyntämisen potentiaalia on parantanut lämpöpumppujen sähköveron alentaminen. Aiemmin korkea sähkövero oli yksi keskeisimpiä esteitä hukkalämpöinvestointien kannattavuudelle, ja sen alentamista toivoivat niin kaukolämpöyhtiöt kuin suurimmat hukkalämmöntuottajat (Auvinen ym., 2021, s. 50). Sähköveroluokka II alennettiin EU:n minimitasolle vuoden 2021 alussa (Korpelan Voima, 2021) ja se otettiin



(63)

29.8.2025

käyttöön niille vähintään 0,5 MW konesaleille 31.12.2021, jotka noudattivat laissa säädettyjä energiatehokkuuskriteerejä. Lämpöpumput ja sähkökattilat, jotka tuottavat lämpöä kaukolämpöverkkoon ja ovat teholtaan vähintään 0,5 MW, siirtyivät sähköveroluokkaan II 1.7.2022 alkaen. Geotermisten lämpölaitosten kiertovesipumput siirrettiin sähköveroluokkaan II samaan aikaan. (Verohallinto, 2025.) Datakeskuksien osalta tähän kuitenkin saattaa tulla muutos, sillä hallitus on ehdottanut datakeskuksien siirtämistä sähköveroluokkaan I huhtikuussa 2025. Tämän on arvioitu lisäävän vuosittain verotuloja 47 miljoonalla eurolla. (Valtiovarainministeriö, 2025.)

Energiatuki

Business Finland voi myöntää energiatukea teollisuudessa uutta teknologiaa edistäville hankkeille, joita hyödynnetään kaupallisesti ja joilla tuetaan sähköjärjestelmän säätökykyä sekä parannetaan energiatehokkuutta. Tuki keskittyy nimenomaan uutta teknologiaa edistäville hankkeille ja sitä myönnetään ensisijaisesti hankkeille, joiden teknologiaa käytetään ensimmäisiä kertoja. Tuen saamiseksi investointikustannusten tulee olla energiatehokkuusprojekteissa vähintään 10 000 euroa ja uusiutuva energian hankkeissa 30 000 euroa. Kustannusten yläraja on 5 miljoonaa euroa. Tukea voi saada yli 1 MW lämpöpumppuihin, jos kyseessä on uuden teknologian hanke, matalalämpöverkkoon liitettävä hanke tai hukkalämpöä hyödyntävään lämpöpumppu, jonka teho on korkeintaan 5 MW. Hukkalämpöä hyödyntävään yli 5 MW lämpöpumppuhankkeeseen voi saada tukea myös, jos kyseessä on uuden teknologian hanke. (Business Finland, 2024.) Yli 5 miljoonan euron hankkeille voidaan myöntää uuden energiateknologian ja suurten demonstraatiohankkeiden tukea Työ- ja elinkeinoministeriöltä (Työ- ja elinkeinoministeriö, ei pvm.). Uuden teknologian hankkeissa tuen määrä on 30–40 prosenttia, uusiutuvan energian hankkeissa 15–30 prosenttia, energiatehokkuushankkeissa 15–25 prosenttia ja katselmus- ja selvityshankkeissa 40–50 prosenttia. Tukea hakevan yrityksen liittyminen energiatehokkuussopimukseen voi vaikuttaa merkittävästi saatavan tuen määrään. (Business Finland, 2024.)

Teollisuuden sähköistämistuki

Energiavirasto myöntää sähköistämistukea energiantensiivisen teollisuuden tarpeisiin, joilla on merkittävä riski hiilivuodoille. Näitä toimialoja ovat esimerkiksi teräksen tuotanto,



värimetallien valmistus ja paperin, kartongin ja pahvin valmistus. Alat määritellään tarkemmin Sähköistämistukilain 493/2022 liitteessä 1. Tukea hakevan yrityksen tulee olla tehnyt energiatehokkuuslain (1429/2014) mukainen energiakatselmus tai sillä tulee olla vapautus sen tekemisestä. Yrityksen sähkönkulutuksesta vähintään 30 prosenttia tulee olla tuotettu hiilettömillä lähteillä. Tukijärjestelmä on määräaikainen ja sitä myönnetään tarkasteluvuosien 2021–2025 tietojen perusteella. Tukea on myös mahdollista saada hukkalämmön hyödyntämiseen tietyin reunaehdoin. Hukkalämpöä jalostavia sähkölaitteita tulee hyödyntää tukea oikeuttavien tuotteiden valmistuksessa. Jos hukkalämpöä käytetään muuhun kuin tukeen oikeuttavaan prosessiin, sen jalostamiseen käytettävä sähkö ei ole tukikelpoista. Tukea voi saada kuitenkin lämmöntalteenottoon liittyvästä sähkönkulutuksesta, mikäli se on otettu talteen tukeen oikeuttavan tuotteen valmistuksesta, vaikka itse lämpö hyödynnettäisiin prosessissa, jolla ei ole oikeutta tuen saantiin. (Energiavirasto, ei pvm.)



4 Hukkalämpöteknologiat

Hukkalämmön hyödyntäminen vaatii aina kolme asiaa: hukkalämmön lähteen, teknologian sen hyödyntämiseen ja käyttökohteen. Hukkalämmön hyödyntämisen alueet jaetaan tavallisesti neljään pääryhmään. Nämä ovat:

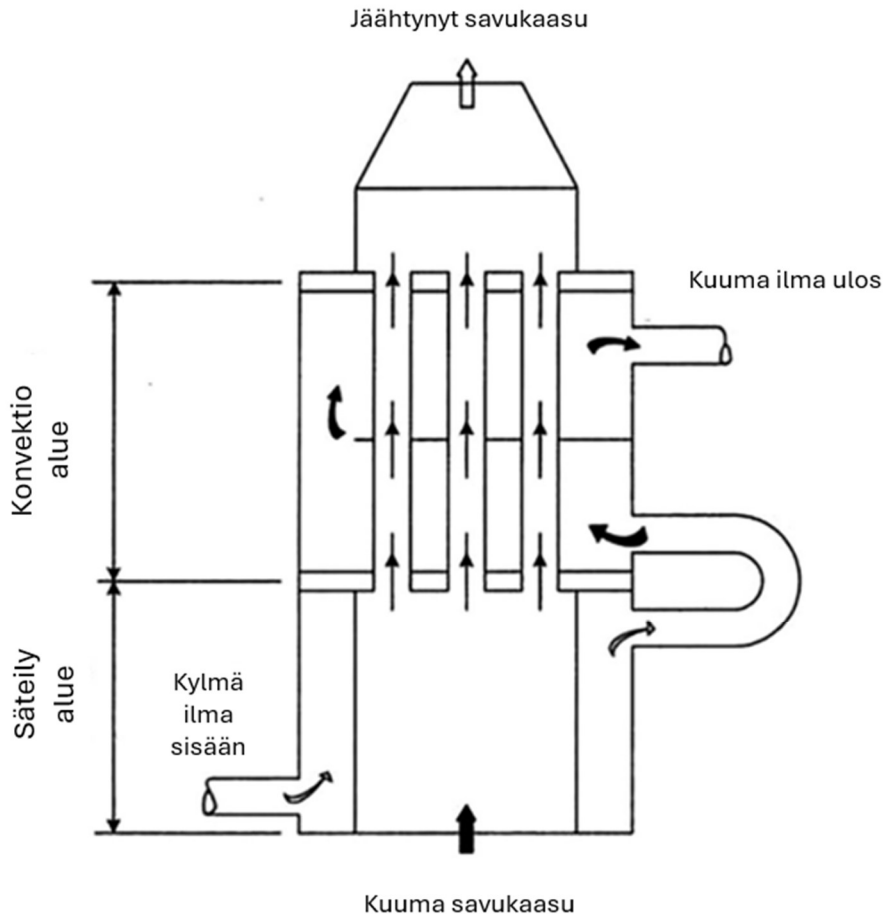
hukkalämmön hyödyntäminen kierrättämällä se takaisin käyttöön samaan prosessiin, jossa sitä syntyi, hyödyntäminen toisessa lämpöä vaativassa prosessissa, hyödyntäminen kaukolämpöverkossa ja sähkön tuotanto osana yhteistuotantoratkaisua (Christodoulides ym., 2022, s. 2). Hukkalämpö voidaan jakaa myös lämpötilan mukaan kolmeen eri kategoriaan: matalan lämpötilan, keskitasoisen lämpötilan ja korkean lämpötilan hukkalämpöön. Matalan lämpötilan hukkalämpö on alle 100°C, keskilämpötilan 100–300°C ja korkean lämpötilan yli 300°C (Bianchi ym., 2019, s. 214). Hukkalämpöä on tavallisesti sitä kannattavampi hyödyntää, mitä korkeammassa lämpötilassa sitä on saatavilla.

4.1 Korkean lämpötilan teknologiat

Korkean lämpötilan hukkalämpö on yli 300°C. Korkean lämpötilan hukkalämmön osuus on kaikista pienin hukkalämmön lämpötilatasoista, mutta sitä on kaikista tehokkain hyödyntää.

4.1.1 Rekuperaattorit

Rekuperaattorit ovat tyypillisesti metallista tai keramiikasta valmistettuja lämmönsiirtimiä, joita käytetään korkean ja keskilämpötilan hukkalämmön hyödyntämisessä. Keraamiset materiaalit sopivat metallisia paremmin kaikista kuumimmille lämpötilatasoille. Rekuperaattoreita käytetään etenkin savukaasujen lämmöntalteenotossa palamisilman esilämmittämistä varten, mikä parantaa prosessin hyötysuhdetta. Lämmönsiirto tapahtuu rekuperaattorin rakenteen mukaan säteilemällä, konvektiolla tai näiden yhdistelmällä (kuva 6). Säteilyyn pohjautuvassa lämmönsiirrossa savukaasukanavan seinämiin asennetaan ohuita metalliputkia, joiden sisällä virtaa esilämmitystä kaipaava palamisilma. Kuuma savukaasu luovuttaa lämpöenergiaa säteilemällä viileään ilmaan metalliputkien seinämien läpi. Konvektioon perustuvassa lämmönsiirrossa savukaasukanavaan asennetaan ohuista putkista koostuva runko, joiden läpi kuumat savukaasut virtaavat. Lämmitystä kaipaava ilma johdetaan tämän rungon läpi ja lämpöenergia siirtyy konvektion avulla kuumista putkista ilmaan. (Jouhara ym., 2018, s. 271.)



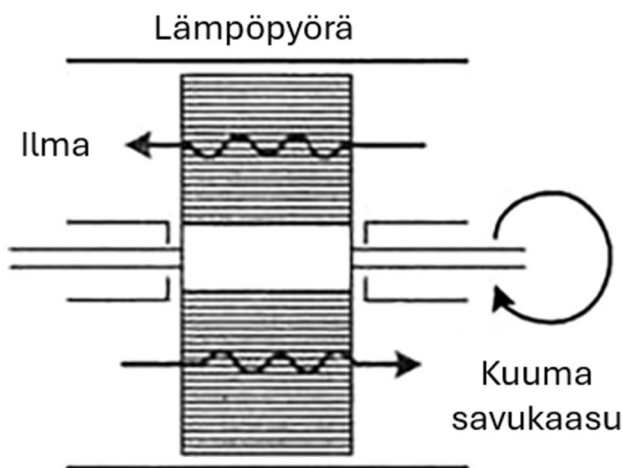
Kuva 6. Säteilyn ja konvektion yhdistelmällä toimivan rekuperaattorin toimintaperiaate (mukaillen Jouhara ym., 2018, s. 272).

4.1.2 Regeneraattorit

Regeneraattorit ovat lämmönsiirtimiä, joissa siirrettävä lämpö sidotaan korkealämpöisestä kaasusta (savukaasu) ensin väliaineeseen, joka luovuttaa lämmön kylmälle kaasulle (palamisilma). Tekniikkaa hyödynnetään esimerkiksi lasiuuneissa ja teräksen sulatusuuneissa. Tekniikassa käytetään kahta kammiota, joissa molemmissa on väliainerakenne, johon lämpöä voi sitoa ja purkaa. Palamisilma johdetaan uuniin kuuman väliaineen läpi, joka esilämmittää ilman prosessia varten. Palamisprosessissa syntyneet kuumat savukaasut johdetaan lämmittämään toisen kammion kylmää väliainetta. Kun ensimmäisen kammion väliaine on jäähtynyt tietylle tasolle ja toisen kuumentunut riittäväälle

tasolle, prosessi käännetään toimimaan toisinpäin. Tekniikka on yleensä todella suuri kokoista, mikä johtaa suuriin investointikustannuksiin ja voi toimia esteenä investoinnille. (Jouhara ym., 2018, ss. 271–272.)

Lämpöpyörät kuuluvat myös tähän tekniikkaan. Lämpöpyörä pyörii rinnakkaisten kylmän ja kuuman virtauksen välillä sitoen lämpöä kuumasta ilmavirtauksesta ja luovuttaen sen pyörähtäessään ympäri kylmälle ilmavirralle. Lämpöpyörän toiminta havainnollistetaan kuvassa 7. Lämpöpyörä on valmistettu yleensä huokoisesta materiaalista, mikä tekee siitä paremmin soveltuvan matalammalle lämpötilatasolle. Keraamisista materiaaleista valmistetut lämpöpyörät tosin sopivat hyvin kuumille lämpötiloille. Tekniikkaa pystyy käyttämään vain tilanteissa, joissa virtauksien sekoittuminen keskenään ei haittaa, sillä sitä ei pystytä täysin välttämään. (Jouhara ym., 2018, ss. 272–273.)



Kuva 7. Lämpöpyörän toimintaperiaate (mukailtu Jouhara ym., 2018, s. 272).

4.1.3 Regeneratiiviset ja rekuperatiiviset polttimet

Regeneratiivisilla ja rekuperatiivisilla polttimilla on mahdollisuus parantaa energiatehokkuutta perinteisiin polttimiin verrattuna hyödyntämällä savukaasuja palamisilman esilämmittämiseen ennen sen sekoittamista polttoaineen sekaan. Toimintaperiaate on samanlainen rekuperaattoreiden ja regenaattoreiden kanssa. **Rekuperatiivisessa polttimessa** on sisäänrakennettuna lämmönsiirrin, joka siirtää lämpöä kuumasta savukaasusta palamisilmaan savukaasun kulkiessa polttimen läpi. **Regeneratiivisessa polttimessa** toimintaperiaate

perustuu pareittain vuorotellen toimivaan kahteen polttimeen. Ensimmäisen polttimen ollessa toiminnassa savukaasut johdetaan toisen polttimen yhteydessä olevan kotelon läpi. Kotelon sisällä olevaan palamattomaan materiaalin varastoituu lämpöenergiaa savukaasuista. Materiaalin saavuttaessa halutun lämpötilan, toinen poltin käynnistyy ja lämpövarastosta syötetään lämpöenergiaa polttimen palamisilmalle. Tällöin ensimmäinen poltin sammuu ja savukaasuilla lämmitetään sen yhteydessä olevan kotelon sisältämää palamatonta materiaalia. (Jouhara ym., 2018, s. 269.)

4.1.4 Jätelämpökattilat

Jätelämpökattilat toimivat samalla periaatteella kuin perinteiset voimalaitokset. Niiden tarkoituksena on höyrystää vettä kattilan sisällä, mutta hyödyntämällä teollisuuden prosessissa syntyneitä kuumia savukaasuja varsinaisen polttoprosessin sijaan. Höyryn avulla voi tuottaa sähköä tai hyödyntää sitä omissa höyryä vaativissa prosesseissa. Tekniikka vaatii todella korkeita lämpötiloja ja sen toimintaa voi tehostaa liittämällä prosessiin muita hukkalämpöteknologioita. (Jouhara ym., 2018, s. 271.)

4.2 Keskilämpötilan teknologiat

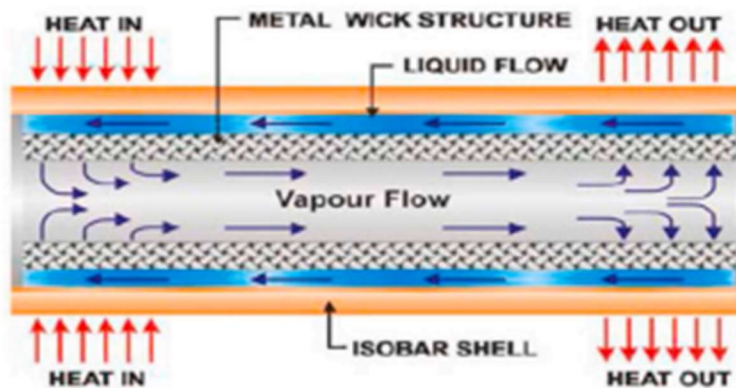
Keskilämpötilan hukkalämmön lämpötila on 100–300 °C. Sen parissa käytetyt teknologiat voivat soveltua myös kuuman tai matalan lämpötilan hukkalämmölle sillä teknologian toimintarajat eivät ole täysin absoluuttisia.

4.2.1 Passiiviset ilman esilämmittimet (PAP)

Passiivisessa ilman esilämmityslaitteessa (PAP) lämpöä siirretään kahden fluidin välillä. Laitteiden etu on siinä, että fluidit eivät pääse sekoittumaan helposti keskenään ja sen vuoksi niitä voi hyödyntää likaisten lämmönlähteiden, esimerkiksi pakokaasujen lämmöntalteenotossa. Tekniikkaa käytetään sekä keskilämpötilan hukkalämmön että matalan lämpötilan hukkalämmön kanssa. Kyseiseen lämmönsiirtotekniikkaan kuuluvat **lämpöputket** ja **levylämmönsiirtimet**. Levylämmönsiirtimissä on kasattuna rinnakkain monta lämmönsiirtolevyä. Joka toisessa levyn välissä virtaa kuuma fluidi ja joka toisessa kylmä fluidi, jolloin lämmönsiirtopinta-ala muuttuu todella suureksi. Laitteisto on kuitenkin suhteellisen kallis

ja herkkä likaantumiselle, jolloin sen lämmönsiirtokyky heikkenee. (Ononogbo ym., 2023, ss. 5–7.)

Lämpöputket ovat suljettuja säiliöitä, jonka sisärakenteen ulkokehä muodostuu wick-rakenteesta ja se sisältää kiertoainetta, joka voi tyypillisesti olla vettä tai ammoniakkaa. Lämpöputki voidaan toiminnallisesti jakaa kolmeen eri osaan. Nämä osat ovat höyrystymisosa, adiabaattinen siirto-osa ja lauhdutinosa. Lämpöputken höyrystymisosaan johdetaan lämpöä lämmönlähteestä, joka saa putken sisällä olevan kiertoaineen höyrystymään ja muodostunut höyrnpaine saa sen kulkemaan adiabaattisen siirto-osan halki lauhdutinosaan. Lauhdutinosassa höyry lauhtuu luovuttaessaan lämpöenergian lämpönieluun. Lauhtunut kiertoaine kulkee takaisin höyrystymisosaan wick-rakennetta pitkin kapillaaripaineen avulla. (Jouhara ym., 2018, ss. 273-275.) Lämpöputkien etu on niiden pitkä elinkaari liikkuvien osien puuttumisen vuoksi, kompakti koko ja toimintavarmuus (Ononogbo ym., 2023, s. 6). Lämpöputken rakenne esitetään kuvassa 8.



Kuva 8. Lämpöputken rakenne (Ononogbo ym., 2023, s. 6).

4.2.2 Ekonomaiserit

Ekonomaiserit tunnetaan myös ripaputkilämmönsiirtiminä. Lämmönsiirtotekniikkaa käytetään pääasiassa keskilämpötilan ja matalan lämpötilan hukkalämmön talteenotossa ja lämpöä siirretään yleensä nesteeseen. Ripaputkien ansiosta lämmönsiirtopinta-ala saadaan suureksi, mikä tehostaa lämmönsiirtoa. Ekonomaisereita hyödynnetään esimerkiksi kattilatekniikassa,

jossa ne on sijoitettu savukaasukanavaan ottamaan lämpöä talteen savukaasuista ripaputkien läpi kulkevaan syöttöveteen. (Jouhara ym., 2018, s. 270.)

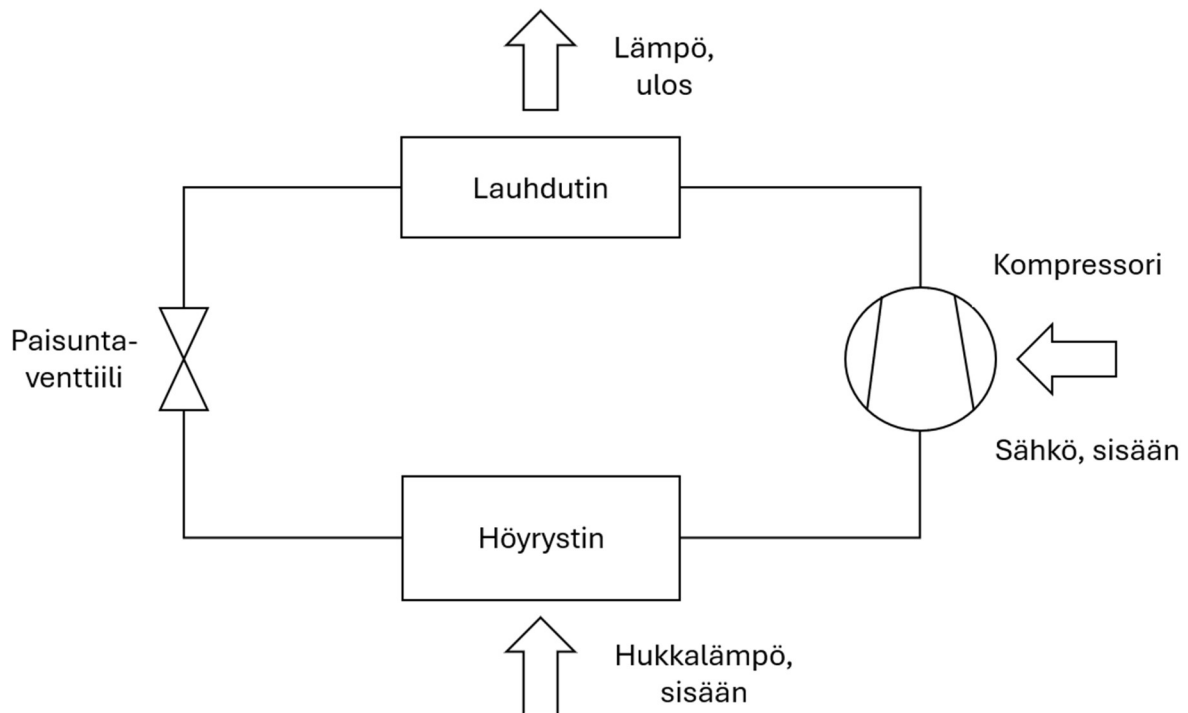
4.3 Matalan lämpötilan teknologiat

Valtaosa hukkalämmön lähteistä on matalassa lämpötilassa (<100 °C), mikä hankaloittaa niiden tehokasta käyttöä (Bianchi ym., 2019). Tämän vuoksi hukkalämmön lämpötilaa voi joutua korottamaan, jotta sen hyödyntäminen on mahdollista.

4.3.1 Mekaaniset lämpöpumput

Mekaanisia lämpöpumppuja käytetään hukkalämmönlähteen lämpötilan korottamiseen tarvittavalle tasolle. Mekaanisen lämpöpumpun pääkomponentit ovat kompressori, paisuntaventtiili, lauhdutin ja höyrystin. Lämpöpumpussa kiertävä kylmäaine höyrystyy ja tulistuu höyrystimessä hukkalämmön lähteen väliaineen luovuttaessa siihen lämpöenergiaa. Tulistunut höyry jatkaa matkaa höyrystimeltä kompressorille, joka nosta höyryn paineen ja lämpötilan halutulle tasolle lauhdutinta varten hyödyntäen sähköenergiaa. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöenergian hukkalämmön käyttökohteen väliaineelle ja palaa lauhtuessaan nestemäiseen muotoon. Lauhduttimelta kylmäaine jatkaa kiertoaan paisuntaventtiilille, joka tiputtaa sen paineen sopivaksi höyrystintä varten. Kierto alkaa näin alusta. (Grassi, 2018, s. 15.) Mekaanisen lämpöpumpun toiminta on havainnollistettu kuvassa 9.



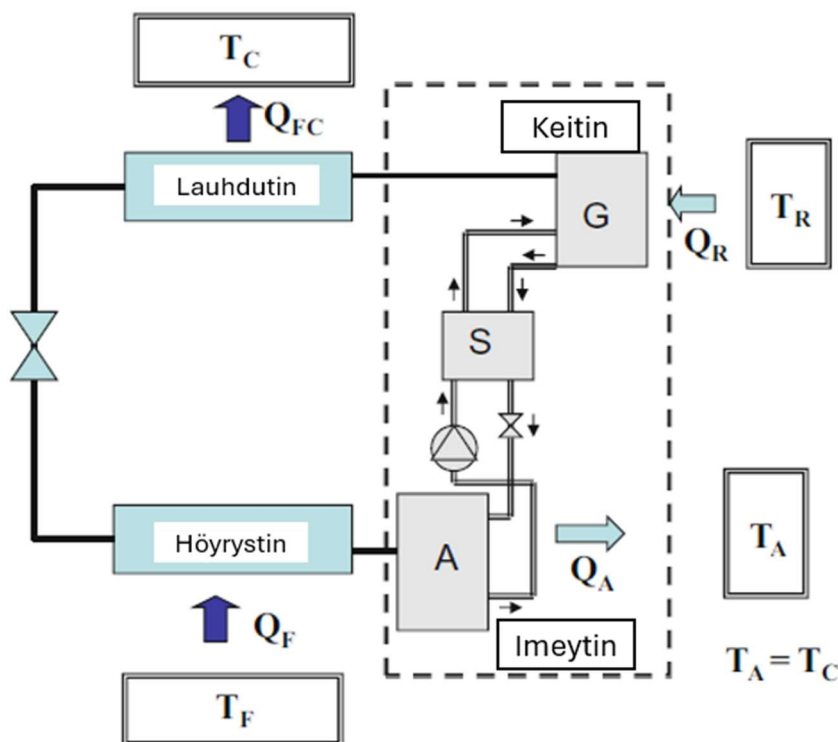


Kuva 9. Yksinkertaistettu kuva mekaanisen lämpöpumpun toiminnasta hukkalämpöratkaisussa.

4.3.2 Absorptiolämpöpumppu

Absorptiolämpöpumpun toiminta eroaa mekaanisesta lämpöpumpusta siten, että se ei sisällä kompressoria. Kompressori on korvattu kokonaisuudella, joka koostuu keittimestä, lämmönsiirtimestä, imeytimestä, pumpusta ja paisuntaventtiilistä. Sen toiminta perustuu kahdesta nesteestä koostuvan seoksen komponenttien erottamiseen. Nesteet ovat lähtökohtaisesti vettä ja litiumbromidia tai ammoniakia ja vettä. Toista ainetta sanotaan liuotettavaksi aineeksi, jolla on korkea höyrönpaine ja toista liuottimeksi, jolla on matala höyrönpaine. Seosta lämmitetään keittimessä hukkalämmön lähteen avulla, jolloin liuennut aine höyrystyessään eroaa liuottimesta ja aloittaa tyypillisen lämpöpumpukierroksen lauhduttimelle, paisuntaventtiilille ja höyrystimelle. Höyrystimeltä aine kulkeutuu imeyttimele, jossa se absorboituu takaisin liuottimen sekaan. Liuottimena toimiva aine puolestaan kiertää vain osassa, joka korvaa kompressorin. Liuotin kulkeutuu keittimeltä imeyttimele omaa kanavaansa pitkin paisuntaventtiilin kautta. Ennen imeytintä se esilämmittää lämmönsiirtimessä nesteiden seosta, jonka pumppu siirtää imeyttimele keittimelle.

Absorptiolämpöpumppuja voi käyttää myös jäähdytyksen tekemiseen hukkalämmön avulla. (Grassi, 2018, ss. 73–74.) Sen toimintaperiaate havainnollistetaan kuvassa 10. Suomessa teknologiaa hyödynnetään mm. Helenin kaukolämpöverkossa kaukokylmän tuotantoon ja Riihimäen kaukolämpöjärjestelmässä lämmitykseen ja jäähdytykseen (Bäckström, 2022, s. 9).



Kuva 10. Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate (mukaillen Grassi, 2018, s. 74).

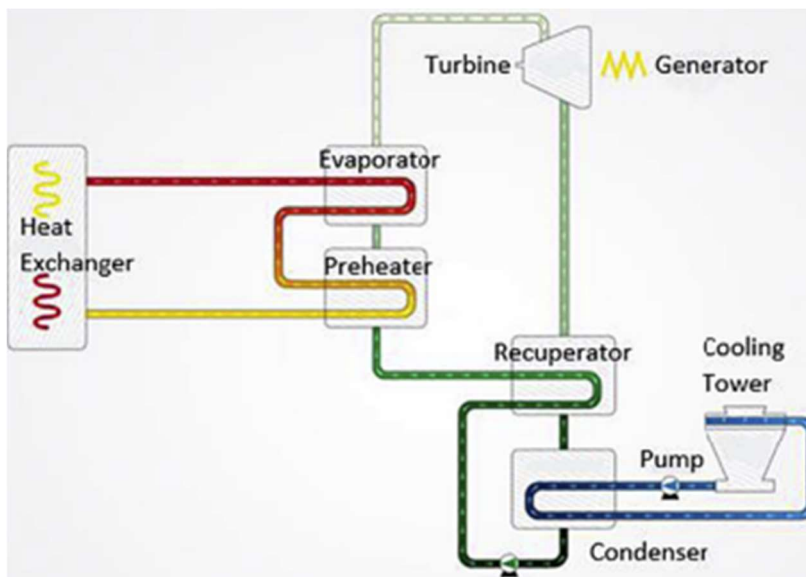
4.4 Sähkön tuotanto

Hukkalämmöstä on mahdollista tehdä myös sähköä. Hukkalämmön hyödyntäminen lämpönä on lähtökohtaisesti kannattavampaa, joten sen sähköksi muuntamista tarkastellaan yleensä vasta siinä vaiheessa, kun lämmölle ei ole tarvetta.

4.4.1 ORC-prosessi

ORC-prosessi (Organic Rankine Cycle) muistuttaa todella paljon perinteistä voimalaitosprosessia. Suurin ero on siinä, että prosessissa kiertää veden ja höyryn sijaan orgaaninen aine. Kiertoaine lämmitetään, höyrystetään ja hieman tulistetaan

lämmönsiirtimessä, jonka jälkeen tulistunut kylmäaine johdetaan turbiinille, jossa se paisuu matalammalle painetasolle. Orgaanisten kiertoaineiden ominaisuuksien vuoksi kiertoaine tulistuu enemmän paisuessaan, jonka vuoksi suurelle tulistamiselle ei ole tarvetta lämmönsiirtimessä. Kiertoaineen tulistumisen vuoksi sitä voi hyödyntää rekuperaattorissa kiertoaineen esilämmittämiseen ennen lämmönsiirintä. Rekuperaattorin jälkeen kiertoaine virtaa lauhduttimelle, jolloin siitä voi ottaa lämpöä talteen esimerkiksi kaukolämpöverkkoon tai omiin lämmitystarpeisiin. Lauhduttimelta kiertoaine kulkee kiertopumpulle, joka nostaa sen paineen takaisin korkealle tasolle ja prosessin kierto alkaa alusta. ORC-prosessi havainnollistetaan kuvassa 11. Tekniikkaa käytetään sähköntuotannossa tarjolla olevan hukkalämmönlähteen lämpötilatason tai tehon ollessa verrattain matala, jolloin perinteinen vesi/höyry -kierto on kannattamaton. (Wieland ym., 2023, ss. 1–3.)



Kuva 11. ORC-prosessikaavio (Jouhara ym., 2018, s. 276).

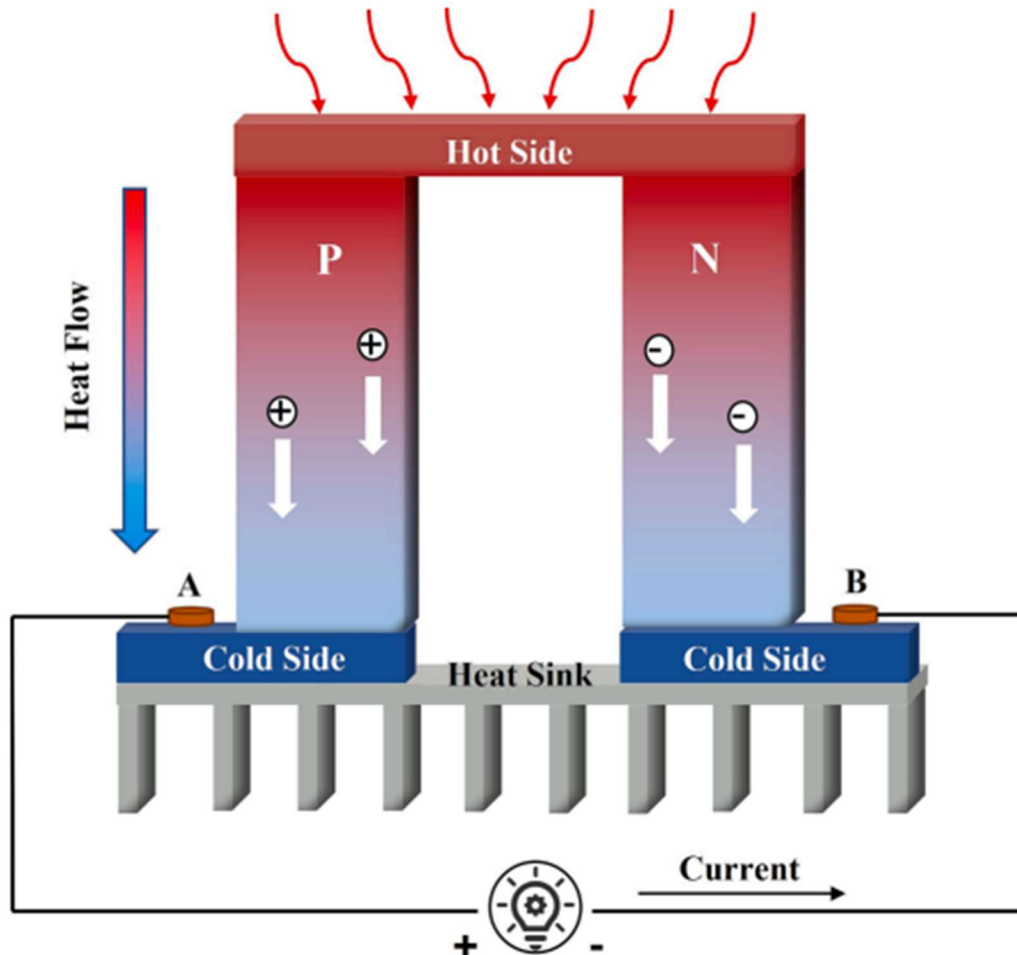
Suomessa ORC-tekniikkaa hyödynnetään mm. Toholammin Energian voimalaitoksella sähkön- ja kaukolämmön tuotannossa (Toholammin Energia, ei pvm.) ja Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla sähkön tuotantoon kaasumoottoreiden pakokaasujärjestelmän hukkalämpöenergiasta (Lallukka, 2014, s. 6).

4.4.2 Kalina-prosessi

Kalina-prosessi (Kalina Cycle) on samankaltainen ORC-prosessin kanssa. Suurin ero on käytettävän kiertoaineen valinnassa. Kalina-prosessissa käytetään kiertoaineena veden ja ammoniakkin sekoitusta, minkä avulla prosessissa saavutetaan parempi tehokkuus. Tämä johtuu siitä, että veden ja ammoniakkin sekoituksen lämpötila ei pysy vakiona sen höyrystyessä vaan sekoituksen lämpötila nousee koko ajan. Tämä on seurausta veden ja ammoniakkin kiehumispisteen erosta. Prosessiin on lisätty myös erotin ennen turbiinia, joka erottelee pisarat pois höyrystä. Kalina-prosessin on havaittu olevan kilpailukykyisempi ratkaisu ORC-prosessiin verrattuna, kun lämmön lähteen lämpötila on yli 200 °C. (Ononogbo ym., 2023, s. 11.)

4.4.3 Lämpösähköiset generaattorit (TEG)

Lämpösähköisten generaattoreiden (TEG) avulla muunnetaan lämpö suoraan sähköksi. Teknologiaa voidaan hyödyntää kaikilla hukkalämmön lämpötilatasoilla (He ym., 2024, s. 9). TEGien toiminta perustuu Seebeck-ilmiöön ja kahden kappaleen väliseen lämpötilaeroon. Kuumaa puolta lämmitetään hukkalämmön lähteen avulla ja kylmää puolta viilennetään lämpönielun avulla. Lämpönieluna voi käyttää esimerkiksi kylmää ilmaa tai vettä. Kuuman ja kylmän puolen väliin on kytketty sähköisesti sarjaan P- ja N-typin puolijohteita, jota nimitetään lämpösähköpariksi. Kylmän ja kuuman puolen välinen lämpötilaero synnyttää sähkövirran lämpösähköparin välille. (He ym., 2024, s. 1.) TEGin toiminta havainnollistetaan kuvassa 9.



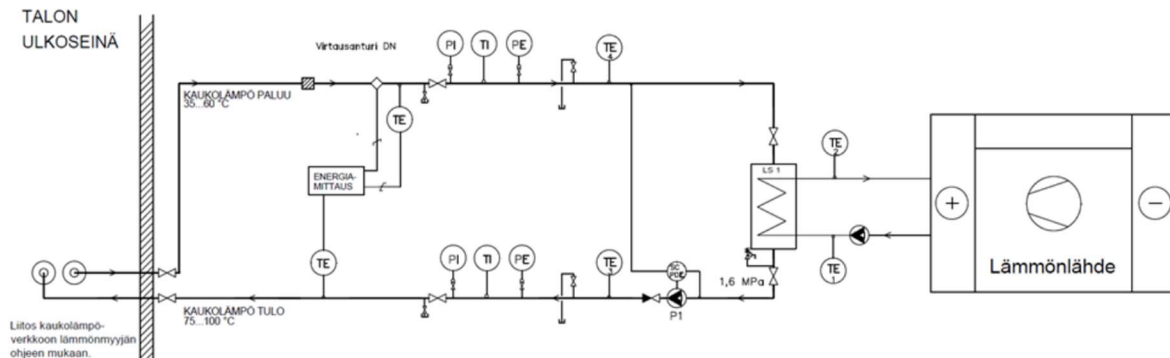
Kuva 12. TEGin toimintaperiaate (He ym., 2024, s. 2).

Lämpösähköisten generaattoreiden etu on siinä, että tekniikka ei sisällä liikkuvia osia tai nesteitä väliaineena, mikä tekee tekniikasta kestäväää ja hiljaista. Liikkuvien osien puutteen vuoksi myös huoltokustannukset ovat vähäisiä. Lämpösähköisten generaattoreiden käyttöä on rajoittanut niiden heikko hyötysuhde, joka jää tavallisesti 2,5–6,5 prosentin luokkaan. Myös toistaiseksi korkeat investointikustannukset ovat vaikuttaneet teknologian yleistymiseen. (He ym., 2024, s. 1.)

4.5 Muu teknologia

4.5.1 Kaukolämpöön liittäminen

Aiemmin luvussa 3 todettiin, että Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä (EU) 2018/2001 mukaan hukkalämpöä tulisi kyetä hyödyntämään kaukolämpöverkossa tai kaukokylmäverkossa. Hukkalämmön hyödyntämistä kaukolämpöverkossa halutaan helpottaa alentamalla kaukolämpöverkon menolämpötilaa. Tämän vuoksi päivitettyssä Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet julkaisussa K1/2021 alennettiin lämmönjakokeskusten lämmityksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötilaa 115 °C:sta 90 °C:een. Näin myös matalan lämpötilan hukkalämpöä olisi mahdollista hyödyntää kaukolämpöverkossa korottamalla sen lämpötilaa esimerkiksi lämpöpumpun avulla. (Energiateollisuus ry, 2021, s. 5.) Kuvassa 13 esitetään esimerkki kytkennästä, jolla hukkalämmön lähde voidaan kytkeä kaukolämpöverkkoon. Lämpö on tarkoitus syöttää ensisijaisesti kaukolämmön menoputkeen, mutta paluuputkeen kytkemistä voi myös tarkastella paikallisesti. Kaukolämpöyhtiöiden halukkuutta vastaanottaa lämpöä paluuputkeen heikentää sen vaikutus verkon hyötysuhteeseen. Paluupuolen lämpötilan nousu heikentää tuotantolaitoksilla savukaasujen lämmöntalteenottolaitteiston hyötysuhdetta ja vähentää yhteistuotannossa tuotetun sähkön määrää. (Sirola & Tiitinen, 2018, ss. 3–4). Verkon hyötysuhteeseen aiheutuvasta negatiivisesta vaikutuksesta voisi kuitenkin päästä eroon hyödyntämällä paluuputken lämpöenergiaa kiinteistöjen lämmityksessä, jolloin paluuputken lämpötila laskisi ennen tuotantolaitosta.



Kuva 13. Kaksisuuntaista kytkentää käytetään, kun kaukolämpöverkkoon halutaan myydä hukkalämpöä (Energiateollisuus ry, 2021, s. 98).

4.5.2 Lämpövarastot

Kappaleessa 3.6 käsiteltiin yhtenä haasteena hukkalämpöjen hyödyntämisessä lämmön tuotannon ja sen tarpeen ajallista kohtaamista. Tästä ongelmasta olisi mahdollisuus päästä eroon, jos lämpöä on mahdollista varastoida niihin hetkiin, kun sitä tarvitsee.

Tuntuvan lämmön varastointi

Tuntuvan lämmön varastointi on käytetyin lämmön varastointimenetelmä. Siinä lämpöenergia sidotaan nesteeseen tai kiinteään aineeseen muuttamalla aineen lämpötilaa. Nestemäisenä varastointiaineena käytetään yleensä vettä ja kiinteänä aineena esimerkiksi maaperää (kallio) tai hiekkaa. (Kolkka, 2021, ss. 11–12.)

Latenttilämpövarastointi

Latenttilämpövarastoinnissa tekniikka perustuu lämpöä varastoivan aineen faasimuutokseen lämpötilamuutoksen sijaan. Varastointiaineena käytetään esimerkiksi jäätä, suolavesiliuoksia, hydraattisuoloja ja rasvahappoja. Teknologialla päästään suureen energiatiheuteen, mutta käytettävien materiaalin lämmönjohtavuus on yleisesti ottaen heikko, jolloin lämmön purkaus- ja lataustehot jäävät mataliksi. (Kolkka, 2021, ss. 13–14.)

Termokemiallinen varastointi

Termokemiallisilla varastoilla on suurempi energiatiheys verrattuna tuntuvan lämmön ja latenttilämmön varastointiin. Tekniikka perustuu palautuvaan kemialliseen reaktioon tai

sorptioon. Palautuvassa kemiallisessa reaktiossa sidotaan energiaa endotermisen reaktion avulla ja vapautetaan eksotermisen reaktion avulla. Sorptio-prosessissa varastointi puolestaan perustuu absorptioon ja adsorptioon. (Kolkka, 2021, ss. 16–17.)

Kausivarastointi

Kausivarastot ovat käytännössä suuria tuntuva lämmön varastoja. Niissä lämpöä varastoidaan kesäisin talvea varten. Hukkalämpöä tai -kylmää on mahdollista varastoida kausiluonteisesti pohjaveteen (Aquifer thermal energy storage, ATES), kallioperään asennettuihin porakaivoihin (Borehole thermal energy storage, BTES), vedellä täytettyihin vanhoihin luoliin tai kaivoksiin (Rock Cavern thermal energy storage, CTES), vedellä täytettyihin altaisiin tai kaivantoihin (Pit thermal energy storage, PTES) ja maanalaisiin vahvistettuihin vesisäiliöihin (Tank thermal energy storage, TTES). (Kolkka, 2021, ss. 18–20.)



5 Hinnoittelu- ja sopimusmallit

Hukkalämmön myyntiin on olemassa käytännössä kolme eri vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on myydä lämpö paikalliselle kaukolämpöyhtiölle. Toinen vaihtoehto on hyödyntää alueellista matalalämpöverkkoa. Kolmas vaihtoehto on myydä ylimääräinen lämpö suoraan naapurikiinteistölle. Hukkalämpöjen hyödyntämiseen itse on myös tarjolla erilaisia rahoitusratkaisuja, jolloin ei tarvita alkupääomaa, mikä on voinut toimia aiemmin esteenä hankinnalle.

5.1 Kaksisuuntainen kaukolämpö

Pöyry Management Consulting Oy (2016) esitti kaksisuuntaisille lämpömarkkinoille neljä erilaista markkinamallia Energiategollisuus ry:lle ja Sitralle tekemässään selvityksessä. Nämä mallit ovat Kiinteän hinnan malli, Rajakustannusmalli, Kapasiteettimalli ja Verkko avoimena alustana.

Kiinteän hinnan malli

Kiinteän hinnan mallia käytetään ensimmäisinä sopimusmalleina kaukolämpöyhtiön aloittaessa kaksisuuntaista lämpökauppaa. Lämmöntuottajalle korvataan toimitetusta lämmöstä kiinteä hintaa pidemmän aikaa, jopa useamman vuoden ajan, ennen uusia neuvotteluja tai hinta sidotaan tiettyyn indeksiin. Korvaus voi perustua tuotantokapasiteettiin tai toimitetun energian määrään. Sopimusmalli on luonteeltaan yksinkertainen, hinta kahdenvälinen, kaukolämpöyhtiö saa kokemusta kaksisuuntaisen kaukolämmön toiminnasta ja lämmöntoimittajan on helpompi arvioida lämmöntoimituksen kannattavuutta. (Pöyry Management Consulting Oy, 2016, ss. 27–29.)

Rajakustannusmalli

Rajakustannusmallissa lämmön ostolle lämmöntuottajilta määritetään hinta kaukolämpöyhtiön toimesta esimerkiksi tunti- tai päivätasoisesti. Hinta perustuu kaukolämpöyhtiön tuotannon rajakustannuksiin ja kaukolämpöyhtiö sitoutuisi ostamaan kaiken julkaistulla hinnalla tarjotun lämmön. Energiamaksun lisäksi hinnoittelumalli sisältäisi myös tehokomponentin. Malli toimisi silloin, kun lämmöntuottajia on useita. Toisaalta mallissa on riskinä se, että lämmöstä saatava hinta ei ajoittain ylitä tuottajien lämmöntuotannon muuttuvia kustannuksia, jolloin se ei

kannusta ketään myymään lämpöä kaukolämpöverkkoon, ja kaukolämpöyhtiöllä pitää olla riittävästi omaa kapasiteettia lämmön tuottamiseen. (Pöyry Management Consulting Oy, 2016, ss. 29–31.) Syri ym., (2015) tutkivat rajakustannusmallilla ostetun hukkalämmön vaikutusta Espoon kaukolämpöjärjestelmässä. Tutkimuksessa lämpöä tuotettiin lämpöpumpulla metrosta ja kauppakeskuksesta talteen otetulla hukkalämmöllä. Tuotantokapasiteetiksi simuloitiin 20 MW ja lämpöpumppujärjestelmän kokonaiskustannukseksi arvioitiin 4 miljoonaa euroa. Tutkimuksessa lämpöpumpun avulla tuotetulla lämmöllä korvattiin aina kalleinta mahdollista tuotantoa ja järjestelmässä saavutetut säästöt olivat 2,6–2,82 miljoonaa euroa vuodessa. Simuloinnissa tuotantolaitoksia ei voinut ajaa aivan realistisella tavalla, mikä voi todellisuudessa vähentää säästöjen määrää, mutta toisaalta siinä ei myöskään huomioitu päästöoikeuksien vaikutusta, koska tutkimushetkellä niiden vaikutus oli vähäinen. Nyt tilanne on toinen ja niidenkin osalta olisi saavutettavissa merkittäviä säästöjä.

Kapasiteettimalli

Kapasiteettimallissa lämmöntuottaja sitoutuu tuottamaan tietyllä lämpötehokapasiteetilla lämpöä kaukolämpöverkkoon. Malli sopii hyvin tuottajille, jotka pystyvät ennakoimaan tarkasti lämmöntuotantotehonsa pitkällä aikavälillä. Kapasiteettimalli takaa ennustettavamman tulovirran lämmön myynnistä, kuin esimerkiksi rajakustannusmalli. (Pöyry Management Consulting Oy, 2016, ss. 31–32.)

Verkko avoimena alustana

Tässä mallissa kaukolämpöverkko toimisi samalla tavalla kuin sähköverkko nykyään. Verkossa olisi paljon erilaisia tuottajia erilaisilla sopimusmalleilla ja asiakas voisi valita oman lämmöntoimittajansa. Erillinen kaukolämpöverkkoyhtiö vastaisi lämmön siirrosta, verkon operoinnista, tasehallinnasta, mutta ei tuotannosta. Kaukolämpöyhtiö takaisi edelleen suurimpana lämmöntuottajana kaikille syrjimättömän hinnoitteluvaihtoehdon. (Pöyry Management Consulting Oy, 2016, ss. 34–35.)

5.1.1 Energiayhtiöiden hinnoittelu hukkalämmölle Suomessa

Ainakin viideltä energiayhtiöltä Suomessa löytyy avoin hinnasto hukkalämmöstä saatavalle korvaukselle (€/MWh). Nämä yhtiöt ovat Fortum, Tampereen Energia, Kuopion Energia, Leppäkoski ja Helen. Useimmilla energiayhtiöillä hukkalämmön ostohinta neuvotellaan aina

(63)

29.8.2025

tapauskohtaisesti. Avoimen hinnaston omaavien yhtiöiden (pl. Helen) hinnoittelua yhdistää se, että hinnasto koskee vain tietyn tuotantotehorajan alittavia kohteita, jonka jälkeen nämäkin yhtiöt siirtyvät tapauskohtaiseen neuvotteluun. Vaikka Helenin hinnasto hukkalämmön ostolle on avoin, mainitaan sen ehdoissa silti tapauskohtaisesta soveltamisesta (Helen, 2025). Fortum (2024) määrittelee tuotantotehorajan niin, että se on lämmöntuotantoteho, jonka on oltavat käytettävissä yli 90 % ajan vuodessa.

Ostoenergian hinta (€/MWh) on määritetty yhtiöillä useammalla eri tavalla. Fortumilla lämmön ostohinta on sidottu ulkolämpötilaan, Leppäkoskella ja Helenillä tiettyyn prosenttiosuuteen kaukolämmön energiamaksusta ja Tampereen Energialla sekä Kuopion Energialla muu kuukausittain vaihtuva hinta. Jokaista hinnastoa yhdistää se, että kylmänä vuoden aikana hukkalämmöstä saa paremman hinnan kuin lämpimänä vuoden aikana. Tämä johtuu siitä, että kylmänä vuoden aikana energiayhtiön tuotantokustannukset ovat korkeammat kuin lämpimänä aikana, eli ne ovat valmiita maksamaan ostetusta hukkalämmöstä enemmän. Avoimia hukkalämmön ostohinnastoja esitetään taulukoissa 1, 2 ja 3. (Fortum, 2024; Helen, 2025; Kuopion Energia, ei pvm.; Leppäkoski, ei pvm.; Tampereen Energia, 2025.)

Taulukko 1. Kuopion Energialla ja Tampereen Energialla on kuukausittain vaihtuva energiamaksu (€/MWh) hukkalämmölle (Alv 0 %). Tuotantotehorajana molemmilla yhtiöillä on 1 MW.

Kuukausi / Energiayhtiö	Kuopion Energia	Tampereen Energia
Tammikuu	31,03 €/MWh	30 €/MWh
Helmikuu	31,03 €/MWh	30 €/MWh
Maaliskuu	26,22 €/MWh	20 €/MWh
Huhtikuu	26,22 €/MWh	20 €/MWh
Toukokuu	26,22 €/MWh	20 €/MWh
Kesäkuu	14,98 €/MWh	10 €/MWh
Heinäkuu	14,98 €/MWh	10 €/MWh
Elokuu	14,98 €/MWh	10 €/MWh
Syyskuu	26,22 €/MWh	20 €/MWh
Lokakuu	26,22 €/MWh	20 €/MWh
Marraskuu	26,22 €/MWh	20 €/MWh
Joulukuu	31,03 €/MWh	30 €/MWh

(63)

29.8.2025

Taulukko 2. Helen ja Leppäkoski hinnoittelevat hukkalämmön energiamaksuksi tietyn prosenttiosuuden kaukolämmön energiamaksusta. Leppäkoskella tuotantotehorajana on 0,5 MW.

Kuukausi / Energiayhtiö	Helen	Leppäkoski
Tammikuu	70 %	40 %
Helmikuu	70 %	40 %
Maaliskuu	50 %	40 %
Huhtikuu	50 %	40 %
Toukokuu	40 %	40 %
Kesäkuu	40 %	40 %
Heinäkuu	40 %	40 %
Elokuu	40 %	40 %
Syyskuu	40 %	40 %
Lokakuu	55 %	40 %
Marraskuu	55 %	40 %
Joulukuu	55 %	40 %

Taulukko 3. Fortum hinnoittelee hukkalämmön energiamaksun ulkolämpötilan mukaan (Alv 0 %). Tuotantotehoraja on 5 MW.

Ulkolämpötila / Energiayhtiö	Fortum
<-8 °C	50,00 €/MWh
-7,9...-7°C	47,50 €/MWh
-6,9...-4°C	45,00 €/MWh
-3,9...-3°C	42,50 €/MWh
-2,9...-2°C	40,00 €/MWh
-1,9...-1°C	35,00 €/MWh
-0,9...4°C	30,00 €/MWh
4,1-6°C	22,00 €/MWh
6,1-7°C	20,00 €/MWh
7,1-16°C	17,50 €/MWh
>16,1°C	13,00 €/MWh

5.1.2 Hukkalämmön sopimusmallit Tukholmassa

Ruotsin pääkaupungissa Tukholmassa kaukolämmöstä ja -kylmän tuotannosta ja myynnistä vastaava yhtiö on Stockholm Exergi. Yhtiöllä on käytössä kolme erilaista sopimusmallia hukkalämmön ostamiselle. Nämä ovat vapaasti suomennettuna Avoin Kutsu-lämpö, Avoin Spot-lämpö ja kolmantena vaihtoehtona näiden yhdistelmä. Sopimusmalleja yhdistää se, että saatu korvaus hukkalämmöstä on riippuvainen ulkolämpötilasta. Korvaus on sitä suurempi, mitä kylmempi ulkona on.

Avoin Kutsu-lämpö

Tässä sopimusmallissa sovitaan lämmöntoimittajan kanssa lämpötehosta, jonka se toimittaa kaukolämpöverkkoon. Sopimusmallissa energiayhtiö kutsuu lämmöntoimittajan toimittamaan lämpöä kaukolämpöverkkoon sovitulla teholla aina, kun siihen on tarve. Sopimusmallissa taataan kutsu toimitukselle ulkolämpötilan laskiessa alle 10 °C. Hukkalämmön lämpötilan tulee olla normaalitilanteessa 68 °C, mutta se voidaan sopia korkeammaksi, jos sijainti ja tuotantomäärät vaativat sitä. Lämmöstä saatu korvaus koostuu lämpötehoon liittyvästä kiinteästä korvauksesta ja muuttuvasta korvauksesta, mikä riippuu siirretyn energian määrästä. Sopimusmalli on suunnattu tuottajille, jotka tuottavat lämpöä tasaisesti ympäri vuoden ja vuorokauden.

Avoin Spot-lämpö

Avoimen Spot-lämmön sopimusmallissa lämmöntoimittaja päättää itse, milloin toimitus tapahtuu, eikä sille ole osoitettu velvoitetta. Sopimusmalli soveltuu hyvin kohteille, joissa hukkalämmön synty on epätasaista. Korvauksena toimitetusta lämmöstä saa tietyn energiamaksun. Stockholm Exergillä on käytössä Avoimen Spot-lämmön sopimusmallille kolme erilaista mallia. Avoin Spot-lämpö Prima -mallissa lämpö toimitetaan kaukolämmön menoputkeen ja se tulee pystyä korottamaan energiayhtiön asiakkailleen takaamaan lämpötilaan eli samaan lämpötilaan menoputkessa vallitsevan lämpötilan kanssa (68–103 °C). Tässä mallissa lämmön myynnistä saa kaikista parhaimman korvauksen. Avoin Spot-lämpö Inblanding -mallissa lämpö toimitetaan kaukolämmön menoputkeen ja sen lämpötilan tulee olla ympäri vuoden 68–80 °C. Avoin Spot-lämpö Retur -mallissa lämpö toimitetaan

kaukolämmön paluuputkeen. Kaukolämmön lämpötilaa tulee pysty korottamaan vähintään 3 °C saapuneeseen lämpötilaan nähden.

Avoin Spot- ja Kutsu-lämpö

Tämä sopimusmalli on yhdistelmä Avointa Kutsu-lämpöä ja Avointa Spot-lämpöä. Sopimusmallissa lämmöntoimittaja sitoutuu toimittamaan lämpöä tietyllä teholla, mutta energiayhtiöllä on oikeus rajoittaa lämmöntoimitusta. Toimitetusta lämmöstä saa kiinteän korvauksen perustuen lämmöntoimitustehoon ja muuttuvan korvauksen toimitetusta energiamäärästä. (Stockholm Exergi, ei pvm.)

5.2 Alueellinen matalalämpöverkko

Alueellinen matalalämpöverkko voisi toimia esimerkiksi teollisuusalueella, jossa on yksi tai useampi hukkalämmöntuottaja ja yrityksiä, jotka voisivat hyödyntää omien kiinteistöjensä lämmityksessä tai prosesseissaan hukkalämpöä. Järjestelmä vaati usein kuitenkin varalämmönlähteen, jolla lämpö voidaan tuottaa, jos hukkalämpöä ei ole hyödynnettävissä.

Turku Energia, Skanssin kaksisuuntainen matalalämpöverkko

Turussa Skanssin alueelle on rakennettu matalalämpöverkko, jossa kiertävä kaukolämpövesi on lämpötilaltaan vain 65 °C. Matala lämpötila kaukolämpöverkossa vähentää lämpöhäviöiden määrää ja mahdollistaa hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen. Yksikään kiinteistö Skanssin alueella ei ole vielä tuottanut lämpöä matalalämpöverkkoon, vaikka se on verkon puolesta mahdollista. Tarkoituksena on, että Skanssin alueen kiinteistöt tuottaisivat itse alueella vaaditun lämpöenergian ajoittain jopa kokonaan ja energiayhtiölle jäisi vain verkon operointivastuu. (Turku Energia, 2021.)

Hakametsä Sport Campus

Hakametsän Sport Campus -uudisalueelle on suunnitteilla rakentaa jäähallin ympärille kolme kerrostalokorttelia ja yksi hybridikortteli, joka sisältää mm. liikuntatiloja ja liiketiloja. Tämän uudisalueen energiaratkaisuksi on selvitetty alueellisen matalalämpöverkon mahdollisuutta, jonka kautta jaettava lämpö- ja jäähdytysenergia tuotettaisiin jäähallin lauhde-energialla ja CHC-lämpöpumpulla. Toteutuksessa huippukuorma katettaisiin sähkökattilan tai kaukolämmön avulla. Muina vaihtoehtoina energijärjestelmälle alueella on tarkasteltu

perinteisiä kaukolämpöliittymiä jokaiselle korttelille tai korttelikohtaisia lämpöpumppujärjestelmiä. Korttelikohtaisten ratkaisujen elinkaarikustannusten (20v) havaittiin olevan selvityksessä samaa luokkaa lämpöpumppuratkaisujen ja kaukolämmityksen kanssa. Koko alueen kattavan matalalämpöverkkoratkaisun havaittiin maksavan itsensä takaisin 10–12 vuoden aikana verrattuna perinteiseen kaukolämpöratkaisuun, vaikka sen investointikustannus on huomattavasti suurempi. (Sihvonen & Fagerström, 2022.)

Edellä mainittujen Skanssin alueen ja Hakametsän Sport Campuksen lisäksi alueellisen matalalämpöverkon mahdollisuutta on selvitetty mm. Porvoon Kilpilahden alueella ja Hyvinkään Sahanmäen teollisuusalueella.

5.3 Hyödyntäminen läheisessä kiinteistössä

Hukkalämpöä on mahdollista myydä tai tarjota suoraan lämpöä tarvitsevalle taholle, joka voi olla esimerkiksi viereinen teollisuusyritys tai taloyhtiö. Tämä ratkaisu voi olla kannattava, kun lämpöä ei pystytä hyödyntämään itse tai sen myyminen kaukolämpöverkkoon ei ole mahdollista.

HOK-Elannon malli

HOK-Elanto on S-ryhmän suurin alueosuuskauppa ja toimialue kattaa Espoon, Helsingin, Hyvinkään, Järvenpään, Keravan, Mäntsälän, Nurmijärven, Tuusulan ja Vantaan. Marketteja, ravintoloita, ABC-asemia ja muita toimipaikkoja on yli 400, joista päivittäistavarakaupan myymälöitä noin 210. Myymäläketjut ovat Alepoita, S-marketteja, Prismoja ja Food Market Herkku. Noin joka kymmenes HOK-Elannon myymälä hyödyntää tehokkaasti kylmäjärjestelmän lauhdelämpöä joko itse tai tarjoamalla sitä samassa kiinteistössä toimivien muiden huoneistojen lämmitystarpeisiin. Esimerkiksi Alepa Munkkiniemen Puistotiellä kaupan kylmäjärjestelmän lauhdelämpöä on hyödynnetty taloyhtiön lämmitysjärjestelmässä vuodesta 2021 alkaen. Taloyhtiö halusi siirtyä maalämpöön, mutta sen alueelle ei voitu porata tarpeeksi maalämpökaivoja, joten puuttuva lämmitystarve päätettiin täyttää taloyhtiön kivijalassa toimivan Alepan kylmäjärjestelmän lauhdelämmöllä. HOK-Elanto toimittaa yhtiölle ylijäämälämmön veloitusetta, mutta lämpöä vastaanottavan osapuolen on lähtökohtaisesti vastattava tarvittavista muutostöistä. Lämpöä toimitetaan sen verran, kun sitä riittää, eikä kauppa sitoudu tiettyihin toimitusmääriin, lämpötilatasoihin tai ajankohtiin. Kauppa hyötyy



ratkaisusta alempien vastikkeiden muodossa ja kylmäjärjestelmän toiminnan tehostumisena ja taloyhtiö pienempinä lämmityskustannuksina. Kyseinen ratkaisu on käytössä useassa kohteessa ja kaupan kylmäjärjestelmään tehtävän investoinnin osuuden on todettu maksavan itsensä takaisin parhaimmillaan jopa alle vuodessa. (S. Kattilamäki & M. Keitaanranta, henkilökohtainen viestintä, 29. huhtikuuta 2025.)

Kuulea Energian palvelumalli

Kuulea Energian varsinainen liiketoiminta perustuu suurteholaskenta-palvelun tarjoamiseen, mutta palvelumallin ero perinteisiin datakeskuspalveluihin syntyy hajauttamalla palvelinten sijainti useaan eri kohteeseen ja hyödyntämällä niiden hukkalämpö kiinteistöjen lämmitykseen. Ratkaisussa kiinteistö pystyy hyödyntämään veloituksetta palvelinten hukkalämpöä ja Kuulea Energia kompensoi sähkölaskun kustannukset. Vastineeksi lämpöenergiasta kiinteistö tarjoaa tilat palvelinten säilyttämiseen ja kustantaa itse lämmitysjärjestelmään liittyvät investoinnit. Palvelimet tuottavat tasaisesti lämpöä ympäri vuoden, joten ne sopivat parhaiten kiinteistöihin, joissa lämpöä myös tarvitaan tasaisesti ympäri vuoden. Tämän vuoksi yrityksen palvelumallin kohderyhmänä toimivat esimerkiksi hotellit, kauppakeskukset, uimahallit ja kylpylät. (Kuulea Energia Oy, 2022.)

5.4 Rahoitusmallit

Yrityksillä on mahdollisuus saada erilaisia rahoitusratkaisuja hukkalämpöinvestointeja varten. Kyseiset liiketoimintamallit tai rahoitusratkaisut sopivat toimijoille, jotka eivät halua maksaa investointia heti pois, vaan maksavat sen mieluummin osissa teknologian käyttöönoton jälkeen.

ESCO (Energy Service Company) ja EPC (Energy Performance Contract)

ESCO- ja EPC-malleissa yritys tarjoaa asiakkaille energiatehokkuusratkaisuja, jossa palvelun kustannus perustuu saavutettuihin säästöihin energiakustannuksissa. Palvelua tarjoava yritys vastaa vaadittavista investoinneista ja näin asiakasyritykseltä ei vaadita alkupääomaa hankkeessa. Palvelusopimus sisältää lupauksen energiansäästöstä ja näillä säästöillä katetaan rahoitusmallin kustannukset palvelukauden aikana. Kustannussäästöihin perustuva palvelumalli takaa hankkeen kannattavuuden. ESCO-palveluita tarjoavia yrityksiä on lueteltu



Motivan sivuilla. (Motiva, 2025.) ESCO-mallilla on myös mahdollista saada hankkeelle energiatukea (15 %), vaikka yritys ei olisi liittynyt energiatehokkuussopimukseen tai korotettua energiatukea (25 %), jos yritys on liittynyt energiatehokkuussopimukseen (Business Finland, 2024).

Leasing

Leasing-rahoitusratkaisussa hankitun järjestelmän investoi ja omistaa rahoitusta tarjoava yritys, joka vuokraa järjestelmän tietyn sopimuskauden ajaksi. Vuokrasuhteen päätyttyä järjestelmä on mahdollista lunastaa itselle. Leasing-sopimuksessa maksetaan kiinteää kuukausittaista korvausta. Tällainen sopimusratkaisu esitetään esimerkkitapauksissa Plastexin Lohjalla sijaitsevan tehtaan energiaratkaisussa.



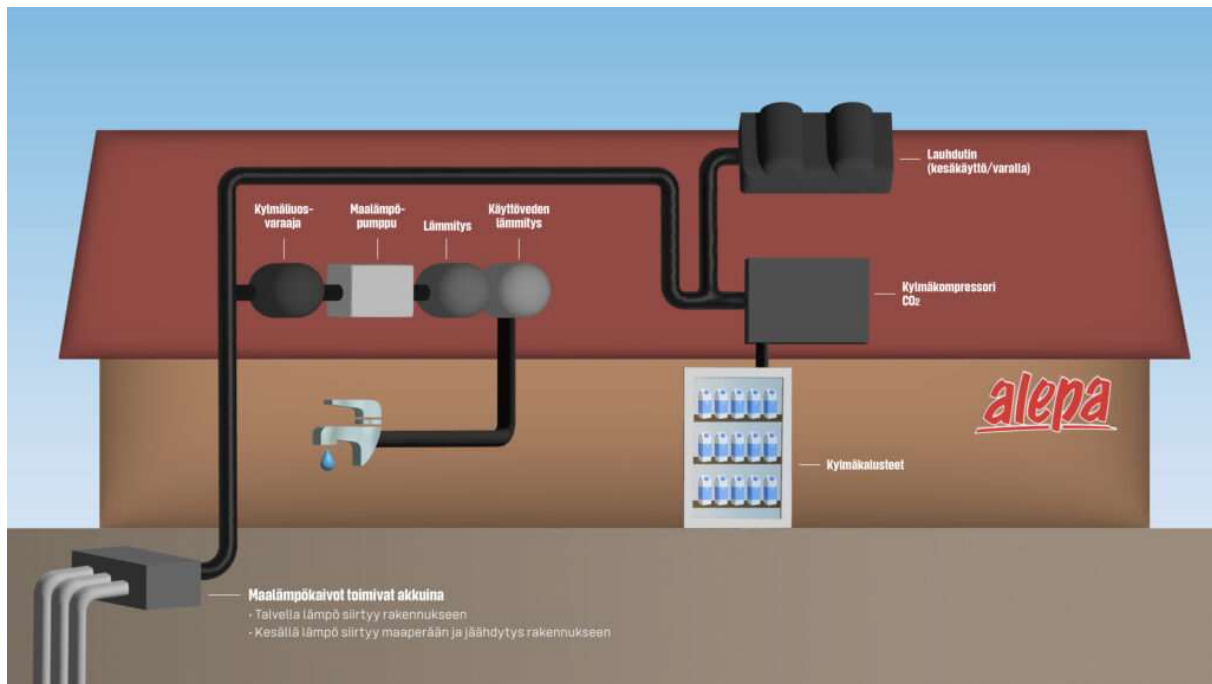
6 Esimerkkitoteutuksia

Tässä luvussa käsitellään esimerkkitapauksia toteutetuista tai suunnitteilla olevista hukkalämmön hyödyntämiskäytännöistä niin Suomessa kuin myös muualla maailmassa. Hukkalämmön hyödyntämisessä tulee kuitenkin huomioida, että ratkaisut ovat aina tapauskohtaisia, eikä sama ratkaisu välttämättä sovi joka kohteeseen. Usein on myös kannattavaa ensin optimoida oma energiankäyttö, jotta todellinen hukkalämmön potentiaali selviää.

Alepa Backas, kaupan lämmittäminen omalla lauhdelämmöllä

Joulukuussa 2022 avatusta Alepa Backaksesta on saatu lämmitysenergian osalta melkein kokonaan omavarainen, sillä kauppa lämpenee lähes kokonaan kylmälaitteista ja poistoilmasta talteen otetulla lämmöllä. Kylmälaitteiden kylmäaineena toimii hiilidioksidi ja kylmää tuotetaan kolmen 60 kW rinnan kytketyn kompressorin avulla. Pakkasta tuotetaan kahden 17 kW kompressorin avulla. Kesäaikana kylmälaitteista syntyy lauhdelämpöä yli kaupan oman tarpeen, jolloin se varastoidaan tontille porattuihin seitsemään 225 metriä syvään maalämpökaivoon talvea varten. Kiinteistössä on 82 kW maalämpöpumppu, jonka avulla saadaan korotettua matalan lämpötilatason lauhteen lämpötilaa lämmitykseen sopivaksi ja hyödynnettyä maalämpökaivojen avulla varastoitua lämpöenergiaa sekä tuotettua kesäaikana jäähdytystä. Lämmön varajärjestelmänä huippupakkasien aikana toimivat sähkövastukset ja kylmän varajärjestelmänä katolle asennettu kaasujäähdytin. (Remes, 2023.) Kaupan energiaratkaisu havainnollistetaan kuvassa 14.





Kuva 14. Alepa Backaksen energiaratkaisu (HOK-Elanto, 2022).

Arlandan lentokenttä, hukkalämmön varastointi (ATES)

Arlandan lentokentällä hyödynnetään kappaleessa 4.5.2 esitettyä lämmön varastointitekniikkaa Aquifer thermal energy storage (ATES). Arlandan lentokentän läheisyydessä on luonnollinen pohjavesivarasto, joka on kooltaan kaksi miljoonaa kuutiometriä. Varasto koostuu vedestä, hiekasta ja kivistä. Pohjavesivarastolla on luonnollinen diffuusiovyöhyke, mikä mahdollistaa sekä kylmän että lämmön varastoinnin omille vyöhykkeilleen. Lämpimälle puolelle voidaan varastoida lentokentältä jopa 25 °C lämpöä ja kylmälle puolelle voidaan varastoida 3–6 °C kylmää. Talvisin varaston lämmöllä mm. esilämmitetään terminaaleihin johdettavaa ulkoilmaa, minkä jälkeen lämmityksessä käytetty jäähtynyt vesi johdetaan vesivarannon kylmälle puolelle. Tätä kylmää käytetään kesällä jäähdytystarkoituksiin ja jäähdytyksessä veteen sitoutunut lämpö johdetaan varaston lämpimälle puolelle talvea varten. (Kretz, 2023.) Varaston avulla on arvoitu säästettävän vuosittain 4 GWh sähköä ja 15 GWh kaukolämpöä (Swedavia Airports, ei pvm.). ATES-ratkaisu on Ruotsissa suosittu lämmönvarastointi tekniikka ja sitä käytetään yli 160 kohteessa.

Suomessa ensimmäinen ATES-ratkaisu otettiin käyttöön vasta 2017 Lahden Askon alueella. (H. Ahonen, 2018.)

Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18–20, kaksisuuntainen kaukolämpö

Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18–20:ssa pilotoitiin kaksisuuntaisen kaukolämmön mahdollisuutta asuinkerrostalossa. Teknologia esitetään kappaleessa 4.5.1. Samalla kohteessa tehtiin useita muita energiatehokkuustoimenpiteitä, esimerkiksi ikkunat, ovet, patteriventtiilit ja termostaatit uusittiin, lämmitysverkosto tasapainotettiin, asennettiin lämmönkeräimiä rakennuksen katolle ja rakennettiin poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä. Näillä toimenpiteillä lämmönkulutus saatiin tiputettua 553 MWh:sta 192 MWh:iin vuoteen 2016 mennessä. (Tampereen Energia, 2017.) Tämän jälkeen rakennuksessa on lisäksi alettu ottamaan talteen lämpöä jätevesistä ja porattu maalämpökaivoja lämmöntuotantoa varten. Asennuksien jälkeen lämpöä myydään vuosittain Tampereen Energialle 120–150 MWh ja sitä puolestaan ostetaan alle 10 MWh. Yhteishintaa lämmöntalteenottojärjestelmille, maalämmölle ja aurinkokeräimille tuli 650 000 euroa ja niitä varten saatiin tukea 200 000 euroa. (Lamminen, 2019.)

Asunto Oy Westendin Tornit Bostads Ab, PILP kaukolämmön rinnalle

Asunto Oy Westendin Tornit Bostads Ab teki taloyhtiön kaikkiin kahdeksaan kerrostaloon energiaremontin. Taloyhtiössä piti tehostaa ilmanvaihtoa, jolloin poistoilmasta päätettiin ottaa lämpö talteen ja hyödyntää sitä poistoilmalämpöpumpun (PILP) avulla kaukolämmön rinnalla kerrostalojen lämmityksessä. PILP-järjestelmän avulla lämmöstä tuotetaan 49 prosenttia ja kaukolämmön avulla 51 prosenttia eli kaukolämmön kulutus lähes puolittui remontin myötä. Lämmityskuluissa säästyy arviolta noin 45 000 euroa vuodessa, mikä vastasi noin 24 prosenttia lämmityksen kustannuksista. (Smart Heating, 2024)

Bilstein Group, ORC-ratkaisu yhtiön tehtaalla Hagen-Hohenlimburgissa Saksassa

Bilstein Groupin tehtaalla Hagen-Hohenlimburgissa Saksassa otettiin käyttöön ORC-järjestelmä hukkalämmön hyödyntämiseksi. ORC-teknologiaa käsitellään kappaleessa 4.4.1. Tehtaalla teräksen hehkutusprosessissa syntyy 400–700 °C lämpöä. Lämpökäsittelyn jälkeen teräs pitää jäähdyttää ja tästä prosessista otetaan lämpöä talteen sitomalla se öljykierukassa kiertävään lämpö-öljyyn. Lämpö-öljyyn sitoutunutta lämpöenergiaa hyödynnetään ORC-



prosessissa, joka tuottaa 160 kWh sähköä ja 1152 kWh lämpöä yhden hehkutusjakson aikana. ORC-järjestelmä kuluttaa tuotetusta sähköstä 30 kWh ja loppu 130 kWh käytetään hehkutusprosessissa korvaamaan maakaasun käyttöä. Lämpö käytetään puolestaan kiinteistöjen lämmityksessä. (Bilstein Group, 2021, ss. 27–28.)

Fortumin ja Microsoftin datakeskushanke pääkaupunkiseudulla

Fortum ja Microsoft ilmoittivat vuonna 2022 hankkeesta, jossa Microsoft rakentaa datakeskusalueen pääkaupunkiseudulle ja Fortum sen yhteyteen lämpöpumppulaitoksen, jonka avulla otetaan talteen datakeskusalueen hukkalämpö Fortumin kaukolämpöverkkoon. Datakeskusalueen hukkalämmöllä pystytään kattamaan 40 prosenttia Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen kaukolämmön tarpeesta. Hankkeen kokonaislämpöteho on 350 MW ja sen on tarkoitus valmistua 2025–2026 lämmityskauden aikana. (AFRY, ei pvm.) Hankkeessa on arvioitu saatavan yli 75 prosenttia kaikesta datakeskuksen hukkalämmöstä talteen. Syntyvän hukkalämmön lämpötila on noin 30 °C ja sen lämpötilaa korotetaan lämpöpumppujen ja sähkökattilan avulla. Datakeskusalueen tuottamasta lämmöstä arviolta 70 prosenttia on peräisin hukkalämmöstä, 25 prosenttia lämpöpumppujen kuluttamasta sähköstä ja 5 prosenttia sähkökattilan sähköstä. Hankkeen avulla Fortum pystyy korvaamaan kivihiilen käytön alueella ja vähentämään noin 400 000 tonnia kaukolämmön hiilidioksidipäästöjä. (Fortum, ei pvm.)

Hollolan uimahallin energiatehokkuuden parantaminen

Hollolan uimahallin peruskorjaushankkeessa tehdään useita energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä, mm. erilaisia lämmöntalteenottoratkaisuja. Uimahallin pesuvesistä, allasvesistä ja ilmanvaihdesta otetaan hukkalämpöä talteen kahteen lämpöpumppujärjestelmään ja niitä hyödynnetään uimahallin lämmityksessä ja käyttöveden lämmityksessä. Lämpö otetaan talteen keruuvaraajaan ja sitä kautta lämpöpumppujärjestelmään ja puskurivaraajiin. Lämmityksessä hyödynnetään myös sähkökattilaa halvan pörssisähkön aikana korvaamaan kaukolämmön kulutusta. Hankkeessa toteuttavien lämmöntalteenottoratkaisujen ja muiden energiatehokkuustoimien on arvioitu vähentävän 30–35 prosenttia uimahallin energiankulutusta. (Mustonen, 2025.)



HSY, Blominmäen jätevedenpuhdistamo

Blominmäen jätevedenpuhdistamolla on kolme eri lämpötilatason omaavaa lämpöverkkoa, joita lämmitetään puhdistamossa syntyvillä hukkalämmönlähteillä. Korkean lämpötilatason lämpöverkkoon (70 °C) siirretään hukkalämpöä puhdistamon biokaasumootoreiden ja pakokaasujen jäähtymisestä. Tätä lämpöenergiaa hyödynnetään mm. tuotantoprosessin vaiheissa ja käyttöveden ja tuloilman lämmityksessä. Lämpöenergiaa on myös mahdollista siirtää ylijäämätilanteissa matalamman lämpötilatason lämpöverkkoon. Puhdistamon toiseen lämpöverkkoon, matalalämpöverkkoon, siirretään hukkalämpöä mädätetyn lietteen rejektivedestä, ilmastuskompressorien ilmastusilmasta, öljyjäähtymisestä ja biokaasumootoreiden välijäähtymisestä. Verkko sisältää myös 5000 m³ lämpövaraston. Kolmatta lämpöverkkoa kutsutaan nollalämpöverkostoksi, johon otetaan talteen hukkalämpöä puhdistetusta jätevedestä. (Remes, 2024.)

Hyvinkään Lämpövoima, lämmön kausivarasto

Hyvinkään Kulomäkeen suunnitellaan lämmön kausivarastoa (kappale 4.5.2) käytöstä poistettuun soraomonttuun. Varastoa varten rakennetaan 380 000 m³ vesiallas, jonka päälle rakennetaan kelluva kansi veden haihtumisen estämiseksi. Varaston ollessa ladattuna täyteen veden lämpötila on 90 °C ja tyhjänä 40 °C. Varastoon pystyy varastoimaan n. 20 GWh lämpöenergiaa ja sen purkuteho ja latausteho ovat suurimmillaan 60 MW. Varastoon ladataan lämpöä teollisuuden hukkalämmöstä ja sähkökattilan avulla. Hanke sai tukea n. 7,7 miljoonaa euroa ja sen suunnitellaan valmistuvan vuonna 2026. Hiilidioksidipäästövähennyksien arvioidaan olevan 4 400 tonnia vuodessa, sillä varaston avulla korvataan fossiilisia polttoaineita ja polttamiseen perustuvaa lämmöntuotantoa. (Hyvinkään Lämpövoima Oy, ei pvm.-a, ei pvm.-b)

Imatran jäähallin hukkalämmön hyödyntäminen

Imatran jäähallissa alettiin hyödyntämään tehokkaasti jäähallin kylmän tuotannossa syntyvää lauhdelämpöä ilmanvaihdon lämmityksessä vuonna 2021, sen sijaan, että lämpö lauhdutettaisiin kokonaisuudessaan ulkoilmaan. Lauhdelämpöä hyödynnetään ilmanvaihdoissa kahden lämpöpatterin avulla, jonka myötä pystytään korvaamaan noin 900



MWh ostettua lämpöenergiaa vuodessa. Tämä vastaa noin 60 prosenttia hallin lämmöntarpeesta. Investoinnin takaisinmaksuajaksi tuli alle kaksi vuotta. (Energy Plus Engineering Oy, 2023.)

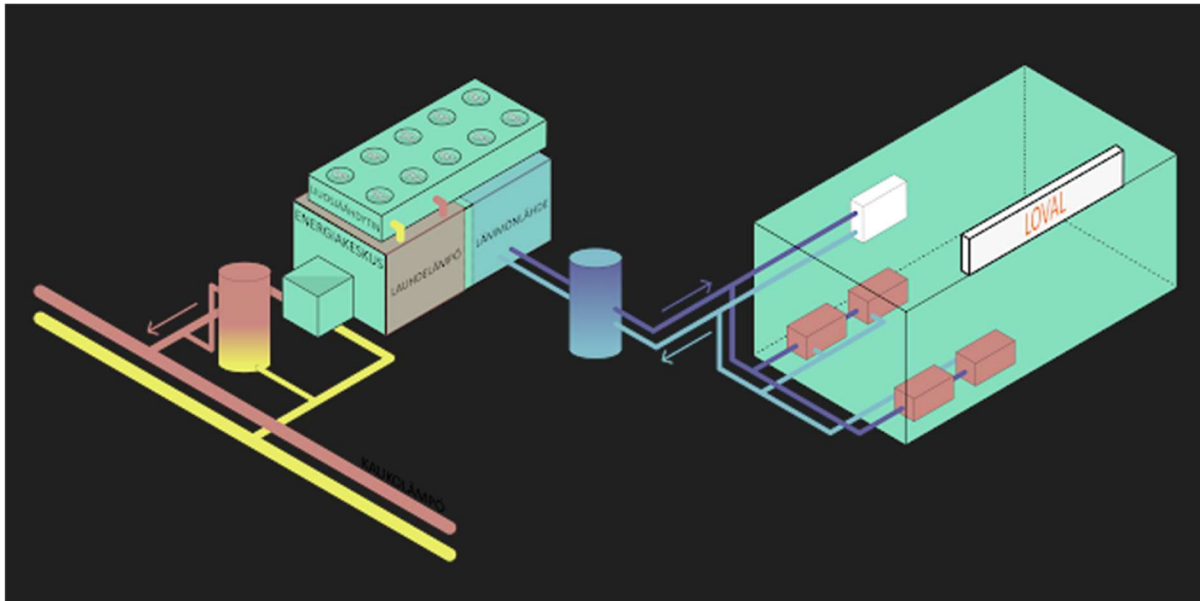
Kankaanpään uimahallin lämmittäminen datakeskuksen hukkalämmöllä

Kankaanpään uimahallissa on käytössä Vatajankosken kehittämä lämmitysratkaisu, jossa Kuulea Energian ylläpitämien palvelinten hukkalämmöllä pystytään kattamaan noin puolet uima-altaiden lämmitystarpeesta. Uimahallin tekniseen tilaan on asennettu kahdeksan 2 kW palvelinta. Näin ratkaisun lämpötehoksi tulee noin 16 kW. Palvelimet ovat nestejäähdytteisiä ja niiden tuottaman hukkalämmön lämpötila on 55–60 °C, joten sitä pystyy hyödyntämään suoraan lämmityksessä. Palvelinten jäähdytysratkaisun avulla niiden kuluttamasta sähköenergiasta saadaan lämpönä talteen 96–98 %. (Motiva & Energiavirasto, 2024, s. 19.)

Loval Oy, tehtaan hukkalämmön hyödyntäminen Loviisan kaukolämpöverkossa

Loval Oy valmistaa Loviisan tehtaassaan lämmönsiirtimiä ja komponentteja lämpöpumppeihin. Tehtaan toimintaa päätettiin laajentaa, jolloin laajennusosan jälkilämmitysuuneille ja tiloille tarvitsi suunnitella jäähdytysratkaisu. Jäähdytysratkaisun Lovallille tarjosi Loviisan Lämpö. Yritykset suunnittelivat ratkaisun yhteistyössä Iotoin kanssa. Tehtaan tontille kesällä 2024 valmistuneen energiakeskuksen avulla voidaan tuottaa 2 MW teholla jäähdytystä tehtaalle ja samalla hyödyntää tehtaan jäähdytysprosessiin sidottua hukkalämpöä kaukolämmön tuotannossa. Lämmitysteho on ollut parhaimmillaan 2,4 MW, mutta keskuksella on mahdollista päästä 3 MW lämmitystehoon asti. Energiakeskus tuottaa vuoden aikana noin 18 GWh kaukolämpöä, joka vastaa melkein 30 % Loviisan Lämmön vuotuisesta kaukolämmön tuotannosta ja vähentää vuodessa 470 tonnia hiilidioksidipäästöjä. Energiakeskuksesta erikoisen tekee se, että lämpöä voidaan tuottaa hukkalämmön lisäksi myös ilmasta ja kaukolämmön paluulinjasta kahden lämpöpumpun avulla. (J. Holmström ym., henkilökohtainen viestintä, 26. maaliskuuta 2025; Vuori, 2024.) Kuvassa 15 havainnollistetaan energiakeskuksen toimintaa sen hyödyntäessä tehtaan hukkalämpöä kaukolämmön tuotannossa.





Kuva 15. Energiakeskus tuottaa kaukolämpöä tehtaan hukkalämmöstä. Prosessin kiertoa on mahdollista muokata niin, että lämpöä tehdään myös ulkoilmasta tai kaukolämmön paluuvedestä (J. Holmström, henkilökohtainen viestintä, 27. maaliskuuta 2025).

Kaukolämmön paluuvettä hyödyntämällä on pystytty laskemaan Loviisan Lämmön hakekattilalle palaavan kaukolämpöveden lämpötilaa jopa 15 °C, mikä tehostaa savukaasupesurin toimintaa merkittävästi. Energiakeskus sisältää kaksi varastoa jäähdytystä varten ja yhden kuumalle kaukolämpövedelle, jolloin lämpöpumppulaitoksen kompressoreita voidaan ajaa sähkön hinnan mukaan. (J. Holmström ym., henkilökohtainen viestintä, 26. maaliskuuta 2025; Vuori, 2024)

Pauligin paahtimon hukkalämpöä hyödynnetään omien tilojen lämmityksessä ja kaukolämpöverkossa

Pauligin Vuosaaren kahvipaahtimossa alettiin ottamaan talteen paahtokoneiden tuottamaa hukkalämpöä vuonna 2020. Paahtokoneiden tuottama 300–400 °C lämpö johdettiin aiemmin savuhormin kautta ulos, mutta nyt siitä otetaan lämpö talteen savuhormiin rakennetun kanavan avulla, joka johtaa lämmön paahtimon pihalla sijaitsevaan Helenin konttiin, jossa lämpö siirretään kaukolämpöverkkoon. Vuoden aikana paahtimon hukkalämmöstä saadaan talteen noin 4000–6000 MWh lämpöä. Tämä lämpömäärä oli niin suuri, ettei sitä ollut mahdollista hyödyntää täysin omiin tarpeisiin, jolloin kaukolämpöverkkoon syöttäminen valikoitui

(63)

29.8.2025

ratkaisuksi. Hukkalämmön korkea lämpötila helpottaa huomattavasti sen hyödyntämistä. Suurimpana haasteena oli minimoida lämmön talteenoton vaikutus itse paahtoprosessiin. (Energiatehokkuussopimukset, 2021.)

Paahtimossa hyödynnetään hukkalämpöä myös oman kiinteistön lämmittämiseen. Vuonna 2021 paahtimon paineilman tuotantoprosessin kompressoreista alettiin ottamaan talteen hukkalämpöä oman kiinteistön lämmittämiseen, mikä vähensi neljän kuukauden tarkastelujakson aikana kaukolämmön ostotarvetta 40 prosenttia. Vuonna 2024 lämmityksessä alettiin hyödyntämään myös paahtimon jäähdytyskoneiden tuottamaa hukkalämpöä, josta saadaan vuoden aikana talteen 700–1000 MWh lämpöä, mikä vastasi lähes 50 % jäljellä olleesta lämmitystarpeesta. (Viisterä, 2022; Välimäki, 2024.)

Plastex, hukkalämmöllä oma tehdas lämpimäksi

Plastexin Lohjalla sijaitsevan tehtaan hukkalämpöä hyödynnetään tehtaan ja läheisten asuinrakennusten lämmityksessä. Tehtaalla syntyy muovin valmistusprosessissa noin 25-asteista hukkalämpöä, jonka lämpötila korotetaan lämpöpumpun avulla rakennuksien lämmitykseen soveltuviksi. Ratkaisulla pystyttiin korvaamaan tehtaalla aiemmin lämmityksestä huolehtinut öljylämmitys kokonaan ja yrityksen hiilidioksidipäästöt vähenivät vuositasolla 180 tonnia. Lämmityksen lisäksi lämpöpumppujärjestelmä huolehtii myös tehtaan jäähdytystarpeista. Lämpöpumppujärjestelmän toimitti Calefa Oy ja se hankittiin leasing-sopimuksella. Hankinnassa ei siis tarvittu alkupääomaa vaan se hankittiin kuuden vuoden mittaisella vuokrasopimuksella, jonka jälkeen järjestelmä siirtyy Plastexin omistukseen. Lisäksi hankkeelle myönnettiin 20 prosentin suuruinen energiatuki Business Finlandilta. Investoinnin kokonaissäästöiksi arvioitiin melkein puoli miljoonaa euroa 20 vuoden elinkaarilaskemalla. (Harmaala, 2021.)

SSAB:n hukkalämpö Loimuan kaukolämpöverkkoon

Loimua rakentaa 10 MW lämpöpumppulaitoksen SSAB:n tehdasalueelle Hämeenlinnassa. Laitoksen on tarkoitus valmistua alkuvuodesta 2026. Laitoksessa otetaan talteen hukkalämpöä tehtaan jäähdytysjärjestelmästä ja sen avulla voidaan tuottaa arviolta 15 prosenttia Hämeenlinnan kaukolämmön tarpeesta, noin 70 GWh. Hankkeelle on myönnetty



tukea Työ- ja elinkeinoministeriöltä noin 2,9 miljoonaa euroa ja hankkeen avulla vähennetään 8 750 tonnia hiilidioksidipäästöjä. (Loimua, 2024.)

Vantaan Energia, Lämmön kausivarasto Varanto

Vantaan Energia on aloittanut lämmön kausivaraston (kappale 4.5.2) rakentamisen Vantaan Kuusikonmäkeen. Kausivarasto on nimeltään Varanto ja sen arvioidaan valmistuvan 2028. Lämmön kausivarastointi mahdollistaa hukkalämmön varastoinnin kesältä talvelle kaukolämpöverkkoa hyödyntäen, mikä poistaa ongelman hukkalämmön hyödyntämisen ja sen tuotannon ajallisen kohtaamisen osalta. Varanto rakennetaan peruskallioon louhimalla sen sisään kolme isoa tunnelia, jotka täytetään vedellä. Tunnelien ja prosessitilojen tilavuus on yhteensä noin 1 100 000 m³. Tunneleihin varastoitavan veden lämpötila voidaan nostaa jopa 140 °C:een, jolloin kokonaislämpökapasiteetti varastolla on 90 GWh. Tunneleita ympäröivän pohjaveden paine on niin korkea, että 140°C veden varastointi on mahdollista ilman, että vesi höyrystyy. Kausivaraston rakentamisen kokonaiskustannuksien on arvioitu nousevan 200 miljoonaan euroon ja sen rakentamiselle on myönnetty 19 miljoonaa euroa tukea Työ- ja elinkeinoministeriöltä. (Vantaan Energia, 2024.)



7 Yhteenveto

Tämä nykytila-analyysi toteutettiin osana Hukkalämmöt hyötykäyttöön (Hukka) -hanketta, jossa selvitettiin energiamarkkinassa tapahtuneita muutoksia ja niiden vaikutuksia hukkalämmön hyödyntämiseen. Työssä tunnistettiin myös merkittävimpiä hukkalämmön hyödyntämisen teknologioita, eri toimialojen hukkalämmönlähteitä, hyödyntämiseen liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia sekä tuotiin esille sen hukkalämmön hyödyntämiseen liittyviä esimerkkitoteutuksia.

Etenkin Venäjän aloittaman hyökkäyssodan laukaisema energiakriisi johti selvään energianhintojen nousuun, ja se kannustaa yhdessä energianloppukulutuksen tiukentuneen kansallisen tavoitteen kanssa hukkalämmön tehokkaampaan hyödyntämiseen. Kohonneiden energianhintojen myötä hukkalämmön hyödyntämisen omiin lämmitystarpeisiin havaittiin olevan lähtökohtaisesti kannattavampaa kuin sen myyminen eteenpäin. Tätä vaihtoehtoa kannattaa tietysti tarkastella siinä vaiheessa, jos lämpöä ei pysty hyödyntämään itse. Hukkalämmön hyödyntämistä kaukolämpöverkossa voisi edistää sopimusratkaisujen avoimempi esittäminen. Toistaiseksi vain muutamalla kaukolämpöyhtiöllä Suomessa on avoimesti saatavilla hinnasto hukkalämmön ostolle, mutta niissäkin on käytössä matalat tuotantotehorajat.

Valtaosa Suomessa syntyvästä hukkalämmöstä on matalassa lämpötilassa (<100 °C). Käytännössä lähes kaikki teollisuuden ulkopuolella oleva hukkalämpö kuuluu tähän kategoriaan ja esimerkkitoteutuksista on havaittavissa lämpöpumppujärjestelmien tärkeä rooli hukkalämmön hyödyntämisessä. Tämän vuoksi lämpöpumppujen siirtäminen alempaan sähköveroluokkaan on ollut tärkeässä osassa hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen mahdollistamiseksi.

Toisena keskeisenä haasteena laajamittaisessa hyödyntämisessä havaittiin olevan hukkalämmön syntymisen ajallinen kohtaaminen lämmön tarpeen kanssa. Tämän haasteen selättämiseksi lämmönvarastointi on tärkeässä roolissa ja esimerkiksi osa energiayhtiöistä on alkanut panostamaan varastointitekniikkaan. Esimerkiksi Hyvinkään Lämpövoima ja Vantaan Energia ovat alkaneet rakentamaan suuria lämmön kausivarastoja, jotka mahdollistavat lämmön varastoimisen kesältä lämmityskaudelle.



Hankkeen seuraavissa työpaketeissa kontaktoidaan ja haastatellaan Kanta-Hämeen potentiaalisia hukkalämmöntuottajia, energiayhtiöitä ja hukkalämpöratkaisuja toteuttavia yrityksiä. Haastatteluiden avulla pyritään tunnistamaan mm. yrityksen tilannetta hukkalämmön hyödyntämisen osalta, yrityksen hukkalämpöpotentiaalia, energiayhtiöiden vaatimuksia hukkalämmön hyödyntämisessä kaukolämpöverkossa ja tunnistamaan tarkemmin hukkalämmön hyödyntämisen haasteita. Haastattelujen perusteella kootaan työpajoja, jossa pyritään löytämään yhteisiä toimintamalleja matkalla hukkalämmön tehokkaampaan hyödyntämiseen. Haastatteluiden ja muiden yrityskontaktien kautta tunnistetaan Kanta-Hämeen alueen merkittävimmät hukkalämmön tuottajat ja niiden sijainti merkitään energiakarttapalveluun.



Lähteet

- Aalto-yliopisto, VTT, & Suomen jääkiekkoliitto. (ei pvm.). *Jäähallien energiatehokkuuuden parantaminen*. Noudettu 17. joulukuuta 2024, osoitteesta https://jaahalliportaali.fi/files/jaahalliportaali_handbook.pdf
- AFRY. (ei pvm.). *Datakeskusten hukkalämmöt talteen Fortumin kaukolämmöksi*. AFRY. Noudettu 20. toukokuuta 2025, osoitteesta <https://afry.com/fi-fi/projektit/datakeskusten-hukkalammot-talteen-fortumin-kaukolammoksi>
- Ahola, J., Annala, S., Bryer, C., Dankowska, A., Grönman, A., Hynynen, K., Hyvärinen, J., Jaanto, J., Havukainen, J., Honkapuro, S., Karjunen, H., Kauranen, P., Kosonen, A., Kuparinen, K., Laaksonen, P., Lassila, J., Martinez, C. M., Paulomäki, H., Proskurina, S., ... Vakkilainen, E. (2024). *Varma, kestävä ja kohtuuhintainen energia 9/2024* (Energiaselonteko, s. 76). LUT-yliopisto. <https://www.lut.fi/sites/default/files/media/documents/LUT-yliopisto-Energiaselonteko-fi-2024-for-web.pdf>
- Ahonen, A.-M., & Lipsanen, M. (2025). *Maakuntaohjelma 2022-2025*. Hämeen liitto. <https://hameenliitto.fi/elinvoima-ja-kehittaminen/kestavan-kasvun-hame/maakuntaohjelma/>
- Ahonen, H. (2018). *Lahden Askonalue on Suomessa edelläkävijä pohjavesilämmityksessä—Ruotsissa 160 isoa kohdetta lämpenee pohjavedellä*. Kaleva. <https://www.kaleva.fi/lahden-askonalue-on-suomessa-edellakavija-pohjaves/1817524>
- Ahtokivi, I. (2023). *Loviisan ydinvoimalalle jatkolupa vuoden 2050 loppuun*. Verkkouutiset. <https://www.verkkouutiset.fi/a/loviisan-ydinvoimalalle-jatkolupa-vuoden-2050-loppuun/>
- Auvinen, K., Meriläinen, T., & Saikku, L. (2021). *Hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämisen esteet ja edistämiskeinot kaukolämpöverkoissa*. Suomen ympäristökeskus SYKE.

<https://hiilineutraalisuomi.fi/fi->

[FI/Ilmastotyo/Energia/Hukka_ja_ymparistolammon_kasvun_esteet_j\(59173\)](https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ilmastotyo/Energia/Hukka_ja_ymparistolammon_kasvun_esteet_j(59173))

Bianchi, G., Panayiotou, G. P., Aresti, L., Kalogirou, S. A., Florides, G. A., Tsamos, K., Tassou, S. A., & Christodoulides, P. (2019). Estimating the waste heat recovery in the European Union Industry. *Energy, Ecology and Environment*, 4(5), 211–221. <https://doi.org/10.1007/s40974-019-00132-7>

Bilstein Group. (2021). *The Sustainability Report for Bilstein Group companies*. <https://www.bilstein-gruppe.de/en/downloads-2/>

Business Finland. (2024). *Energiatuki*. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Bäckström, S. (2022). *Hukkalämpöselvitys*. Ramboll Finland Oy. https://www.prizz.fi/media/energiaratkaisut/energiaratkaisut-materiaalit/ramboll_hukkalampöselvitys_loppuraportti.pdf

Christodoulides, P., Aresti, L., Panayiotou, G. P., Tassou, S., & Florides, G. A. (2022). Adoption of Waste Heat Recovery Technologies: Reviewing the Relevant Barriers and Recommendations on How to Overcome Them. *Operations Research Forum*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s43069-021-00108-6>

Elinkeinoelämän keskusliitto. (2025). Vihreiden investointien dataikkuna. *Elinkeinoelämän keskusliitto*. <https://ek.fi/tutkittua-tietoa/vihreat-investoinnit/>

Energiatehokkuussopimukset. (2021). *Paulig ja Helen: Kahvinpaahtimo lämmittää tuhat kaksiota*. Energiatehokkuussopimukset 2017–2025. <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/paulig-ja-helen-kahvinpaahtimo-lammittaa-tuhat-kaksiota/>



Energiateollisuus ry. (2021). *Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021*.

[https://energia.fi/wp-](https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf)

[content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf)

Energiateollisuus ry. (2024). *Kaukolämmön hintatilasto*. Energiateollisuus.

<https://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hintatilasto/>

Energiavirasto. (ei pvm.). *Teollisuuden sähköistämistuki*. Energiavirasto. Noudettu 12. joulukuuta 2024,

osoitteesta <https://energiavirasto.fi/teollisuuden-sahkoistamistuki>

Energy Plus Engineering Oy. (2023). Imatran jäähalli: Hukkalämpö hyötykäyttöön. *Energy Plus Engineering Oy*. <https://www.epluse.fi/?p=1>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001. (ei pvm.). Noudettu 26. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02018L2001-20240716>

European Commission. (ei pvm.-a). *Energy Efficiency Directive*. Noudettu 20. marraskuuta 2024, osoitteesta https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en

European Commission. (ei pvm.-b). *Renewable Energy Directive*. Noudettu 20. marraskuuta 2024, osoitteesta https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

European Commission. (2024). *REPowerEU*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en



(63)

29.8.2025

- Fortum. (ei pvm.). *Datakeskusten hukkalämpöjen kierrätys on järkevää energiankäyttöä*. Fortum. Noudettu 20. toukokuuta 2025, osoitteesta <https://www.fortum.com/fi/lammitys-ja-jaahdytys/tuotantomme/espoo-clean-heat/datakeskusten-hukkalammon-kierratys>
- Fortum. (2024). *Avoin kaukolämpö ostohinnat*. <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisöille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo/avoin-kaukolampo-ostohinnat>
- Grassi, W. (2018). *Heat Pumps*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62199-9>
- Harmaala, P. (2021). *Tehtaan hukka-lämmöt hyötykäyttöön kassavirtaposiitiivisesti*. Calefa. <https://calefa.fi/tehtaan-hukkalammot-hyotykayttoon-kassavirtaposiitiivisesti/>
- He, J., Li, K., Jia, L., Zhu, Y., Zhang, H., & Linghu, J. (2024). Advances in the applications of thermoelectric generators. *Applied Thermal Engineering*, 236, 121813. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121813>
- Helen. (2025). *Avoin kaukolämpö*. <https://www.helen.fi/yritykset/lampoa-yrityksille/lammitysratkaisut-eri-tarpeisiin/avoin-kaukolampo>
- HOK-Elanto. (2022). Puurakenteinen Alepa Backas palvelee kartanomiljöössä – poikkeuksellinen kauppa lämmittää itse itsensä. *HOK-Elanto*. <https://hok-elanto.fi/news/puurakenteinen-alepa-backas-palvelee-kartanomiljoossa-poikkeuksellinen-kauppa-lammittaa-itse-itsensa/>
- Holmström, J. (2025, maaliskuuta 27). *Loval Oy energiakeskuksen toimintakaavio* [Henkilökohtainen viestintä].
- Holmström, J., Söderholm, H., Paajanen, M., & Kivimäki, O. (2025, maaliskuuta 26). *Kohdevierailut, Loval Oy ja Porvoon keskuskoulu* [Henkilökohtainen viestintä].



- Huttunen, R., Kinnunen, M., Lemström, B., Hirvonen, P., & Kuuva, P. (2024). *Finland's Integrated National Energy and Climate Plan Update*. Työ- ja elinkeinoministeriö.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-527-0>
- Hyvinkään Lämpövoima Oy. (ei pvm.-a). Hyvinkään Lämpövoimalle 7,7 milj. Euron investointituki lämmön kausivarastohankkeeseen. *Hyvinkään Lämpövoima*. Noudettu 3. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://hlv.fi/ajankohtaista/hyvinkaan-lampovoimalle-77-milj-euron-investointituki-lammon-kausivarastohankkeeseen/>
- Hyvinkään Lämpövoima Oy. (ei pvm.-b). Kulomäen lämpövarastolle vesilupapäätös. *Hyvinkään Lämpövoima*. Noudettu 3. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://hlv.fi/ajankohtaista/kulomaen-lampovarastolle-vesilupapaaotos/>
- IEA. (2023). *Finland 2023 – Analysis*. IEA. <https://www.iea.org/reports/finland-2023>
- Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 268–289. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017>
- Kattilamäki, S., & Keitaanranta, M. (2025, huhtikuuta 29). *HOK-Elanto haastattelu* [Henkilökohtainen viestintä].
- Kiviranta, P., Hyypiä, J., Keski-Luopa, M., Rahiala, S., Tynjälä, T., & Inkeri, E. (2023). *Vetyä, virtaa Kaakkoon – hukkalämmön hyödyntämispotentiaali*. XAMK. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-569-7>
- Kolkka, E.-H. (2021). *Lämpöenergian varastointimenetelmien nykytilanne ja tulevaisuuden näkymiä* [Turun Ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021080916939>
- Korpela, T., Kuosa, M., Sarvelainen, H., Tuliniemi, E., Kiviranta, P., Tallinen, K., & Koponen, H.-K. (2022). Waste heat recovery potential in residential apartment buildings in Finland's

- Kymenlaakso region by using mechanical exhaust air ventilation and heat pumps. *International Journal of Thermofluids*, 13, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100127>
- Korpelan Voima. (2021). *Energiaveron sähköveroluokka II muuttunut 1.1.2021 alkaen*. Korpelanvoima. <https://www.korpelanvoima.fi/ajankohtaista/uutiset/energiaveron-sahkoveroluokka-ii-muuttunut-1-1-2021-alkaen>
- Koski, L. (2022). *Uima- ja jäähalliportaali-kohteiden energiankulutus- ja hiilidioksidipäästöarvio*. Vahanen. <https://jaahalliportaali.fi/files/fi%20uima-%20ja%20j%C3%A4%C3%A4halliportaali-kohteiden%20energiankulutus-%20ja%20hiilidioksidip%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6arvio%20raportti%20ja%20liitteet.pdf>
- Kretz, M. (2023). *Akvifär – en bra affär för Arlanda*. Energi & miljö. <https://www.energi-miljo.se/akvifar-en-bra-affar-for-arlanda/>
- Kuopion Energia. (ei pvm.). *Kaukolämmön hinnat ja sopimusehdot*. Noudettu 10. maaliskuuta 2025, osoitteesta <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/hinnat-ja-sopimusehdot/kaukolammon-hinnat-ja-sopimusehdot/>
- Kuulea Energia Oy. (2022). *Kuulea HEATING*. Kuulea Energia Oy. <https://www.kuulea.com/kuulea-heating>
- Lallukka, S. (2014). *Jätevedenpuhdistamon energianseuranta- järjestelmä* [Insinööritoimisto, Metropolia Ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201501111167>
- Lamminen, K. (2019). *Kaupungissa on mahdollista asua vihreästi – kerrostalo tuottaa energiaa Tampereella*. Maaseudun Tulevaisuus. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/uutiset/98738998-f4d5-5e46-8da6-e30f25a356a8>

(63)

29.8.2025

- Lavento, D. (2022). *Konesalien lämpö hyötykäyttöön*. KylmäExtra.
<https://kylmaextra.fi/teemat/konesalien-lampo-hyotykyttoon/>
- Leppäkoski. (ei pvm.). *Avoin kaukolämpö*. Noudettu 10. maaliskuuta 2025, osoitteesta
<https://leppakoski.fi/avoin-kaukolampo/>
- Linjama, J. (2021). *Jätevedenpuhdistamot ja vesilaitokset energiatehokkaiksi*.
https://issuu.com/suomenymparistokeskus/docs/canemure_jatevedenpuhdistamot_verkkoon_01_07_2021_
- Loimua. (2024). *Loimua alkaa tuottamaan kaukolämpöä SSAB:n Hämeenlinnan tehtaan hukkalämmöllä*. <https://loimua.fi/ajassa-ja-blogi/loimua-alkaa-tuottamaan-kaukolampoa-ssabn-hameenlinnan-tehtaan-hukkalammolla/>
- Martin, K., & Koikkalainen, J. (2021). *Suomen kaupan alan hukkalämpöpotentiaali*. Granlund Oy.
https://www.motiva.fi/files/19507/Kaupan_alan_hukkalampopotentiaali_-_Selvitys_08.11.2021.pdf
- Motiva. (2025). *Energiatehokkuus- ja ESCO-palvelut*. Motiva.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuus-_ja_esco-palvelut
- Motiva, & Energiavirasto. (2024). *Uimahallien energiatehokkuus*. Motiva.
https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/energiatehokkuus/uimahallien_energiatehokkuus.10727.shtml
- Mustonen, S. (2025). Hollolan kunta: Uimahallista energiatehokas alkuperäistä arkkitehtuuria kunnioittaen. *Energiatehokkuussopimukset 2017–2025*.
<https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/hollolan-kunta-uimahallista-peruskorjauksessa-energiatehokas-alkuperaista-arkkitehtuuria-kunnioittaen/>



- Ononogbo, C., Nwosu, E. C., Nwakuba, N. R., Nwaji, G. N., Nwifo, O. C., Chukwuezie, O. C., Chukwu, M. M., & Anyanwu, E. E. (2023). Opportunities of waste heat recovery from various sources: Review of technologies and implementation. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13590>
- Pöyry Management Consulting Oy. (2016). *Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit* (s. 54). Energiateollisuus ry & Sitra. <https://www.sitra.fi/julkaisut/kaksisuuntaisen-kaukolammon-liiketoimintamallit/>
- Remes, M. (2023). *Alepa Backas näyttää tietä tuleville energiaratkaisuille*. KylmäExtra. <https://kylmaextra.fi/teemat/alepa-backas-nayttaa-tieta-tuleville-energiaratkaisuille/>
- Remes, M. (2024). HSY: Jäteveden käsittelystä kaikki hukkalämpö hyötykäyttöön. *Energiatehokkuussopimukset 2017–2025*. <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/hsy-jateveden-kasittelysta-kaikki-hukkalampo-hyotykyttoon/>
- Sandbag. (2025). *Carbon Price Viewer*. Sanbag. <https://sandbag.be/carbon-price-viewer/>
- Sihvonen, S., & Fagerström, O. (2022). *Hakametsä Sport Campus alue—Energiaselvitys* [Loppuraportti]. Granlund Oy. https://www.tampere.fi/sites/default/files/2023-11/8792_energiaselvitys_20220131.pdf
- Sirola, V.-P., & Tiitinen, M. (2018). *Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä*. <https://energia.fi/julkaisut/hukkalampojen-hyodyntaminen-kaukolampojarjestelmassa-tekniset-ohjeet/>
- Smart Heating. (2024). *Westendin tornit pienensivät hiilijalanjälkeään poistoilman lämmöntalteenotolla*. Smart Heating. <https://www.smartheating.fi/westendin-tornit-pienensivat-hiilijalanjalkeaan-poistoilman-lammonteenotolla/>

(63)

29.8.2025

- Stockholm Exergi. (ei pvm.). *Värmeåtervinning*. Noudettu 13. maaliskuuta 2025, osoitteesta <https://www.stockholmexergi.se/foretag/fjarrvarme-for-foretag/varmeatervinning/>
- Swedavia Airports. (ei pvm.). *Akvifären på Stockholm Arlanda Airport*. Noudettu 27. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://www.swedavia.se/arlanda/miljo/akvifaren/>
- Syri, S., Mäkelä, H., Rinne, S., & Wirgentius, N. (2015). Open district heating for Espoo city with marginal cost based pricing. *2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/EEM.2015.7216654>
- Tampereen Energia. (2017). Taloyhtiö aloittaa kaukolämmön pientuotannon. *Tampereen Energia*. <https://www.tampereenergia.fi/uutiset/taloyhtio-aloittaa-kaukolammon-pientuotannon-tampereella/>
- Tampereen Energia. (2025). *Hinnastot*. <https://www.tampereenergia.fi/energiaratkaisut/hinnastot/>
- Tilastokeskus. (2024a). *12vk—Energian loppukulutus sektoreittain, 1970-2023*. https://pxdata.stat.fi:443/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vk.px/
- Tilastokeskus. (2024b). *12vq—Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (kaikki luokat), 1970-2023*. https://pxdata.stat.fi:443/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vq.px/
- Tilastokeskus. (2024c). *13rb—Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2008M01-2024M09*. https://pxdata.stat.fi:443/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/
- Toholammin Energia. (ei pvm.). *Lämpölaitokset | Toholammin Energia*. Noudettu 10. kesäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.toholamminenergia.fi/tietoa-meista/lampolaitokset>
- Turku Energia. (2021). *Ensimmäisenä Suomessa! Kaksisuuntainen matalalämpöverkko lämmitää taloja Skanssissa*. <https://www.turkuenergia.fi/valopilkku/ensimmaisena-suomessa-kaksisuuntainen-matalalampoverkko-lammittaa-taloja-skanssissa>



(63)

29.8.2025

Työ- ja elinkeinoministeriö. (ei pvm.). *Energia- ja investointituet*. Työ- ja elinkeinoministeriö. Noudettu

12. joulukuuta 2024, osoitteesta <https://tem.fi/energia-ja-investointituet>

Uimonen, H., & Patronen, J. (2020). *Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä*. AFRY Management Consulting Oy.

https://tem.fi/documents/1410877/176066306/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_1_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-ee9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf?t=1693995295812

Valtiovarainministeriö. (2025). *Datakeskusten ja kaivosten verotukea ehdotetaan poistettavaksi*.

Valtiovarainministeriö. <https://vm.fi/-/datakeskusten-ja-kaivosten-verotukea-ehdotetaan-poistettavaksi>

Vantaan Energia. (2024). *Varanto eli lämmön kausivarasto*. <https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/hankkeet/varanto/>

Verohallinto. (2025). *Sähkövero*. Vero. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/>

Viisterä, J. (2022). *Pauligin Vuosaaren kiinteistö saavutti energiatehokkuustavoitteet neljä vuotta etuajassa*. Paulig. <https://www.pauliggroup.com/fi/uutishuone/pauligin-vuosaaren-kiinteisto-saavutti-energiatehokkuustavoitteet-nelja-vuotta-etuajassa>

Vuori, P. (2024). *Loviisan Lämmön uuden sukupolven energiakeskus vihittiin käyttöön*. Calefa. <https://calefa.fi/loviisan-lammon-uuden-sukupolven-energiakeskus/>



Välimäki, M. (2024). *Paulig: Kahvi paahtuu energiatehokkaasti*. Energiatehokkuussopimukset 2017–2025. <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/paulig-kahvi-paahtuu-energiatehokkaasti/>

Wieland, C., Schiffelechner, C., Dawo, F., & Astolfi, M. (2023). The organic Rankine cycle power systems market: Recent developments and future perspectives. *Applied Thermal Engineering*, 224, 119980. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.119980>

