KANNATTAVUUDEN KEHITTYMINEN HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISESSÄ, CASE RIIHIMÄEN JÄÄHALLI

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan diplomityö

2025

Sauli Lönni

Tarkastajat: Professori Tero Tynjälä

TkT Kaisa Kontu

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT energiajärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Sauli Lönni

Kannattavuuden kehittyminen hukkalämmön hyödyntämisessä, CASE Riihimäen jäähalli

Energiatekniikan diplomityö

2025

53 sivua, 10 kuvaa, 12 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Professori Tero Tynjälä ja TkT Kaisa Kontu

Avainsanat: Hukkalämpö, energiatehokkuus, energiatuki, jäähalli

Tässä diplomityössä tutkittiin hukkalämmön hyödyntämisen kannattavuudessa tapahtunutta kehitystä vuoden 2019 jälkeen, jotta saatiin aikaan vertailutilanne ennen koronapandemiaa ja energiakriisiä seurannutta voimakasta energian hintojen nousua.

Hukkalämpöä syntyy mm. teollisuuden prosesseissa, kaupan alalla kylmäjärjestelmissä, datakeskuksien jäähdytysjärjestelmissä ja jäähallien kylmäkoneissa. Valtaosa syntyneestä hukkalämmöstä on matalan lämpötilan hukkalämpöä (<100°C), ja tämän vuoksi sen hyödyntäminen vaatii usein lämpötilan korottamista lämpöpumpun tai sähkökattilan avulla. Tämän vuoksi kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavien lämpöpumppujen ja sähkökattiloiden siirtäminen sähköveroluokkaan II on ollut hyödyllistä kannattavuuden parantamisessa. Lisäksi energian hintojen nopea nousu kannustaa korvaamaan ostoenergiaa omalla hukkalämmöllä.

Hukkalämmön hyödyntämisen kannattavuuden kehitystä tutkittiin tarkemmin esimerkkitapauksen kautta. Esimerkkitapauksena toimi Riihimäen jäähalli, jossa suunnitellaan lauhdelämmön tehokkaampaa hyödyntämistä omiin lämmitystarpeisiin ja sähkön säästöä mm. ilmankuivausjärjestelmän vaihtamisen kautta. Tutkimuksessa havaittiin, että investoinnin korollinen takaisinmaksuaika eri skenaarioiden välillä energiatuen (20 %) kanssa on 3,0–5,5 vuotta lyhyempi vuoden 2025 energian hintatasoilla verrattuna vuoden 2019 energian hintatasoihin.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Sauli Lönni

Development of Profitability in the Utilization of Waste Heat, CASE Ice Rink in Riihimäki

Master's thesis

2025

53 pages, 10 figures, 12 tables and 1 appendix

Examiners: Professor Tero Tynjälä and D.Sc. Kaisa Kontu

Keywords: Waste Heat, Energy Efficiency, Energy Aid, Ice Rink

This master's thesis studies development of profitability in the utilization of waste heat after the year 2019. This provides a benchmark situation before the Covid-19 pandemic, and the energy crisis caused by the war between Russia and Ukraine.

Waste heat is generated e.g. in industrial processes, in refrigeration systems in grocery stores, in cooling systems of data centers and in ice arena refrigeration units. Most of the waste heat is in low temperatures (<100°C), and therefore utilizing it requires often raising the temperature with a heat pump or an electric boiler. For this reason, transferring heat pumps and electric boilers that supply heat to district heat network to electricity tax class II has been beneficial in improving profitability of investments related to utilizing waste heat. In addition, the rapid rise in energy prices encourages replacing purchased energy with self-produced waste heat.

The development of the profitability of waste heat utilization was examined in more detail through a case study. The case in question was the ice rink in Riihimäki, where more efficient use of waste heat is planned, along with electricity savings through e.g. replacing the air dehumidification system. The study found out that, depending on the scenario, the discounted payback period of the investment with energy aid (20 %) is 3.0 to 5.5 years shorter with 2025 energy price levels compared to 2019 energy price levels.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

h	sähköveron suuruus	€/MWh
I	investointikustannukset	€
N	korollinen takaisinmaksuaika	a
P	teho	MW
q	säästö vuodessa	€/a
r_e	energian hinnan reaalikorko	%
t	huipunkäyttöaika	h/a
T	lämpötila	K,°C

Alaindeksit

1	sähköveroluokka I
2	sähköveroluokka II
c	kylmä lähde
h	kuuma lähde

Lyhenteet

CWHRP	hukkalämmön carnot-potentiaali
LTO	lämmöntalteenotto
tCO2-ekv	hiilidioksidiekvivalenttitonni
WHRP	teoreettinen hukkalämpöpotentiaali

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

Ilmoitukset

1 Johdanto 10
2 Hukkalämpö 12
2.1 Hukkalämmön hyödyntämistavat 12
2.2 Hukkalämmön lähteet 13
2.2.1 Teollisuuslaitokset energiatehokkuusdirektiivin piirissä 13
2.2.2 Kaupan ala 14
2.2.3 Jäähallit ja uimahallit 15
2.2.4 Datakeskukset 15
2.2.5 Jätevedenpuhdistamot 16
2.2.6 Kaukolämmön paluuputki 16
2.3 Hukkalämmön lämpötilatasot 16
2.4 Haasteet hukkalämmön hyödyntämisessä 19
2.5 Hukkalämmön hyödyntämistä edistävät toimet 20
2.5.1 Sähkövero 20
2.5.2 Mitoituslämpötilojen laskeminen kaukolämmön asiakaslaitteissa 21
2.5.3 Business Finlandin Energiatuki 22
2.5.4 Energiaviraston Teollisuuden sähköistämistuki 23
2.6 Energianhintojen kehitys 23
2.6.1 Päästöoikeuksien hinnan kehitys 24
2.6.2 Kaukolämmön hinnan kehitys 25
2.6.3 Sähkön hinnan kehitys 26
3 Hukkalämpö kaukolämpöverkossa 28
3.1 Kaksisuuntainen kaukolämpö 28
3.2 Liiketoimintamallit 29
3.3 Hukkalämmön arvo 31
4 Jäähallin energiatehokkuus 33

4.1 Jäähallin olosuhteet 34
4.2 Tuloilman kuivatus 34
4.3 Jäähallin energiatehokkuustoimenpiteitä 36
4.4 Esimerkkitoteutuksia 37
5 Case: Riihimäen jäähalli 39
5.1 Uusi lämmöntalteenottoratkaisu 39
5.2 Vaikutus jäähallin energiankulutukseen 40
5.3 Jäähallin ostoenergian hinnan kehitys 41
5.4 Investoinnin kannattavuus 42
6 Tulokset 43
6.1 Säästöt energiakustannuksissa vuoden 2025 hintatasolla 43
6.2 Säästöt energiakustannuksissa vuoden 2019 hintatasolla 44
6.3 Kehitys investoinnin kannattavuudessa 44
6.4 Herkkyystarkastelu 45
7 Johtopäätökset 47
Lähteet 49

Liitteet

Liite 1. Teollisuuden sähköistämistukeen oikeutetut toimialat

Kuvaluettelo

Kuva 1: Päästöoikeuksien hinnan (€/tCO_2-ekv.) kehitys.

Kuva 2: Kaukolämmön hintakehitys (€/MWh) 2019–2024.

Kuva 3: Kaukolämmön hankinnan energialähteet 2024 (vasen) ja 2022 (oikea).

Kuva 4: Sähkön kokonaishinnan kehitys 2019–2024.

Kuva 5: Kaksisuuntaisen kytkennän periaate.

Kuva 6: Ostoenergian kulutuksen jakautuminen energiatehokkaassa jäähallissa (vasen) ja energiatehottomassa jäähallissa (oikea).

Kuva 7: Kondenssikuivaimen toimintaperiaate.

Kuva 8: Sorptiokuivaimen toimintaperiaate.

Kuva 9: Jäähallin kylmäkoneiden tuottaman lauhdelämmön talteenottojärjestelmän toimintaperiaate.

Kuva 10. Riihimäen vanha jäähalli.

Taulukkoluettelo

Taulukko 1: Energiatehokkuusdirektiivin piiriin kuuluvien laitosten hukkalämpöpotentiaali.

Taulukko 2: EU:n teollisuusalojen teoreettisen hukkalämpöpotentiaalin lämpötilatasojen jakauma.

Taulukko 3: Carnot-potentiaalin kautta tarkastellun hukkalämpöpotentiaalin lämpötilajakauma.

Taulukko 4: Kuopion Energian ja Tampereen Energian hukkalämmöstä tarjoama energiamaksu. Molemmilla yhtiöillä tuotantotehoraja on 1 MW.

Taulukko 5: Riihimäen jäähallin sähkön ja kaukolämmön kulutus vuonna 2024.

Taulukko 6. Ostoenergian hinnat tarkasteluvuosina 2019 ja 2025.

Taulukko 7. Arvioitu vuosittainen säästö energialaskuissa vuoden 2025 hintatasoilla.

Taulukko 8. Arvioitu vuosittainen säästö energialaskuissa vuoden 2019 hintatasoilla.

Taulukko 9. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika vuoden 2025 energian hintatasoilla.

Taulukko 10. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika vuoden 2019 energian hintatasoilla.

Taulukko 11. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika vuoden 2025 energian hintatasoilla ilman energiatukea.

Taulukko 12. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika vuoden 2019 energian hintatasoilla ilman energiatukea.

ILMOITUKSET

Turnitin

Tämän opinnäytetyön alkuperäisyys on tarkistettu Turnitin – samankaltaisuuden tarkastuspalvelun avulla.

Tekoäly

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja Sauli Lönni ei ole käyttänyt tekoälytyökaluja opinnäytetyön tekemisessä.

Vastuu

Kirjoittaja, Sauli Lönni, ottaa täyden vastuun tämän opinnäytetyön sisällöstä ja on tarkistanut ja muokannut mahdollisen tekoälytyökalujen käytön myötä syntyneen sisällön.

1 Johdanto

Tässä tutkimuksessa selvitetään hukkalämmön hyödyntämisessä tapahtunutta kehitystä viimeisten vuosien aikana. Hukkalämmöllä tarkoitetaan lämpöenergiaa, joka päätyy ympäristöön ilman, että sitä hyödynnetään mitenkään. Hukkalämpöä siirtyy ympäristöön esimerkiksi teollisuuden prosesseista savukaasujen mukana, kaupan alalla johdettaessa kylmäjärjestelmien lauhde-energia ulkoilmaan ja kiinteistöjen poistoilman mukana, jos ilmanvaihto ei sisällä lämmöntalteenottoa. Tämä energia on mahdollista kierrättää takaisin käyttöön esimerkiksi teollisuuden prosessien esilämmittämiseen, rakennuksien lämmittämiseen tai myymällä se kaukolämpöverkkoon. Hukkalämmön tehokkaampi hyödyntäminen parantaa siis energiatehokkuutta, vähentää hiilidioksidipäästöjä ja primäärienergiankulutusta sekä korvaa polttamiseen perustuvaa lämmöntuotantoa.

Suomen tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus 62 % kokonaisloppuenergian käytössä ja vähentää loppuenergiankulutus alle 239,6 terawattitunnin (TWh) vuoteen 2030 mennessä, korvata polttamiseen perustuvaa lämmöntuotantoa sekä saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä (Huttunen et al. 2024, 4 & 12). Hukkalämmön hyödyntämisellä on mahdollista päästä lähemmäksi kaikkia näitä tavoitteita. Näihin tavoitteisiin on vielä matkaa, sillä uusiutuvan energian osuus kokonaisloppuenergiankäytössä oli 42,1 % (Tilastokeskus 2024c) ja loppuenergian kulutus 280,3 TWh vuonna 2023 (Tilastokeskus 2024b).

Hukkalämmön hyödyntäminen ei itsessään ole uutta teknologiaa ja sitä on tutkittu aiemminkin, mutta viimeisten vuosien aikana sen hyödyntäminen on muuttunut lähtökohtaisesti aiempaa kannattavammaksi energianhintojen nousun ja erilaisten tukimuotojen myötä. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää hukkalämmön hyödyntämisen kannattavuudessa tapahtuneita muutoksia nykyhetkessä verrattuna aikaan ennen koronapandemiaa ja Venäjän ja Ukrainan välisen sodan laukaisemaa energiakriisiä. Vertailuvuosina toimivat siis vuodet 2019 ja 2025.

Tutkimuksessa selvitetään kirjallisuuskatsauksen avulla hukkalämmön syntymispaikkoja, määriä ja lämpötilatasoja, sen hyödyntämiskohteita, hyödyntämiseen liittyviä haasteita ja kannattavuuteen vaikuttaneita muutoksia tukiratkaisuissa ja ostoenergian hinnoissa. Kannattavuuteen perehdytään tarkemmin esimerkkikohteen kautta, jona toimii Riihimäen jäähalli.

Riihimäen jäähallilla toteutetaan tulevaisuudessa investointi, jossa jäähallissa syntynyttä lauhdelämpöä hyödynnetään entistä tehokkaammin. Kannattavuutta tarkastellaan investoinnin korollisessa takaisinmaksuajassa tapahtuneen muutoksen kautta, jota verrataan vuosien 2019 ja 2025 valinneiden ostoenergian hintatasojen välillä. Tietoja jäähallin teknisestä ratkaisusta ja ostoenergian hinnoista hankitaan kohdevierailulla, haastattelemalla Riihimäen kaupungin LVI-asiantuntijaa ja tutustumalla kohteen teknisiin suunnitelmiin.

2 Hukkalämpö

Hukkalämpö määritellään Direktiivissä 2018/2001 seuraavanlaisesti:

> ” ’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 yhteistuotantoprosessissa tai jos yhteistuotanto ei ole mahdollista;”

Tässä tutkimuksessa hukkalämpö laajennetaan käsittämään myös sellaista hukkaan menevää lämpöenergiaa, joka on mahdollista hyödyntää itse, myydä toiselle yritykselle tai josta on mahdollista tuottaa sähköä. Hukkalämmön hyödyntämistavasta riippumatta, se vaatii kuitenkin aina kolme eri asiaa; hukkalämmön lähteen, teknologian sen hyödyntämiseksi ja käyttökohteen.

2.1 Hukkalämmön hyödyntämistavat

Hukkalämmön hyödyntämiseen on olemassa useita eri keinoja. Lämpöä voi hyödyntää itse omassa toiminnassaan, myydä se toiselle lähellä toimivalle yritykselle tai myydä se kaukolämpöverkkoon. Lähtökohtaisesti hyödyllisintä on tehostaa omaa prosessiaan niin ettei hukkalämpöä syntyisi. Tämän jälkeen sen hyödyntämistä kannattaa tarkastella omissa prosesseissa tai tilojen lämmityksessä, jolloin voi vähentää ostoenergian tarvetta ja parantaa omaa energiatehokkuutta. Vasta tämän jälkeen kannattaa tarkastella hukkalämmön myyntiä eteenpäin läheiselle yritykselle tai kaukolämpöverkkoon. Tämä johtuu siitä, että energian siirtäminen kauemmaksi syntypaikasta vaatii aina enemmän siirtolinjoja, jolloin investoinnin suuruus kasvaa. (Ruohonen et al. 2019, 27.) Myöskään myydystä lämpöenergiasta, esimerkiksi kaukolämpöyhtiölle, ei saa koskaan samaa korvausta verrattuna ostettuun lämpöenergiaan, joten on hyödyllisintä käyttää ensin mahdollisuus vähentää hukkalämmöllä omaa lämmön ostotarvetta. Tämän voi havaita vertailemalla diplomityön kappaleessa 2.6.2 esitettävää kaukolämmön hinnan kehitystä ja kappaleessa 3.3 esitettäviä julkisesti saatavilla olevia kaukolämpöyhtiöiden ostohinnastoja hukkalämmölle. Hukkalämmöstä on mahdollista myös tuottaa sähköä, jos lämmölle ei ole tarvetta ja sen myyminen ei onnistu. Sähkön tuottaminen on

kuitenkin harvoin kannattavaa (Ruohonen et al. 2019, 24). Hukkalämmön hyödyntämistä kannattaa siis tarkastella seuraavassa järjestyksessä:

1. Oman toiminnan tehostaminen, jolloin hukan määrä vähenee.
2. Hyödyntäminen omassa toiminnassa. Lähtökohtaisesti samassa prosessissa, jossa sitä syntyy.
3. Hyödyntäminen toisessa prosessissa tai kiinteistöjen lämmityksessä.
4. Myynti viereiselle kiinteistölle.
5. Myynti kaukolämpöverkkoon.
6. Sähköntuotanto.

Lämmön tarpeen lisäksi hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttavat sen lämpötilataso, teho ja ajallinen vaihtelu lämmön saatavuudessa.

2.2 Hukkalämmön lähteet

Tässä kappaleessa tarkastellaan merkittävimpiä hukkalämmönlähteitä, sekä syntyvän hukkalämmön määrää siltä osin, kun sitä on tutkittu. Esimerkiksi teollisuuden parissa ja kaupan alalla hukkalämmön syntymäärää on tutkittu tarkemmin.

2.2.1 Teollisuuslaitokset energiatehokkuusdirektiivin piirissä

AFRY (2020) selvitti energiatehokkuusdirektiivin piiriin kuuluvissa teollisuuslaitoksissa syntyvän hukkalämmön määrää Suomessa. Näiden laitosten jäljellä oleva hukkalämpöpotentiaali esitetään taulukossa 1 siltä osin kuin sitä olisi mahdollista hyödyntää sijainnin puolesta kaukolämpöverkossa.

Taulukko 1. Energiatehokkuusdirektiivin piiriin kuuluvien laitosten hukkalämpöpotentiaali (AFRY 2020, 32).

Laitostyyppi	Kapasiteetti	Hukkalämpöpotentiaali
Lauhdelaitokset	>50 MW	16 TWh
Jätteenpolttolaitokset	Kaikki	0,2 TWh
Teollisuuslaitokset	>20 MW 5–20 MW	15 TWh 1 TWh
CHP-laitokset	>20 MW 10–20 MW	0,8 TWh < 1 TWh
Uusiutuvan energian lämpölaitokset	>20 MW 10–20 MW	0,1 TWh 0,1 TWh
Konesalit	>5 MW 0,5–5 MW	2 TWh -
Muut laitokset	Kaikki	0,2 TWh
Yhteensä		n. 35 TWh

Hukkalämmön ajallinen saatavuus vaihtelee todella paljon eri teollisuuden aloilla. Se riippuu vahvasti teollisuuden prosessin käyttöasteesta ja todennäköisesti vaihtelee prosessin syklin mukana (Rämä & Klobut 2020, 14). Tehtaan toiminta voi myös olla alhaalla esimerkiksi viikonloppuisin tai öisin. Tämäkin on yksi syy, minkä vuoksi hukkalämmön hyödyntäminen omassa prosessissa voi olla kannattavampaa kuin esimerkiksi kaukolämpöverkossa.

2.2.2 Kaupan ala

Martin & Koikkalainen (2021) selvittivät kaupan alalla syntyvän hukkalämmön määrää Suomessa. Päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmien, eli kylmä- ja pakastekalusteiden, lauhde-energiassa sijaitsee kaupan alan merkittävin hukkalämpöpotentiaali. Syntyvän lauhde-energian määräksi on arvioitu noin 917 GWh vuodessa, mutta siitä arvioidaan hyödynnettävän jo 10–16 %. Kylmäjärjestelmien jäljellä olevan hukkalämpöpotentiaalin onkin arvioitu olevan n. 800 GWh vuodessa, josta melkein puolet on peräisin keskikokoisista marketeista. Potentiaalin jakautuminen keskikokoisille marketeille johtuu niiden määrästä suhteessa pieniin ja isoihin marketteihin. Kauppakeskuksissa merkittävin osa hukkalämmöstä syntyy sisäilman jäähdytyksestä. Tämän lisäksi sitä syntyy kylmäjärjestelmien lauhde-energiasta ja ilmanvaihdon erillispoistoista. Kauppakeskuksien hukkalämmön määrän on

arvioitu olevan vuositasolla noin 113 GWh. Tavarataloissa suurin osa hukkalämpöpotentiaalista syntyy sisäilman jäähdyttämisestä ja ilmanvaihdon erillispoistoista. Tämän energiamäärän on arvioitu olevan 22 GWh vuodessa. Kokonaispotentiaalia on kaupan alalla siis lähes 1 TWh. Kylmäjärjestelmien tuottamaa hukkalämpöä on saatavilla ympäri vuoden, mutta niiden määrä on kesäaikana suurempi kuin talvella.

2.2.3 Jäähallit ja uimahallit

Jäähalleissa merkittävin osa hukkalämmöstä syntyy jään jäätyneenä pitämisestä. Jäästä poistetaan lämpöenergiaa kylmäkoneen avulla. Tätä lämpöenergiaa kutsutaan kylmäkoneen kuluttaman lämpöenergiaksi muuttuvan sähköenergian kanssa lauhde-energiaksi eli lauhdelämmöksi. (Aalto-yliopisto et al. N.d., 3.) Jäähalleissa lauhdelämmön määrä pysyy tavallisesti melko tasaisena, mutta lisääntyy ajoittain esimerkiksi yleisötapahtumien aikana, jolloin halli täyttyy ihmisistä ja jäähdytystarve kasvaa. Kesäisin halli voidaan myös sulkea ja jää sulattaa, jolloin siellä syntyvää hukkalämpöä ei ole tarjolla. (Rämä ja Klobut 2020, 12.) Kesäisin lämmölle ei tosin ole niin suurta kysyntää.

Uimahalleissa lämmitysenergiaa kuluu paljon allasvesien, käyttöveden, tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen. Tätä kautta myös merkittävin hukkalämpöpotentiaali sijaitsee lämpimissä pesuvesissä, allasvesissä ja allasosaston poistoilmassa. Ilmanvaihtomäärät ovat suuria uimahalleissa ja etenkin siitä talteen otettavaa lämpöä on mahdollista hyödyntää paljon lämpöenergiaa vaativissa toiminnoissa ostoenergian sijaan. (Koski 2022, 17–22.)

2.2.4 Datakeskukset

Datakeskukset kuluttavat paljon sähköä ja lopulta kaikki palvelimien kuluttama sähkö muuttuu lämpöenergiaksi. Tämän vuoksi palvelimet vaativat jatkuvaa jäähdyttämistä, mikä tarjoaa jatkuvan ja tasaisen hukkalämmön lähteen. Ilmajäähdytteisten palvelimien hukkalämmön lämpötila on 25–45°C ja nestejäähdytteisten 22–80°C. Syntyneen hukkalämmön määrää ei kuitenkaan pysty säätämään ilman vaihtoehtoista jäähdytystapaa. (Rämä & Klobut 2020, 14.)

AFRY (2020) arvioi datakeskuksissa syntyvien hukkalämmön määräksi noin 2 TWh, mutta tämä luku on todennäköisesti nykyään jonkin verran suurempi ja kasvaa jatkuvasti, sillä datakeskuksia rakennetaan Suomeen koko ajan lisää.

2.2.5 Jätevedenpuhdistamot

Jäteveden puhdistamisen prosessista on mahdollista ottaa talteen energiaa erimuodoissa. Puhdistusprosessista on esimerkiksi mahdollisuus ottaa talteen lämpöenergiaa ja hyödyntää sitä omissa prosesseissa, puhdistamon ilmanvaihdon lämmityksessä tai myydä se kaukolämpöverkkoon sekä tuottaa biokaasua talteen otetusta lietteestä. Potentiaalisimmat lämmön talteenoton kohteet jätevedenpuhdistamolla ovat puhdistettu jätevesi, poistoilma ja ilmastuskompressorien jäähdytys. Kaikkia näitä kohteita yhdistää niiden tasainen lämmöntuotto ympäri vuoden, helppo ennustettavuus ja matala lämpötila. Tämän vuoksi niiden hyödyntäminen vaati lähtökohtaisesti lämpötilan korotusta lämpöpumpulla. (Linjama 2021.) Jätevedenpuhdistamon hukkalämmöllä on arvioitu voitavan tuottaa 10–20 % asutuskeskuksen kaukolämmöntarpeesta (Porkka 2025).

2.2.6 Kaukolämmön paluuputki

Kaukolämmön paluuputkessa virtaava vesi on luovuttanut kerran lämpöenergiaa kiinteistölle ja se on palaamassa voimalaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Paluuveden lämpötila vaihtelee 30–60 °C välillä ja sitä on tasaisesti saatavilla ympäri vuoden (Rämä & Klobut 2020, 15). Vedessä jäljellä olevaa lämpöenergiaa olisi kuitenkin vielä mahdollista hyödyntää, mikä parantaa energiantuotannon hyötysuhdetta tehostamalla savukaasupesurin toimintaa. Tällä hetkellä paluuvettä käytetään esimerkiksi katujen sulana pidossa (Energiateollisuus ry 2021, 91), mutta sitä vois olla mahdollista hyödyntää laajemminkin kiinteistöjen lämmityksessä (Iotoi Oy N.d.).

2.3 Hukkalämmön lämpötilatasot

Hukkalämpöä on lähtökohtaisesti sitä helpompi ja kannattavampi hyödyntää, mitä korkeammassa lämpötilassa sitä on saatavilla. Tämä johtuu siitä, että korkeassa lämpötilassa olevaa

hukkalämpöä voi todennäköisemmin hyödyntää prosessissa suoraan, kun taas matalamman lämpötilan hukkalämmön lämpötilaa voi joutua korottamaan ennen sen hyödyntämistä, esimerkiksi lämpöpumpun avulla. Bianchi et al. (2019) tutkivat Euroopan Unionissa teollisuudessa syntyvän hukkalämmön potentiaalia ja lämpötilatasoa. Hukkalämmön lämpötila lajitellaan matalan (<100 °C), keskitason (100-300 °C) ja korkean lämpötilan (>300 °C) lämpötilatasoille. Taulukossa 2 esitetään teoreettisen hukkalämpöpotentiaalin lämpötilatasojen jakauma teollisuusaloittain. Teoreettinen potentiaali tarkoittaa, että kaikki tunnistettu hukkalämpöpotentiaali olisi hyödynnettävissä. Tutkimuksessa Suomen teollisuuden teoreettiseksi hukkalämpöpotentiaaliksi arvioitiin 37,5 TWh.

Taulukko 2. EU:n teollisuusalojen teoreettisen hukkalämpöpotentiaalin lämpötilatasojen jakauma (Bianchi et al. 2019, 216).

Teollisuusala	Matala lämpötila, <100 °C	Keskitason lämpötila, 100–300 °C	Korkea lämpötila, >300 °C
Terästeollisuus	29,6 %	32,0 %	38,4 %
Värimetalliteollisuus	6,6 %	6,9 %	86,5 %
Kemian ja petrokemian teollisuus	59,3 %	40,7 %	0,0 %
Ei-metallinen teollisuus	2,3 %	22,2 %	75,5 %
Kaivos- ja louhintateollisuus	56,1 %	17,3 %	26,6 %
Elintarvike- ja tupakkateollisuus	56,0 %	8,2 %	35,7 %
Tekstiiliteollisuus	58,0 %	5,3 %	36,7 %
Paperi-, sellu- ja painoteollisuus	74,7 %	4,7 %	20,6 %
Kuljetusvälineiden teollisuus	72,5 %	4,2 %	23,3 %
Koneteollisuus	69,1 %	4,7 %	26,2 %
Puu- ja puutuoteteollisuus	91,3 %	2,0 %	6,7 %
Rakennusteollisuus	36,9 %	32,6 %	30,5 %
Muu teollisuus	65,5 %	13,4 %	21,1 %

Taulukosta 2 on havaittavissa, että valtaosa teollisuuden hukkalämmöstä on matalan lämpötilatason hukkalämpöä. Ainoastaan terästeollisuudessa, värimetalliteollisuudessa ja ei-metallisessa teollisuudessa syntyneestä hukkalämmöstä suurin osa on korkeassa lämpötilassa.

Tarkasteltaessa teollisuuden hukkalämpöpotentiaalia Carnot-hyötysuhteen kautta sen määrä ja lämpötilajakauma muuttuu merkittävästi. Tarkastelu ottaa paremmin huomioon oikeasti

hyödynnettävissä olevan potentiaalin ja lämpötilatasojen vaikutuksen hukkalämmön hyödynnettävyyteen. Carnot-potentiaali on määritetty seuraavasti:

$$CWHRP = WHRP \times (1 - \frac{T_c}{T_h}) \quad (1)$$

jossa *CWHRP* on carnot-potentiaali (TWh), *WHRP* on teoreettinen hukkalämpöpotentiaali (TWh), T_c on kylmän lähteen lämpötila (298,15 K) ja T_h on kuuman lähteen (hukkalämmön) lämpötila (K).

Suomen teollisuuden hukkalämpöpotentiaaliksi saadaan tämän tarkastelun kautta vain 8 TWh. Tämä on puolet vähemmän kuin AFRYn (2020) tekemässä selvityksessä, jossa Suomen teollisuuden hukkalämpöpotentiaaliksi arvioitiin 16 TWh. Todennäköisesti carnot-potentiaalin kautta tarkastelu rajaa enemmän pois matalan lämpötilatason hukkalämpöä. Molemmat tutkimukset kuitenkin tunnistavat Suomen teollisuuden suurimmiksi hukkalämmön tuottajiksi metsäteollisuuden, kemianteollisuuden ja metalliteollisuuden. Taulukossa 3 esitetään syntyvän hukkalämmön Carnot-potentiaalin mukainen lämpötilajakauma.

Taulukko 3. Carnot-potentiaalin kautta tarkastellun hukkalämpöpotentiaalin lämpötilajakauma (Bianchi et al. 2019, 217).

Teollisuusala	Matala lämpötila, <100 °C	Keskitason lämpötila, 100–300 °C	Korkea lämpötila, >300 °C
Terästeollisuus	11,1 %	29,8 %	59,1 %
Värimetalliteollisuus	1,8 %	4,5 %	93,7 %
Kemian ja petrokemian teollisuus	37,1 %	62,9 %	0,0 %
Ei-metallinen teollisuus	0,6 %	15,0 %	84,4 %
Kaivos- ja louhintateollisuus	27,0 %	20,6 %	52,4 %
Elintarvike- ja tupakkateollisuus	25,1 %	9,1 %	65,8 %
Tekstiiliteollisuus	26,2 %	5,9 %	67,9 %
Paperi-, sellu- ja painoteollisuus	43,8 %	6,8 %	49,4 %
Kuljetusvälineiden teollisuus	40,7 %	5,8 %	53,5 %
Koneteollisuus	36,8 %	6,2 %	57,0 %
Puu- ja puutuoteteollisuus	73,9 %	4,0 %	22,1 %
Rakennusteollisuus	15,2 %	33,2 %	51,6 %
Muu teollisuus	35,4 %	17,9 %	46,7 %

Carnot-potentiaalin kautta tarkastelu vahvistaa käsitystä siitä, että korkean lämpötilatason hukkalämpöä on kannattavampi hyödyntää, kuin matalan lämpötilatason.

Korkean lämpötilatason hukkalämpöä syntyy kuitenkin vain teollisuuden parissa ja esimerkiksi kappaleessa 2.2 mainitut hukkalämmönlähteet ovat aina matalatasoisia. Kaupan alan ja jäähallien kylmälaitteiden lauhdelämmön lämpötila on 0–40 °C, jäteveden puhdistamoissa puhdistetun jäteveden lämpötila on 10–20 °C ja datakeskuksissa jäähdytysjärjestelmän kiertoaineen lämpötila jäähdytystavan mukaan 22–80 °C. (Rämä & Klobut 2020, 12–15.) Tämän vuoksi lämpöpumpputeknologia ja muu lämpötilatasoa korottava tekniikka ja sen kehittyminen on tärkeässä asemassa uuden matalan lämpötilatason hukkalämpöpotentiaalin avaamiseksi.

2.4 Haasteet hukkalämmön hyödyntämisessä

Hukkalämmön hyödyntämiseen liittyen on tunnistettu useita erilaisia haasteita. Haasteet vaihtelevat toimialoittain. Christodoulides et al. (2022) tunnistivat tutkimuksessaan kymmenen pääasiallista syytä hukkalämmön hyödyntämisen matalaan tasoon ja suorittivat näiden pohjalta kyselyn EU:n alueella toimiville yrityksille. Kyselyä varten tunnistetut haasteet olivat:

- puute informaatiosta
- tietämättömyys hukkalämpöteknologiaa kohtaan
- riskit teknologian toimivuudesta
- korkeat kustannukset
- taloudellisten kannustimien ja tukien puute
- omien tilojen sopimattomuus teknologialle
- käytössä olevaan infrastruktuuriin liittyvät haasteet
- teknologian vaikutus tuotannon prosesseihin
- järjestelmän mahdollinen negatiivinen vaikutus yrityksen muihin toimintoihin
- rajoitteet politiikassa ja säännöksissä

Kyselyn avulla selvitettiin, mitkä näistä haasteita olivat kyselyyn osallistuneille yrityksille kaikista merkityksellisimmät. Kyselyyn osallistui yhteensä 46 yritystä, joista 30 tunnisti tuottavansa hukkalämpöä omassa toiminnassaan, 28 oli selvittänyt mahdollisuutta hyödyntää niitä omassa toiminnassaan ja 8 ulkoisesti. Merkittävimmiksi syiksi matalaan hyödyntämiseen yrityksillä selvisi puute informaatiosta, yrityksen tuntemus teknologiasta, teknologian korkeat kustannukset ja taloudellisen tuen ja kannustimien puute.

Auvinen et al. (2021) selvittivät tutkimuksessaan haasteita hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkoissa. Tutkimuksessa haastateltiin kaukolämpöyhtiöitä ja suurimpia hukkalämmöntuottajia, kuten isojen kiinteistöjen omistajia, datakeskuksien omistajia ja jätevesiyhtiöitä. Merkittävimmiksi yhteisiksi haasteiksi toimijat havaitsivat:

- investointien kannattavuuden
- näkemyserot hukkalämmön taloudellisesta arvosta
- lämmön tarpeen ja hukkalämmön syntymisen ajallisen kohtaamisen

Yhteisten haasteiden lisäksi kaukolämpöyhtiöt havaitsivat merkittäviksi haasteiksi epävarmuudet liittyen ilmastopolitiikkaan ja energiamurrokseen sekä luottamisen hukkalämmön lähteen pysyvyyteen eli siihen säilyykö hukkalämpöä tuottavan yrityksen toiminta kaukolämpöverkon alueella. Hukkalämpöä tuottavat yritykset puolestaan kokivat suurimmiksi haasteiksi yhteistyön kaukolämpöyhtiöiden kanssa johtuen kaukolämpöyhtiön erilaisesta toimintakulttuurista ja monopoliasemasta.

2.5 Hukkalämmön hyödyntämistä edistävät toimet

Hukkalämmön hyödyntämistä on tuettu päätöksen teossa viimeisten vuosien aikana. Sen hyödyntämistä on tuettu mm. sähköveromuutosten avulla, tarjoamalla erilaisia tukia investoinneille ja alentamalla kaukolämpöverkon asiakaslaitteiden mitoituslämpötiloja.

2.5.1 Sähkövero

Suomessa on käytössä kaksi sähköveroluokkaa. Sähköveroluokka I ja sähköveroluokka II. Sähköveroluokan II eli teollisuudelle suunnatun sähköveron taso laskettiin Suomessa EU:n

minimitasolle vuoden 2021 alussa. Ennen muutosta sähköveron suuruus huoltovarmuusmaksun kanssa oli 0,872 c/kWh (sis. alv 24 %). (Caruna 2020.) Sähköveron suuruus veroluokassa II on edelleen säilynyt EU:n minimitasolla, mutta arvonlisäveron muutos 1.9.2024 alkaen nosti sen hintaa. Sen suuruus huoltovarmuusmaksun kanssa on 0,079065 c/kWh (alv 25,5 %). (Caruna 2024.)

Vuoden 2022 alussa palvelinteholtaan vähintään 0,5 MW konesalit, jotka toteuttavat laissa säädetyt energiatehokkuusvaatimukset, siirrettiin sähköveroluokan II piiriin. Samana vuonna 1.7.2022 alkaen vähintään 0,5 MW lämpötehoiset lämpöpumput ja sähkökattilat, jotka tuottavat lämpöä kaukolämpöverkkoon, siirrettiin myös sähköveroluokkaan II. (Vero 2025.) Tämä mahdollistaa hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen kyseisten teknologioiden avulla, sillä rahallinen säästö sähköenergian kulutuksen osalta on huomattava verrattuna siihen, että ne kuuluisivat edelleen sähköveroluokkaan I. Sähköveroluokan I suuruus on 2,827515 c/kWh (sis. alv 25,5 %) (Caruna 2024). Sähkövero on veroluokassa II 97,2 % pienempi verrattuna sähköveroluokkaan I. Tällä hetkellä kuitenkin suunnitellaan datakeskuksien poistamista sähköveroluokasta II suuremman verokertymän ja sähkönsiirtokapasiteetin riittävyyden toivossa. (Valtiovarainministeriö 2025). Sähköveroluokan muutoksella saavutettua rahallista hyötyä voi arvioida seuraavasti:

$$q = P \times t \times (h_1 - h_2) \qquad (2)$$

jossa q on rahallinen hyöty vuodessa (€/a), P on lämpöä kaukolämpöverkkoon tuottavan datakeskuksen tai lämpöpumpun teho (MW), t on laitoksen huipunkäyttöaika (h/a), h_1 on sähköveron suuruus sähköveroluokassa I (€/MWh) ja h_2 on sähköveron suuruus sähköveroluokassa II (€/MWh).

2.5.2 Mitoituslämpötilojen laskeminen kaukolämmön asiakaslaitteissa

AFRY (2020) selvitti tutkimuksessaan kaukolämpöverkon lämpötilatasojen alentamisen vaikutuksia verkon ja asiakaslaitteiden toimintaan. Hukkalämmön lähteen lämpötilan ollessa matala, joudutaan sen lämpötilaa korottamaan kaukolämpöverkkoa varten esimerkiksi lämpöpumpulla. Kaukolämpöverkon menolämpötilan laskeminen mahdollistaisi matalan lämpötilan hukkalämmön tehokkaamman hyödyntämisen, kun vältytään isolta lämpötilan korotukselta. Kaukolämpöverkon lämpötilojen laskeminen vähentäisi lämpöhäviöiden määrää,

mutta toisaalta se kasvattaisi myös virtausta putkessa, jolloin voi tulla ongelmia siirtokapasiteetin kanssa. Asiakaslaitteissa mitoituslämpötilojen laskemisen nykyisestä 115 °C alle 100 °C on arvioitu nostavan laitteiston hankintakustannuksia noin 5 %.

Asiakaslaitteiden mitoituksessa alettiin käyttämään uusia mitoituslämpötiloja vuoden 2022 aikana. Muutoksen myötä laitteet tuli mitoittaa toimimaan 115 °C kaukolämmön tulolämpötilan sijaan 90 °C tulolämpötilalla sekä uudisrakentamisessa että korjausrakentamisessa. Muutoksen tarkoituksena on mahdollistaa kaukolämpöverkon toimintalämpötilojen alentaminen. (Energiateollisuus ry 2021, 5.) Kaukolämpöverkon menolämpötilan laskeminen voi kuitenkin kestää yli 20 vuotta, sillä asiakaslaitteiden tekninen käyttöikä on noin 25 vuotta, jolloin laitekannan uusiminen tulee kestämään oman aikansa (AFRY 2020, 61).

2.5.3 Business Finlandin Energiatuki

Energiatuki on Business Finlandin myöntämä tukiratkaisu, jonka avulla tuetaan uutta teknologiaa, sähköjärjestelmän säätökykyä ja energiatehokkuutta edistäviä hankkeita. Tuen saannin etusijalla ovat uutta teknologiaa hyödyntävät hankkeet. Uuden teknologian osalta pk-yrityksen on mahdollista saada tukea 40 % ja suuren yrityksen 30 %. Perinteisempään energiatehokkuustekniikkaan investoidessa tukiprosentti on 20 % energiatehokkuussopimuksiin liittyneille yritykselle, 25 % käytettäessä ESCO-palvelua ja 15 % yrityksille, jotka eivät ole liittyneet energiatehokkuussopimuksiin ja jotka käyttävät ESCO-palvelua. Investointien suuruuden on oltava 10 000–5 000 000 €. Hukkalämmön hyödyntämiseen liittyvissä perinteisissä lämpöpumppuratkaisuissa tukea on mahdollista saada 5 MW teholuokkaan asti, mutta tätä suuremmissa teholuokissa teknologialta vaaditaan uutuusarvoa. (Business Finland N.d.) Yli viiden miljoonan euron investointihankkeita tuetaan TEM:n myöntämällä uuden energiateknologian ja suurten demonstraatiohankkeiden tuella (Työ- ja elinkeinoministeriö N.d.).

Ramboll Finland Oy (2023) selvitti energiatuen vaikuttavuutta energiansäästöön sekä energian tuotannon ja säästön tehostamiseen erilaisten kysely-, haastattelu- ja rekisteriaineistojen avulla. Tukea saaneille yrityksille tehdystä kyselystä selvisi, että 89 % saavutti tai ylitti arvioidun energiansäästön. Pk-yrityksien haastatteluissa korostui erityisesti tuen merkitys hukkalämpöratkaisuissa ja jäähdytyslaitteiden uusinnassa, sillä nykyisin käytössä olevia kylmäaineita tullaan kieltämään tulevaisuudessa. Jäähdytyslaitteita on siis ollut pakko uusia tämän

muutoksen vuoksi, mutta nyt tuen avulla muutoksen yhteydessä on ollut parempi mahdollisuus lisätä jäähdytyslaitteiden rinnalle tehokkaampaa lämmöntalteenottoteknologiaa. Isojen yrityksen haastatteluissa korostuivat tuen merkitys energiatehokkaampien laitteistojen ja lämmöntalteenottoteknologian hankinnassa. Kuntien kohdalla puolestaan tuki koettiin tärkeimmäksi energiakatselmuksissa.

2.5.4 Energiaviraston Teollisuuden sähköistämistuki

Energiavirasto otti vuonna 2022 käyttöön määräaikaisen Teollisuuden sähköistämistuki -tukijärjestelmän energiaintensiivisen teollisuuden toimijoille, joilla on merkittävä hiilivuotoriski. Tuen alaisiin toimialoihin sisältyvät mm. paperin, kartongin ja pahvin valmistus, teräksen tuotanto ja värimetallien valmistus, jotka Bianchi et al. (2019) ovat arvioineet tutkimuksessaan Suomen teollisuuden suurimpien hukkalämmön tuottajien joukkoon. Tukeen oikeutetut toimialat esitetään tarkemmin liitteessä 1. Tukea on mahdollista saada tietyin reunaehdoin hukkalämmön hyödyntämiseen liittyviin hankkeisiin. Hukkalämpöä jalostavien sähkölaitteiden tulee olla osa tukeen oikeutettujen tuotteiden valmistusta tai hukkalämmön tulee olla peräisin tukeen oikeutetusta prosessista, vaikka lämpö hyödynnettäisiin prosessissa, jolla ei ole oikeutta tukeen. Joka tapauksessa, lämmöntalteenottolaitteiden sähkön kulutuksen täytyy olla osa tukeen oikeutettua prosessia. Prosessin ulkopuolella kulutettu sähkö, kuten lämmön jalostamien kaukolämpöverkkoon ei kuulu tuen piiriin. Tuen ehtoihin kuuluu myös se, että vähintään 30 % sähkön kulutuksesta tulee olla peräisin hiilettömistä lähteistä. (Energiavirasto N.d.)

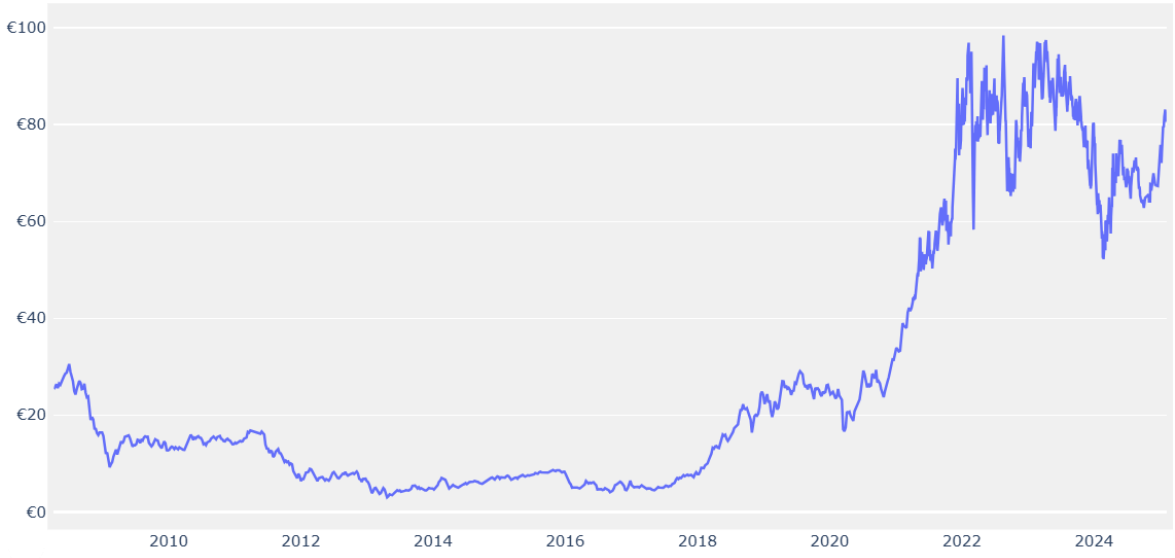
2.6 Energianhintojen kehitys

Venäjän ja Ukrainan sodan alkamisen jälkeen energianhinnat lähtivät nousuun polttoaineen tuonnin päättyessä Venäjältä. Muutos oli raju, sillä vuonna 2021 Suomeen tuoduista polttoainesta valtaosa tuotiin Venäjältä. Venäjältä tuodun polttoaineen osuus oli raakaöljyn kohdalla 81 %, maakaasun 75 %, kivihiilen 52 %, ydinpolttoaineen 35 % ja hakkeen kohdalla 25 %. Sähköntuonnistakin 51 % oli Venäjältä. Lähes kaikki tästä polttoaineen ja energiantuonnista päättyi vuoden 2022 aikana ja hankintakanavat piti neuvotella uudestaan samaan

aikaan muun Euroopan kanssa, mikä johti polttoaineiden ja energianhintojen nousuun. (IEA 2023.)

2.6.1 Päästöoikeuksien hinnan kehitys

Euroopan Union päästökauppajärjestelmän avulla on pyritty vähentämään teollisuuden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Yritys voi hankkia itselleen oikeuden päästää tietyn määrän hiilidioksidia ilmakehään ostamalla päästöoikeuksia. Osa päästöoikeuksista jaetaan yrityksille ilmaiseksi ja lopuista käydään huutokauppaa. Yritykset voivat myös käydä keskenään kauppaa omistamillaan päästöoikeuksilla tai säilyttää ylimääräiset oikeudet tulevaisuutta varten. Päästöoikeuksien hinnan kehitys esitetään kuvassa 1. Yhdellä päästöoikeudella on oikeus päästää yksi hiilidioksidiekvivalenttitonni (tCO_2-ekv). (European Commission N.d.)

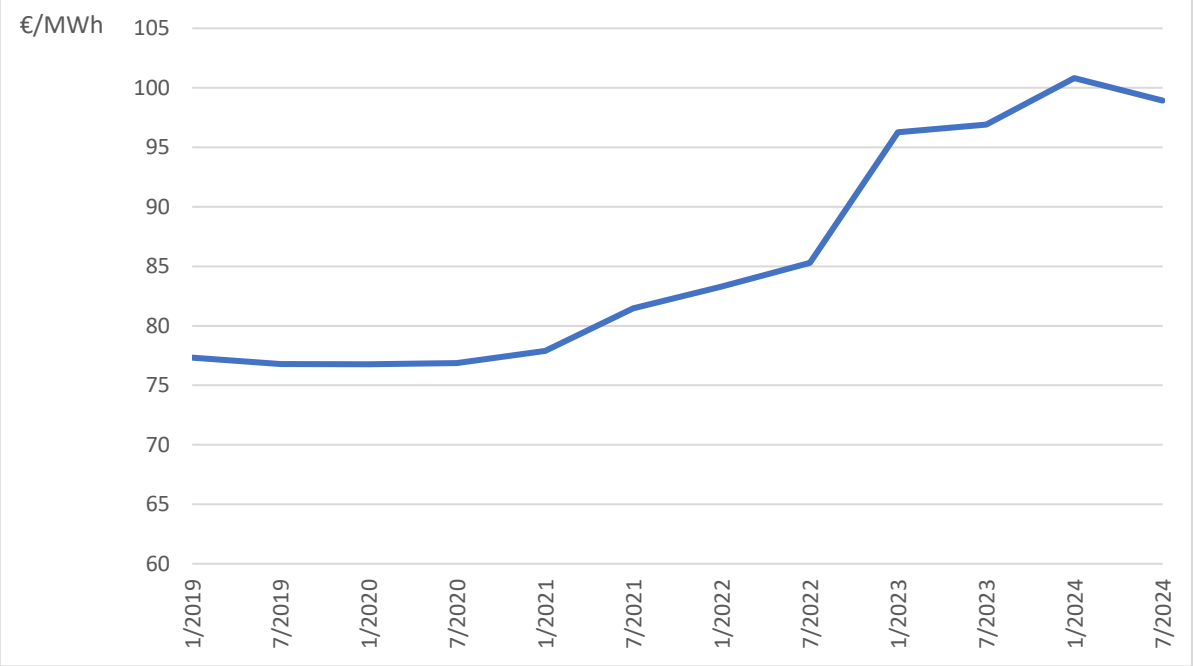


Kuva 1. Päästöoikeuksien hinnan (€/tCO_2-ekv.) kehitys (Sandbag 2025).

Kuvasta 1 voidaan havaita päästöoikeuksien hintojen nousseen merkittävästi vuoden 2021 alusta alkaen. Korkeimmillaan yhden päästöoikeuden hinta on ollut lähes 100 euroa. Oikeuksien hinta myös jäi korkealle tasolle, mikä omalta osaltaan selittää energianhintojen nousua varsinkin niiden yhtiöiden alueella, joilla fossiilisten polttoaineiden osuus energiantuotannossa on ollut merkittävä.

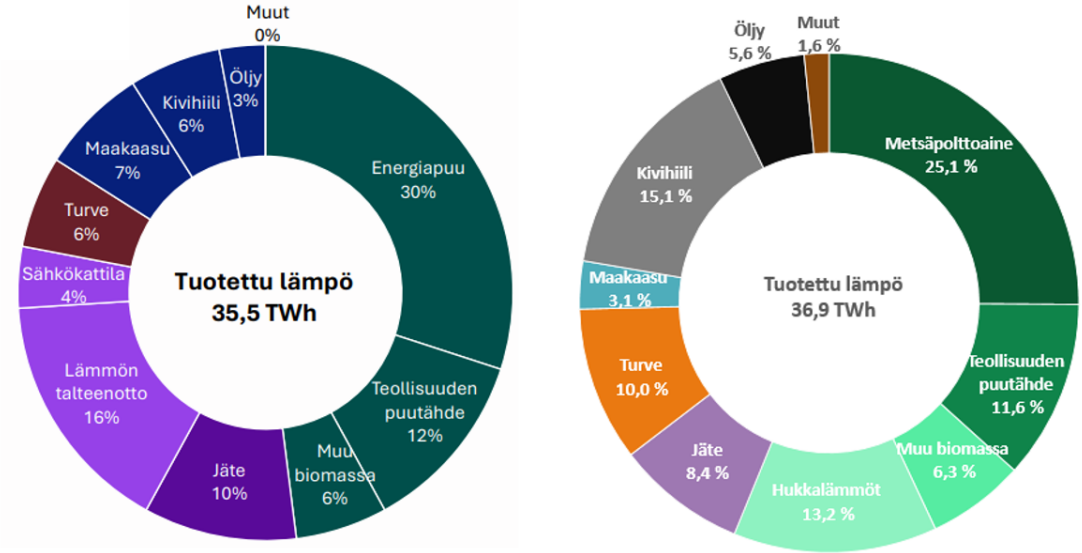
2.6.2 Kaukolämmön hinnan kehitys

Kuvassa 2 esitetään kaukolämmön hinnan kehitys alkuvuodesta 2019 vuoden 2024 loppuun mennessä. Hinta pitää sisällään energiamaksun, verot, tehomaksun ja mahdolliset muut lisäkomponentit. Tyyppikäyttäjänä on kerrostalo, jonka tehontarve on 230 kW.



Kuva 2. Kaukolämmön hintakehitys (€/MWh) 2019–2024 (Tilastokeskus 2024a).

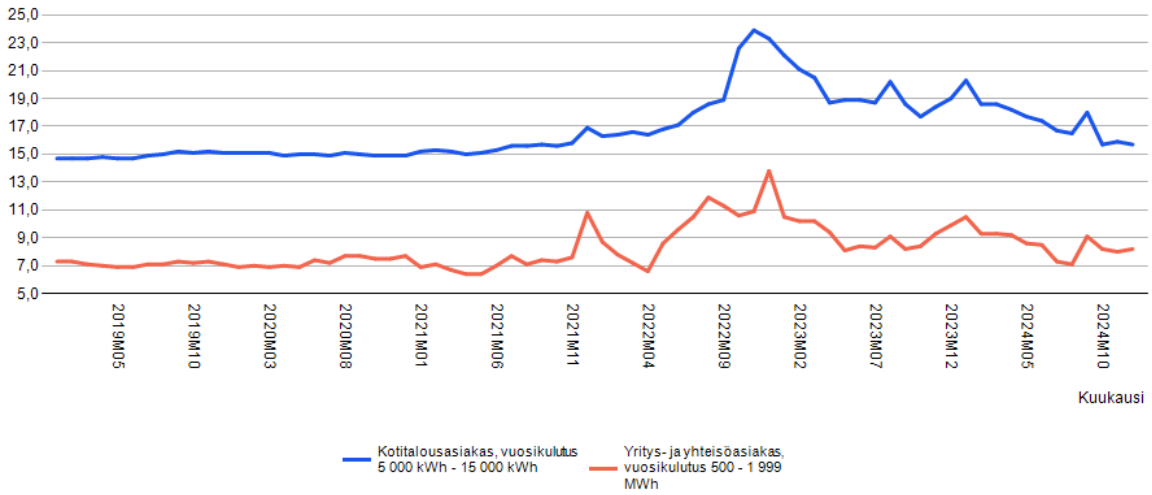
Kuvasta 2 voidaan havaita kaukolämmön hinnan lähteneen selvään nousuun vuoden 2021 alusta, mutta kääntyneen loivaan laskuun vuoden 2024 aikana. Tämä on todennäköisesti ainakin osittain seurausta siitä, että kalliita polttoon perustuvia tuotantotapoja on onnistuttu korvaamaan lämmöntalteenotolla ja sähkökattiloilla. Myös fossiilisten polttoaineiden osuus kaukolämmön tuotannossa on vähentynyt, jolloin on selvitty pienemmällä päästöoikeuksien määrällä. Tämän voi havaita vertaamalla vuosien 2022 ja 2024 kaukolämmön energialähteitä kuvasta 3 eli niiden vuosien ajalta, kun päästöoikeuden hinnat ovat nousseet korkealle tasolle.



Kuva 3. Kaukolämmön hankinnan energialähteet 2024 (vasen) ja 2022 (oikea) (Energiateollisuus 2025).

2.6.3 Sähkön hinnan kehitys

Sähkön kokonaishinta kuluttajatyypeittäin esitetään kuvassa 4. Hinta sisältää sähköenergian, verkkopalvelumaksun ja verot. Sininen käyrä (ylempi) kuvastaa kotitalousasiakkaan, jonka vuosikulutus on 5 000–15 000 kWh, sähkön kokonaishinnan muutosta vuoden 2019 vuoden 2024 loppuun mennessä. Oranssi käyrä (alempi) kuvastaa yritys- ja yhteisöasiakkaan, jonka vuosikulutus on 500–1999 MWh, sähkön kokonaishinnan kehitystä saman ajanjakson aikana. (Tilastokeskus 2025.)



Kuva 4. Sähkön kokonaishinnan kehitys 2019–2024 (Tilastokeskus 2025).

Kuvasta 4 havaitaan sähkön kokonaishinnan lähteneen selvään nousuun vuonna 2021 ja käyneen ennätyskorkealla talven 2022–2023 aikana. Tämän jälkeen hinta lähti laskuun ja se on palautunut lähelle aikaisempaa tasoa vuoden 2024 loppuun mennessä. Sähkön hinnan suuri vaihtelu jäi kuitenkin osaksi arkea, vaikka keksimäärin hinta onkin lähellä aikaisempaa tasoa.

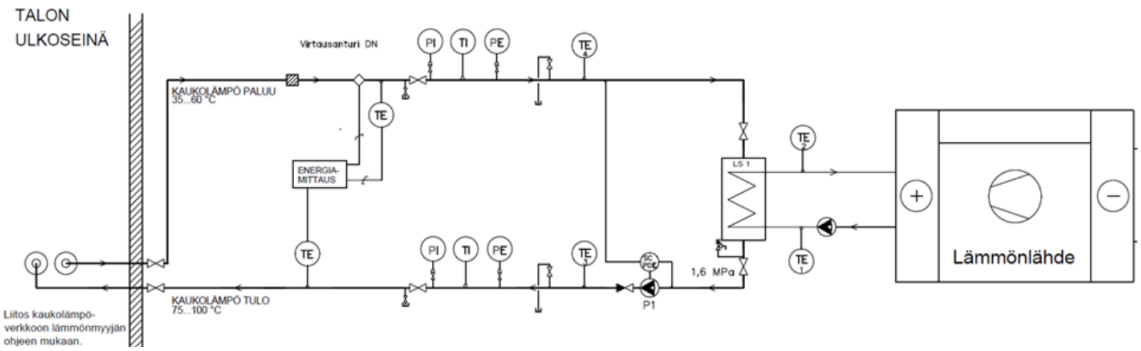
Vuonna 2020 Suomessa koettiin ensimmäiset negatiiviset tunnit sähkön hinnassa. Näiden tuntien määrä on kasvanut todella paljon ja vuonna 2024 negatiivisia tuntihintoja oli 725. Suurin vaikutus tähän on ollut nopeasti kasvanut tuulivoima, mikä aiheuttaa hetkittäin merkittävää ylituotantoa. Negatiiviset tunnit ovat vaikuttaneet sähkökattiloiden lisääntymiseen kaukolämmön tuotannossa ja akkujen lisääntymiseen, jotta halpaa energiaa on pystytty varastoimaan kalliiden kulutushintojen hetkille. (Energiateollisuus ry 2024.)

3 Hukkalämpö kaukolämpöverkossa

Hukkalämpöä hyödynnetään enenevissä määrin kaukolämpöverkossa, minkä voi havaita aiemmin esitetystä kuvasta 3, jossa hukkalämmön osuus kaukolämmön tuotannossa vuonna 2024 oli 16 % verrattuna vuoden 2022 tasoon, 13,2 %. Tämän lisäksi uusiutuvan energian osuus kaukolämmön tuotannossa on lisääntynyt selvästi. Yhtenä ajurina muutokseen on Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/1791, jonka artiklassa 26 esitetään vaiheet uusiutuvan energian ja hukkalämmön osuuksien kasvattamisesta tehokkaassa kaukolämmitys- ja jäähdytysjärjestelmässä. Artiklan 26 tarkoituksena on varmistaa tehokkaampi primäärienergian kulutus ja lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Ensimmäisessä tavoitteessa 31.12.2027 kaukolämmitys- tai jäähdytysjärjestelmän täytyy käyttää 50-prosenttisesti uusiutuvaa energiaa tai hukkalämpöä, 75-prosenttisesti yhteistuotannosta syntyvää lämpöä tai 50-prosenttisesti näiden yhdistelmää. Tavoitteita kiristetään vuosina 2028, 2035, 2040, 2045 ja 2050 niin, että 1.1.2050 kaukolämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät käyttävät 100-prosenttisesti uusiutuvaa energiaa, hukkalämpöä tai näiden yhdistelmää.

3.1 Kaksisuuntainen kaukolämpö

Kaksisuuntainen kaukolämpö on toimintamalli, jossa kaukolämpöasiakas ryhtyy lämmön myyjäksi eli myy kaukolämpöyhtiölle oman hukkalämpönsä. Tämän ratkaisun avulla kaukolämpöyhtiö pystyy korvaamaan omaa polttamiseen perustuvaa lämmöntuotantoaan. Toimintamallin käytön helpottamiseksi ja kaukolämpöjärjestelmän tehokkuuden parantamiseksi uusimassa Energiateollisuus ry:n Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet julkaisussa K1/2021 päivitettiin kaukolämpölaitteiden mitoitukseen liittyvissä lämpötiloissa talviajan kaukolämmön tulolämpötila 115 °C:sta 90 °C:een. Kaukolämmön matalampi tulolämpötila vähentää lämpöhäviöiden määrää verkossa ja laajentaa hukkalämmön hyödyntämisen mahdollisuutta kaukolämmön tulopuolella. Julkaisussa K1/2021 on koottu yhteen sen hetkisen lainsäädännön ja kaukolämpöyhtiöiden vaatimukset rakennuksien lämmitysjärjestelmän liittämisestä kaukolämpöverkkoon. Julkaisussa esitetty kaksisuuntaisen kaukolämmön kytkentäperiaate esitetään kuvassa 5. (Energiateollisuus ry 2021.)



Kuva 5. Kaksisuuntaisen kytkennän periaate (Energiateollisuus ry 2021, 98).

Kuvassa 5 vasemmasta reunasta tuodaan kaukolämmön paluuputkesta linja lämmönsiirtimelle, jossa kiertävään viileään veteen siirretään lämpöenergiaa lämmönsiirtimen avulla oikeassa reunassa sijaitsevasta hukkalämmön lähteestä. Hukkalämmön lämpötilaa voi korottaa esimerkiksi lämpöpumpun avulla, jotta lämmönsiirtimelle saapuvan kaukolämpöveden lämpötila saadaan korotettua samaan lämpötilaan kaukolämmön tuloputken kanssa. Lämmönsiirtimessä lämmenneen kaukolämpöveden paine korotetaan myös vähintään samalle tasolle kaukolämmön tuloputkeen liitettävän lämmön syöttöpisteen kanssa.

Hukkalämpö on mahdollista myös joissain tapauksissa syöttää takaisin paluuputkeen. Ratkaisua ei nykyään toteuteta usein, koska se pienentää verkon hyötysuhdetta nostamalla voimalaitokselle palaavan kaukolämpöveden lämpötilaa ja näin heikentämällä tuotantolaitoksien lämmöntalteenottolaitteistojen toimintaa ja yhteistuotantosähkön määrää. (Sirola & Tiitinen 2018.) Ratkaisu olisi helpommin toteutettavissa, jos paluuputkesta hyödynnettäisiin lämpöenergiaa ennen kaukolämpöveden paluuta tuotantolaitokselle ja saataisiin näin laskettua sen lämpötilaa.

3.2 Liiketoimintamallit

Pöyry Management Consulting Oy (2016) esitti Energiateollisuus ry:lle ja Sitralle tekemässään raportissa neljää erilaista liiketoimintamallia kaksisuuntaiselle kaukolämmölle. Nämä mallit ovat kiinteän hinnan malli, rajakustannusmalli, kapasiteettimalli ja verkko avoimena alustana.

Kiinteän hinnan malli

Kiinteän hinnan malli on yksinkertaisin liiketoimintamalli kaksisuuntaiselle kaukolämmölle. Malli toimii helppona tapana aloittaa kaksisuuntainen lämpökauppa, jonka jälkeen osapuolet saavat kerrytettyä kokemusta siitä. Mallissa hinta sovitaan kiinteäksi tai se sidotaan indeksiin, ja sen on tarkoitus olla voimassa pidemmän aikaa. Kiinteän hinnan etuna on taata investoinnin kannattavuus, vaikka se ei ottaisikaan täysin huomioon kaukolämpöyhtiön tuotantokustannuksia. Sopimuskauden päättyessä kiinteän hinnan mallista, ja osapuolten kerrytettyä kokemusta liiketoiminnasta, on mahdollista vaihtaa toisenlaiseen sopimusmalliin. Kiinteän hinnan malli sopii myös siinä vaiheessa ratkaisuksi, jos lämpöverkkoon liittyy vain vähän lämmön myyjiä. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 27–29.)

Rajakustannusmalli

Rajakustannusmallissa kaukolämpöyhtiö määrittelee lämmön ostolle tunti-, päivä- tai viikkotasoisen hinnoittelun. Lämmön tuottajat pystyvät itse päättämään haluavatko tuottaa lämpöä kyseisellä hinnalla eli käytännössä myynti tapahtuu korvauksen ylittäessä tuotannon muuttuvat kustannukset. Malli vaatii toimiakseen useamman lämmöntuottajan verkkoon, joilla on kykyä joustaa ja reagoida markkinatilanteisiin. Pääasiallinen tuotantovastuu pysyy kuitenkin kaukolämpöyhtiöllä ja sen tulisi säilyttää kapasiteetti lämmön tuottamiseen, jos syntyy tilanteita, että tarjottu lämmön ostohinta ei tietyissä tilanteissa houkuttele muita lämmön tuottajia. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 29–31.)

Kapasiteettimalli

Kapasiteettimallissa lämpöä verkkoon tuottavaa toimijaa velvoitetaan ja sitoutetaan enemmän kuin aiemmin mainituissa malleissa. Mallissa lämmöntuottajan tulee tuottaa lämpöä tietyllä teholla verkkoon ja laiminlyönneistä saa sanktioita. Malli sopisi tilanteisiin, joissa kaukolämpöyhtiöllä on niukkuutta omassa tuotannossa ja vaihtoehtoinen lämmöntuottaja pystyy ennakoimaan tarkasti omaa lämmöntuotantoaan. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 31–32.)

Verkko avoimena alustana

Verkko avoimena alustana -liiketoimintamallissa erillinen kaukolämpöverkkoyhtiö vastaisi verkon ylläpidosta, lämmön siirrosta ja tasehallinnasta, mutta ei osallistuisi tuotantoon. Kaukolämpöverkko toimisi samalla tavalla kuin nykyinen sähköverkko. Siihen olisi liittynyt

monta lämmön tuottajaa, asiakkailla olisi mahdollisuus valita myyjä ja paikallinen kaukolämpöyhtiö vastaisi alueen suurimpana lämmöntuottajana syrjimättömästä hinnoitteluvaihtoehdosta. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, 34–35.)

3.3 Hukkalämmön arvo

Kappaleessa 2.4 yhdeksi hukkalämmön hyödyntämisen esteeksi kaukolämpöverkossa mainittiin lämmön tuottajan ja kaukolämpöyhtiön eroava näkemys hukkalämmön arvosta. Hukkalämmön tuottajat haluavat luonnollisesti myymästään lämmöstä mahdollisimman korkean hinnan, jotta investointi olisi kannattava ja kaukolämpöyhtiöiden tulee huomioida omat tuotantorajakustannuksensa. Suomessa toimivista kaukolämpöyhtiöistä vain muutamalla on julkinen hinnoittelu hukkalämmön ostolle, ja nekin rajoittuvat vain mataliin tuotantotehorajoihin. Avoin hinnoittelu hukkalämmöille löytyy tällä hetkellä Fortumilla, Helenillä, Kuopion Energialla, Leppäkoskella ja Tampereen Energialla. Näissä hinnoissa tuotantotehoraja rajoittuu 0,5–5 MW:n välille. Esimerkiksi Fortum (2025) määrittelee tuotantotehorajan niin, että lämpöä pitää olla kyseisellä teholla tarjolla vähintään 90 % ajan vuodessa. Kuopion Energialla ja Tampereen Energialla hukkalämmön ostolle on kiinteä kausittain vaihtuva hinta, Fortumilla ulkolämpötilaan sidottu hinta ja Helenillä ja Leppäkoskella kaukolämmön energiamaksuun sidottu tietty prosentuaalinen osuus. Muutoin kaukolämpöyhtiöt neuvottelevat lämmön sopimus- ja hintamallit tapauskohtaisesti. (Fortum 2025, Helen 2025, Kuopion Energia 205, Leppäkoski N.d. & Tampereen Energia 2025.) Kuopion Energian ja Tampereen Energian hukkalämmön ostohinta esitetään taulukossa 4.

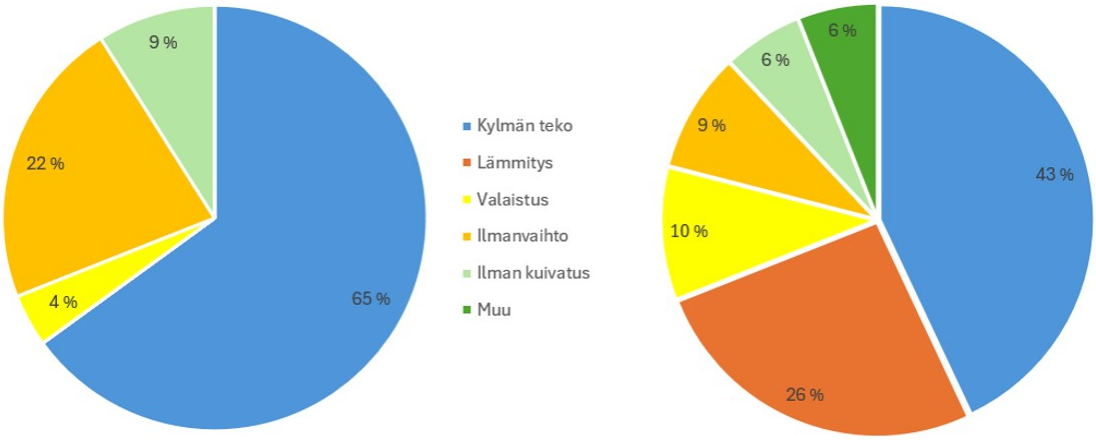
Taulukko 4. Kuopion Energian ja Tampereen Energian hukkalämmöstä tarjoama energiamaksu. Molemmilla yhtiöillä tuotantotehoraja on 1 MW.

Kuukausi	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

Taulukossa 4 esitetyistä hukkalämmön ostohinnoista on havaittavissa, että saatu korvaus hukkalämmöstä on kesäaikaan huomattavasti pienempi kuin talvella. Tämä johtuu siitä, että lämmön tarve on kesäisin pienempi, jolloin kaukolämpö pystytään tuottamaan edullisemmilla tuotantotavoilla, mikä laskee oman tuotannon rajakustannuksia ja vaikuttaa näin tarjottuun korvaukseen vaihtoehtoiselle lämmön tuotannolle.

4 Jäähallin energiatehokkuus

Suomessa on yli 200 jäähallia ja ne ovat kuntien alueella yksi suurimpia energian kuluttajia. Eniten energiaa jäähalleissa kuluu jään jäätyneenä pitämiseen ja samalla hallin tuloilman lämmittämiseen. Jää toimii jatkuvana lämpönieluna ja sen vuoksi sen kautta poistetaan lämpöä kylmäliuosputkiston kautta. Putkistossa virtaavasta kylmäaineesta poistetaan lämpö kylmäkoneen avulla ja suurin energiatehokkuutta parantava tekijä jäähalleissa onkin tämän lämpöenergian valjastaminen jäähallin lämmitystarpeisiin. (Aaltoyliopisto et al. N.d. 3.) Kuvassa 6 esitetään Ruotsissa sijaitsevien jäähallien ostoenergian kulutuksen jakaantuminen, jossa toisessa panostetaan energiatehokkuuteen (vasen) ja toisen, jossa ei panosteta energiatehokkuuteen (oikea).



Kuva 6. Ostoenergian kulutuksen jakautuminen energiatehokkaassa jäähallissa (vasen) ja energiatehottomassa jäähallissa (oikea) (mukaillen IIHF 2023, 14).

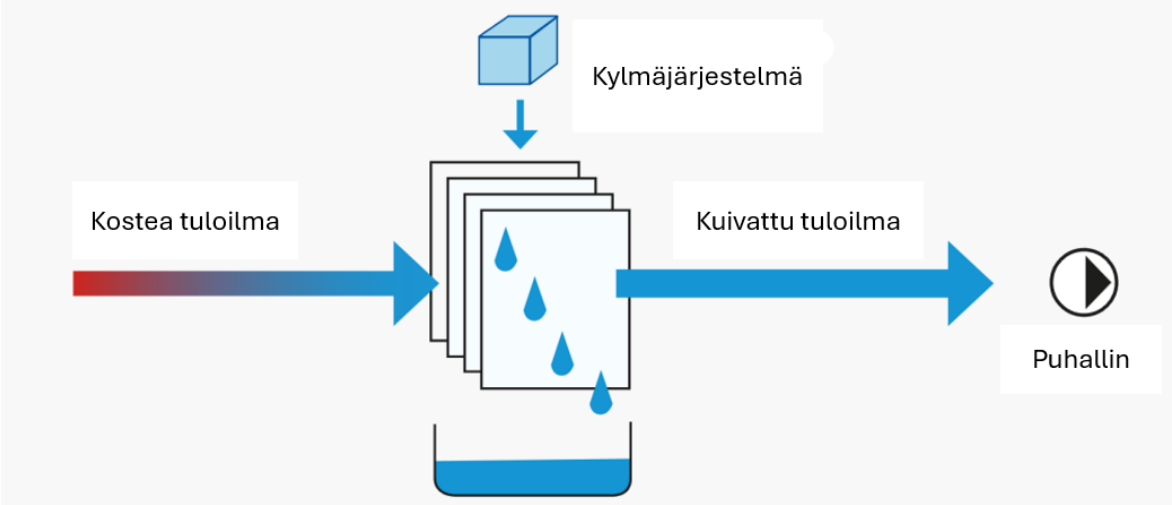
Kuvassa 6 esitetyissä esimerkkitapauksissa energiatehokkaan jäähallin ostoenergian tarve on vuosittain 460 MWh ja energiatehottomalla 1000 MWh (IIHF 2023, 14). Panostamalla jäähallin energiatehokkuuteen voidaan siis säästää jopa puolet ostoenergiasta. Kuvasta 6 voidaan havaita lämmitysenergian kattavan noin neljänneksen ostoenergiasta energiatehottomassa jäähallissa, kun siitä on päästy kokonaan eroon energiatehokkaassa jäähallissa.

4.1 Jäähallin olosuhteet

Jäähallin lämpötila ja ilmankosteus vaikuttavat suoraan jäähallin energian kulutukseen, jään kuntoon ja jäähallin rakenteiden kuntoon. Kosteuden hallinta ja ilmanjako ovatkin teknisesti vaikeimmin hallittavat asiat jäähallissa. Jäähallin sisälämpötila on tavallisesti 5–10 °C ja jään lämpötila -5 °C. Jää säteilee kylmää sitä ympäröiviin rakenteisiin, mikä laskee niiden lämpötilaa ja voi johtaa kosteuden tiivistymiseen rakenteiden pinnalle, joka puolestaan johtaa kosteusvaurioihin. Tämän vuoksi ilmanvaihdon suunnittelu on tärkeässä asemassa, jotta halliin ei pääse syntymään katvealueita ja lämmintä ilmaa päästään jakamaan koko halliin. (Aalto-yliopisto et al. N.d. 17.) Korkein suositeltu suhteellinen ilmankosteus 5–10 °C lämpötilassa olevassa jäähallissa on 65–70 % (IIHF 2024, 72).

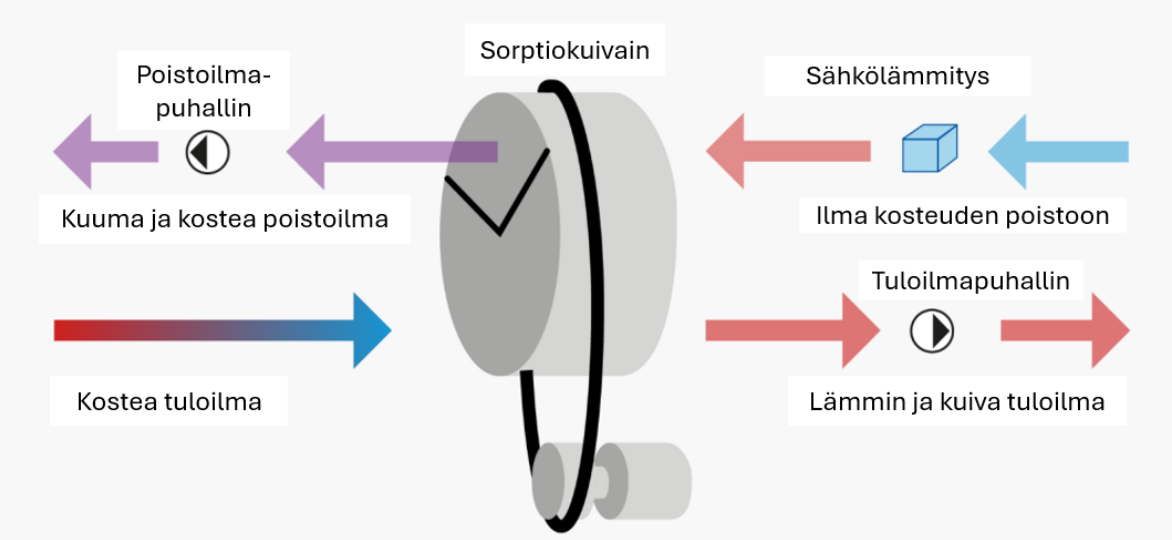
4.2 Tuloilman kuivatus

Jäähallin tuloilman kuivattamiseen käytetään yleensä kahta erilaista kuivaintyyppiä. Nämä ovat kondenssikuivan ja sorptiokuivain. Kondenssikuivaimen avulla hallin tuloilmaa viilennetään, jolloin ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy eli kondensoituu ja se saadaan poistettua ilmasta. Veden poistamisen jälkeen tuloilma lämmitetään halutulle tasolle. Tähän lämmittämiseen on mahdollista hyödyntää hallin lauhdelämpöä. Kondenssikuivain vaatii toimiakseen kylmäenergiaa. Kylmäenergiaa on kuitenkin saatavilla jäähallin omasta kylmäjärjestelmästä, jota hyödynnetään myös jään jäädyttämisessä. (Aalto-yliopisto et al. N.d., 16–17.) Kondenssikuivaimen toimintaperiaate havainnollistetaan kuvassa 7.



Kuva 7. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate (mukaillen IIHF 2024, 74).

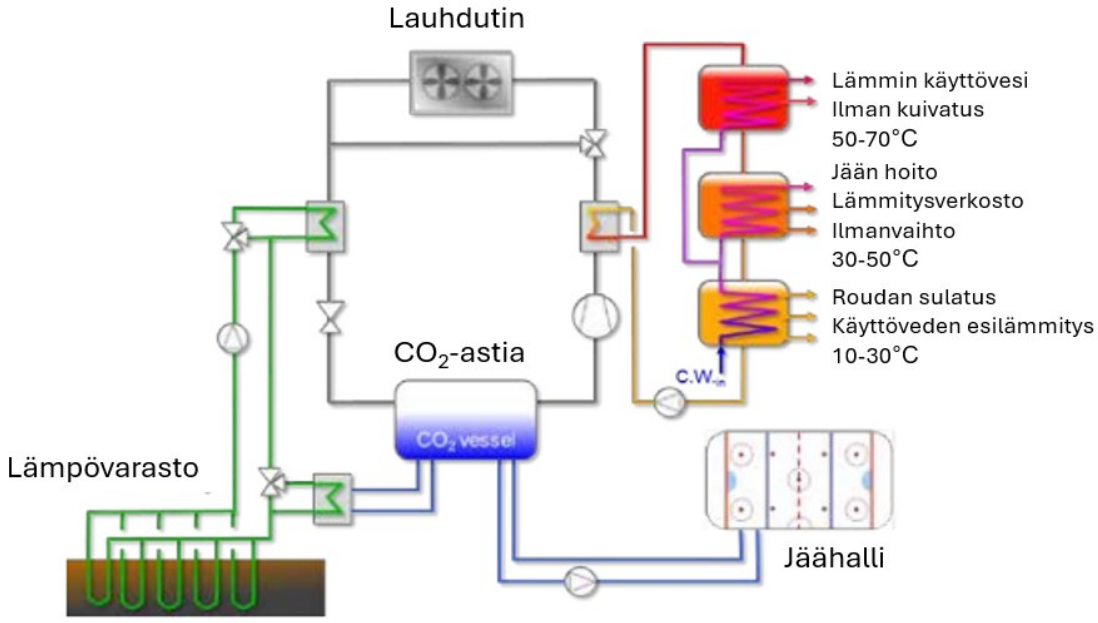
Sorptiokuivaimen toiminta puolestaan perustuu kuivaimen sisällä pyörivän kiekon sisältämään absorboimaan massaan, joka sitoo itseensä kosteutta ilmasta. Kiekko pyörii kahden ilmavirran välillä. Massa sitoo itseensä hallille johdettavasta tuloilmasta kosteutta ja samalla lämmittää tuloilmaa. Kosteus siirretään kuumaan ilmavirtaan, jota tyypillisesti lämmitetään sähkövastuksien avulla. Tämän ilman lämpötila nostetaan tavallisesti 60–70°C välille, jotta se pystyy sitomaan itseensä kosteuden. Korkea lämpötila rajoittaa kuitenkin mahdollisuutta käyttää lauhdelämpöä ilmavirran lämmityksessä. Tämän vuoksi sorptiokuivain kuluttaa reilusti sähköä. (IIHF 2024, 75.) Sorptiokuivaimen toiminta havainnollistetaan kuvassa 8.



Kuva 8. Sorptiokuivaimen toimintaperiaate (mukaillen IIHF 2024, 75).

4.3 Jäähallin energiatehokkuustoimenpiteitä

Jäähallin energiatehokkuutta voi parantaa usealla ei tavalla, mutta ehdottomasti tehokkain keino on hyödyntää kylmäkoneiden lauhdelämpöä. Nykyään lauhdelämpöä johdetaan isoissa määrin ulkoilmaan kattopuhaltimien avulla, vaikka sitä voisi hyödyntää esimerkiksi hallin lattialämmityksessä, tuloilman lämmittämisessä ja roudan sulatusputkistossa. (Aalto-yliopisto et al. N.d., 25.) Lauhdelämmön hyödyntämistä havainnollistetaan kuvassa 9.



Kuva 9. Jäähallin kylmäkoneiden tuottaman lauhdelämmön talteenottojärjestelmän toimintaperiaate (mukaillen IIHF 2023, 53).

Kuvassa 9 on esitetty CO_2-kylmäjärjestelmän kierto sinisellä ja harmaalla värillä. Järjestelmään on lisätty myös mahdollisuus varastoida lämpöä maaperään (vihreä väri). Kuvasta havaitaan lauhdelämmön lämpötilan vaikutus sen hyödynnettävyyteen. 10–30°C lämpö soveltuu hyödynnettäväksi roudan sulatusputkistossa ja käyttöveden esilämmittämisessä, 30–50°C asteinen lämpö soveltuu hyödynnettäväksi lämmitysjärjestelmissä ja jäänhoitoon ja 50–70°C asteinen lämpö soveltuu suoraan käyttöveden lämmittämiseen ja ilmankuivatukseen. Lämpö, jota ei voida hyödyntää, varastoidaan maaperään tai lauhdutetaan ulkoilmaan.

Muita merkittäviä jäähallin energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämmöntalteenottolaitteiston oikea oppiminen sijoittaminen ilmainvaihtokoneistoon kondenssikuivausta käytettäessä. Käytännössä tämä tarkoittaa sen sijoittamista niin, että sen avulla voidaan

esiviilentää kiertoilmaa ennen sen kuivausta. Jään hoitoon liittyvissä asioissa tärkeässä roolissa ovat veden lämpötilan ja määrän optimointi, koska jäätä joudutaan hoitamaan eli jäädyttämään tavallisesti useita kertoja päivässä, ja jäädyttämisessä käytetään suuria määriä lämmintä vettä. Myös ilmanjako on jään kunnon kannalta tärkeä hoitaa oikein. Jos lämmitettyä tuloilmaa puhalletaan suoraan jäätä kohti, aiheuttaa se tarpeetonta lämpökuormaa jäälle ja näin tarpeetonta kuormaa kylmäkoneille. (Aalto-yliopisto et al. N.d., 18–19 & 22.)

4.4 Esimerkkitoteutuksia

Jäähalleissa on alettu hyödyntämään enenevissä määrin tehokkaasti lauhdelämpöä osana energiatehokkuutta. Alla on listattuna esimerkkejä tehdyistä toteutuksista ja saavutetuista säästöistä.

Imatran jäähalli

Imatran jäähallissa investoitiin vuonna 2021 laitteistoon, jonka avulla hyödynnetään kylmän tuotannossa syntyvää lauhdelämpöä ilmanvaihdon lämmityksessä. Investoinnin avulla säästetään 900 MWh lämpöä vuodessa, mikä on 60 % hallin tarvitsemasta lämmöstä. (Energy Plus Engineering Oy 2023.) Investointi maksoi 90 000 € ja sen avulla arvioidaan säästävän vuosittain 40 000 € (Imatra 2021).

Pajulahden jäähalli

Pajulahden jäähallissa energiasaneeraus laitettiin aluille jo vuonna 2009. Saneerauksen myötä kylmäkoneiden lauhdelämpöä alettiin hyödyntämään hallin lämmitysjärjestelmässä ja käyttöveden esilämmittämisessä. Lämpöä ohjataan myös jään alla sijaitsevan betonilaatan eristekerroksen alle routimisen estämiseksi. Energiatehokkuutta parannettiin myös vaihtamalla valaistus led-valaisimiin. Toimenpiteillä energiankulutusta onnistuttiin vähentämään 40 %. (Remes 2020.)

Trio Areenan ja Myyrmäen jäähallit

Vantaan Tikkurilassa sijaitsevan Trio Areenan ja Myyrmäen jäähallin kylmäkoneiden lauhdelämpöä alettiin hyödyntämään viereisten jalkapallokenttien sulana pitämisessä. Lämpö ohjataan sulana pitoon kenttien alla sijaitsevien putkien avulla. Kylmimpinä kuukausina kenttien sulana pidon on arvioitu maksavan aiemmin lähes 20 000 €, mutta lauhdelämpö on

puolestaan lähes ilmaista. Ratkaisujen on arvioitu maksavan itsensä takaisin kahdessa vuodessa. (LVI-Trio Oy N.d.)

5 Case: Riihimäen jäähalli

Riihimäen jäähalli (kuva 10) sijaitsee Riihimäen Peltosaaressa. Sen alue kattaa vanhan jäähallin, uuden jäähallin ja huoltorakennuksen. Tällä hetkellä vanhassa jäähallissa jään kylmäkoneista syntyvää lauhdelämpöä hyödynnetään hallin tuloilman lämmittämiseen, uudessa jäähallissa lauhdelämpöä puolestaan hyödynnetään tuloilman lämmittämisen lisäksi hallin lattialämmityksessä. Huoltorakennuksen lämmitys toteutetaan kaukolämmöllä.

Kuva 10. Riihimäen vanha jäähalli.

Kuvassa 10 etualalla on Riihimäen vanhan jäähallin kylmätekniikkakontti ja sen takana itse jäähalli. Huoltorakennus ja uusi jäähalli sijaitsevat vanhan jäähallin vieressä oikealla puolella.

5.1 Uusi lämmöntalteenottoratkaisu

Vanhaan jäähalliin suunnitellaan uutta lämmöntalteenottoratkaisua, jonka tarkoituksena on tehostaa hallissa syntyvän lauhdelämmön käyttöä. Ratkaisun toteutus on jaettu kahteen eri osaan, joista toteutetaan vain ensimmäinen tai molemmat. Tässä tarkastelussa keskitytään vaihtoehtoon, jossa molemmat ratkaisut toteutetaan. Ratkaisussa jäähallin

kylmätekniikkakontin lämmitys- ja jäähdytysputkistoihin asennetaan uusi tulo- ja poistoilmanvaihtokone ja aletaan hyödyntämään CO_2-kylmälaitteiston 1. portaan lauhdelämpöä huoltorakennuksen lämmityksessä. 1. portaan mitoituslämpötilat ovat 60/40. Ratkaisua varten kylmätekniikkakontilta rakennetaan maanalaiset lämpöputket huoltorakennukseen. Uuden ratkaisun myötä jäähallin ilmankuivatuksessa siirrytään sorptiokuivaimesta kondenssikuivaimeen, mikä vähentää myös sähköenergian kulutusta ja mahdollistaa näin lauhdelämmön tehokkaamman hyödyntämisen tuloilman lämmityksessä. Ratkaisun investointikustannuksiksi on arvioitu 150 000–200 000 € (Alv 0 %). (Takala 2025a & Takala 2025b.)

5.2 Vaikutus jäähallin energiankulutukseen

Jäähallit ovat yksi suurimmista energian kuluttajista kuntien omistamista kiinteistöistä. Taulukossa 5 esitetään Riihimäen jäähallin energiankulutus vuonna 2024.

Taulukko 5. Riihimäen jäähallin sähkön ja kaukolämmön kulutus vuonna 2024.

Kuukausi	Sähkön kulutus (kWh)	Kaukolämmön kulutus (MWh)
Tammikuu	132 634	83,26
Helmikuu	126 257	66,71
Maaliskuu	125 916	57,40
Huhtikuu	120 335	46,20
Toukokuu	99 145	20,02
Kesäkuu	69 379	10,22
Heinäkuu	88 952	9,04
Elokuu	132 813	16,40
Syyskuu	128 356	23,69
Lokakuu	124 063	39,59
Marraskuu	125 315	51,44
Joulukuu	123 702	59,68
Yhteensä	1 396 868	483,65

Uuden ilmanvaihtojärjestelmän, ilmankuivausjärjestelmän muutoksen ja energiatehokkaampien IV-puhaltimien myötä sähkön säästöä arvioidaan syntyvän n. 150 MWh vuodessa. Lauhdelämmön tehokkaamman hyödyntämisen arvioidaan puolestaan säästävän 50–80 MWh kaukolämmön kulutusta vuodessa. Lauhdelämmön hyödyntämisen arvioidaan ajoittuvan noin 80-prosenttisesti talvikuukausien ajalle. Tämä on huomioitava laskiessa

säästöjä kaukolämmön kustannuksissa, sillä talviajan energiamaksu on kesäajan energiamaksua korkeampi.

5.3 Jäähallin ostoenergian hinnan kehitys

Kappaleissa 2.6.2 ja 2.6.3 käsiteltiin kaukolämmön ja sähkön hinnan selvää nousua energiakriisin myötä. Taulukossa 6 esitetään kaukolämmön, sähköenergian ja sähkön siirron hinnan kehitys Riihimäen jäähallin ostoenergian kohdalla vuosien 2019 ja 2025 välillä. Hintoja tarkastellaan arvonlisäverottomina, koska myös investointia tarkastellaan arvonlisäverottomana. Näin luvut ovat paremmin vertailukelpoisia keskenään.

Taulukko 6. Ostoenergian hinnat tarkasteluvuosina 2019 ja 2025.

Kaukolämpö	2019 (Alv 0 %)	2025 (Alv 0 %)
Perusmaksu, (€/vuosi)	6027,00	4512,48
Energiamaksu (kesä), (€/MWh)	42,98	67,63
Energiamaksu (talvi), (€/MWh)	48,50	73,93

Sähkö	2019 (Alv 0 %)	2025 (Alv 0 %)
Perusmaksu (€)	0	0
Energiamaksu (snt/kWh)	3,87	5,84

Sähkön siirto	2019 (Alv 0 %)	2025 (Alv 0 %)
Perusmaksu, (€/kk)	179,00	253,00
Tehomaksu, (€/kW)	3,01	3,41
Loistehomaksu (otto), (€/kVar/kk)	6,60	6,89
Loistehomaksu (anto), (€/kVar/kk)	-	6,89
Päiväsiirto, talvi, (snt/kWh)	2,70	5,10
Muun ajan siirto, (snt/kWh)	1,75	1,81
Sähköveroluokka 1 (snt/kWh)	2,253	2,253

Kaukolämmön hinnoittelussa hinnan havaitaan painottuvan vuonna 2025 aiempaa enemmän energiamaksun puolelle. Tämä muutos tukee energiatehokkuuden parantamista lämmönkulutuksen osalta, kun säästetystä energiasta saa aiempaa suuremman hyödyn. Myös sähköenergian hinta on selvästi korkeampi vuonna 2025 verrattuna vuoteen 2019. Sähkönsiirrossa merkittävin hinnan nousu on tapahtunut talviajan päiväsiirron kohdalla. Talviajan

päiväsiirto sisältää tammikuun, helmikuun ja joulukuun aikana tapahtuvan sähkön siirron maanantaista perjantaihin klo 7–21.

5.4 Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kannattavuudessa tapahtunutta kehitystä analysoidaan vuosien 2019 ja 2025 ostoenergian hintatasoilla, jotta saadaan selville nopean energianhintojen nousun vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Vaikutusta tarkastellaan korollisen takaisinmaksuajan muutoksen kautta. Laskuissa otetaan huomioon energiatuen vaikutus, jonka suuruus on 20 %. Takaisinmaksuaika lasketaan yhtälöllä:

$$N = \frac{\ln\left(1-\frac{I}{q}r_e\right)}{\ln\left(\frac{1}{1+r_e}\right)} \quad (3)$$

jossa N on korollinen takaisinmaksuaika (a), I on investointikustannukset (€), q on vuosittaiset säästöt (€/a) ja r_e on energian hinnan reaalikorko.

6 Tulokset

Tuloksissa käsitellään muutoksia saavutetuista vuosittaisista rahallisista säästöistä tarkasteluvuosien 2019 ja 2025 välillä, ja näiden säästöpotentiaalien muutoksien vaikutusta investoinnin takaisinmaksuaikaan. Näin saadaan käsitys investoinnin kannattavuudessa tapahtuneesta muutoksesta verrattuna aikaan ennen energiakriisiä ja energianhintojen nopeaa nousua.

6.1 Säästöt energiakustannuksissa vuoden 2025 hintatasolla

Tässä kappaleessa tarkastellaan säästöä kaukolämmön, sähköenergian ja sähkön siirron osalta vuoden 2025 hintatasoilla. Säästö vuosittaisissa energialaskuissa esitetään taulukossa 7. Säästöä tarkastellaan kaukolämmön osalta arvioidun säästöpotentiaalin alarajalla (50 MWh), keskivaiheella (65 MWh) ja ylärajalla (80 MWh). Sähkön siirron kohdalla säästetty 150 MWh kohdistetaan prosentuaalisesti samassa suhteessa eri kuukausille sähkönkulutuksen jakautumisen kanssa. Kuukausien aikana, jolloin päiväsiirron talvihinta on voimassa, säästö jaetaan tasaisesti joka tunnille, jolla määritetään säästetyn energian osuus kyseisen hinnan ollessa voimassa. Energiansäästön vaikutus kohdistetaan vain energiamaksuihin, eikä sillä oleteta olevan merkittävää vaikutusta perusmaksuihin tai tehomaksuihin.

Taulukko 7. Arvioitu vuosittainen säästö energialaskuissa vuoden 2025 hintatasoilla.

Säästetty kaukolämpöenergia (MWh/vuosi)	Taloudellinen hyöty (€/vuosi)
50	3633,50
65	4723,55
80	5813,60

Säästetty sähköenergia (MWh/vuosi)	Taloudellinen hyöty (€/vuosi)
150	8760,00

Säästö sähkön siirrossa	Taloudellinen hyöty (€/vuosi)
Päiväsiirto, talvi	886,90
Muun ajan siirto	2400,24
Sähköveroluokka I	3379,50
Yhteensä	6666,64

Taulukosta 7 voidaan havaita vuosittaisen säästön energialaskuissa olevan 19 060–21 240 € riippuen saavutetuista säästöistä kaukolämmön kulutuksessa.

6.2 Säästöt energiakustannuksissa vuoden 2019 hintatasolla

Tässä kappaleessa tarkastellaan säästöä kaukolämmön, sähköenergian ja sähkön siirron osalta vuoden 2019 hintatasoilla. Säästö vuosittaisissa energialaskuissa esitetään taulukossa 8. Tarkastelu toteutetaan samalla periaatteella vuoden 2025 hintatasojen kanssa.

Taulukko 8. Arvioitu vuosittainen säästö energialaskuissa vuoden 2019 hintatasoilla.

Säästetty kaukolämpöenergia (MWh/vuosi)	Taloudellinen hyöty (€/vuosi)
50	2369,80
65	3080,74
80	3791,68

Säästetty sähköenergia (MWh/vuosi)	Taloudellinen hyöty (€/vuosi)
150	5805

Säästö sähkön siirrossa	Taloudellinen hyöty (€/vuosi)
Päiväsiirto, talvi	469,54
Muun ajan siirto	2320,67
Sähköveroluokka I	3379,50
Yhteensä	6169,71

Taulukosta 8 voidaan havaita vuosittaisen säästön energialaskuissa olevan 14 344–15 766 € riippuen saavutetuista säästöistä kaukolämmön kulutuksessa.

6.3 Kehitys investoinnin kannattavuudessa

Tässä kappaleessa esitetään investoinnin korollinen takaisinmaksuaika (vuotta) skenaariossa, jossa investoinnin suuruus on arvioidun tason alarajalla (150 000 €), puolivälissä (175 000 €) ja ylärajalla (200 000 €), ja kaukolämmön energiansäästö toteutuu arvioidun alarajan, keskitason tai ylärajan mukaan. Skenaarioissa oletetaan, että energiatuki (20 %) toteutuu. Energian hinnan reaalikorkona käytetään 5 %. Takaisinmaksuaika lasketaan erikseen aiemmin laskettujen vuoden 2019 ja vuoden 2025 säästöjen tasolla. Vuoden 2025 tulokset esitetään taulukossa 9 ja vuoden 2019 tulokset taulukossa 10.

Taulukko 9. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika (vuotta) vuoden 2025 energian hintatasoilla.

Investointi (€) (sis. Energiatuki 20 %)	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 50 MWh	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 65 MWh	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 80 MWh
120 000	7,7	7,2	6,8
140 000	9,4	8,7	8,2
160 000	11,2	10,4	9,7

Taulukko 10. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika (vuotta) vuoden 2019 energian hintatasoilla.

Investointi (€) (sis. Energiatuki 20 %)	Takaisinmaksuaika KL-säästö 50 MWh	Takaisinmaksuaika KL-säästö 65 MWh	Takaisinmaksuaika KL-säästö 80 MWh
120 000	11,1	10,4	9,8
140 000	13,7	12,8	12,0
160 000	16,7	15,5	14,5

Tarkastelemalla taulukkoja 9 ja 10 voidaan havaita investoinnin olevan selvästi kannattavampi jokaisessa skenaariossa vuoden 2025 energian hintatasoilla verrattuna vuoden 2019 hintatasoihin. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on skenaarioiden välillä 3,0–5,5 vuotta lyhyempi. Yleisesti energiatehokkuustoimia pidetään kannattavina, kun ne maksavat itsensä takaisin alle kymmenessä vuodessa. Vuoden 2025 hintatasoilla tämä toteutuu lähes jokaisessa skenaariossa, kun taas vuoden 2019 hintatasoilla ainoastaan silloin, kun investointikustannus on arvioidun vaihteluvälin alarajalla ja kaukolämmön säästön arvioidun vaihteluvälin ylärajalla. Energian hintojen nousun vaikutuksen investoinnin kannattavuuteen voidaan siis todeta olevan merkittävä.

6.4 Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelussa analysoidaan energiatuen myöntämisen vaikutusta investoinnin korolliseen takaisinmaksuaikaan eli skenaarioita tarkastellaan ilman myönnettyä tukea. Tarkastelu tapahtuu muutoin samalla tavalla kuin edellisessä kappaleessa. Vaikutus takaisinmaksuaikaan vuoden 2025 hintatasoilla esitetään taulukossa 11 ja vuoden 2019 hintatasoilla taulukossa 12.

Taulukko 11. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika (vuotta) vuoden 2025 energian hintatasoilla ilman energiatukea.

Investointi (€), (ilman energiatukea)	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 50 MWh	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 65 MWh	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 80 MWh
150 000	10,2	9,5	8,9
175 000	12,6	11.7	10,9
200 000	15,2	14,1	13,0

Taulukko 12. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika (vuotta) vuoden 2019 energian hintatasoilla ilman energiatukea.

Investointi (€), (ilman energiatukea)	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 50 MWh	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 65 MWh	Takaisinmaksuaika, KL-säästö 80 MWh
150 000	15,2	14,1	13,2
175 000	19,3	17,8	16,6
200 000	24,5	22,4	20,6

Ilman energiatukea voidaan havaita, että investointi ei olisi ollut missään tilanteessa kannattava vuoden 2019 energian hintatasoilla. Energiatuen merkityksen voidaan havaita olevan myös suuri vuoden 2025 energian hintatasoilla, sillä ilman sitä investointi on kannattava vain investointikustannusten ollessa arvioidun vaihteluvälin alarajalla ja kaukolämmön säästöön ollessa vähintään arvioidun vaihteluvälin keskitasolla. Vuoden 2025 hintatasoilla energiatuen vaikutus hankkeen korolliseen takaisinmaksuaikaan on 2,1–4,0 vuotta.

Vuoden 2025 hintatasoilla kaukolämmössä säästettävän vuotuisen energiamäärän tulisi olla vähintään 145 MWh, jotta investoinnin korollinen takaisinmaksuaika pysyisi alle 10 vuodessa ilman energiatukea investoinnin suuruuden ollessa 200 000 €. Samassa skenaariossa vuoden 2019 hintatasoilla vuosittain säästetyn kaukolämpöenergian olisi pitänyt olla vähintään 295 MWh.

7 Johtopäätökset

Hukkalämmön tehokkaampi hyödyntäminen on keskeisessä roolissa Suomen kansallisten energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Sen hyödyntämisellä on mahdollista vähentää primäärienergiankulutusta, hiilidioksidipäästöjä, polttoon perustuvaa lämmöntuotantoa ja parantaa energiatehokkuutta. Energian hintojen nousun myötä ostetun energian korvaaminen lämmöntalteenotolla omista järjestelmistä antaa myös merkittäviä taloudellisia hyötyjä.

Tutkimuksen esimerkkitapauksessa, Riihimäen jäähallissa, havaittiin ostoenergian hintojen nousun lyhentäneen jäähallissa tehokkaamman lauhdelämmön hyödyntämiseen liittyvän hankkeen korollista takaisinmaksuaikaa 3,0–5,5 vuodella riippuen toteutuneista energiasäästöistä. Vertailu suoritettiin vuosien 2019 ja 2025 ostoenergian hintatasoilla. Tukien merkitystä energiatehokkuushankkeille ei voi myöskään väheksyä, sillä tarkastelussa havaittiin energiatuen vaikuttavan vuonna 2025 investoinnin korolliseen takaisinmaksuaikaan 2,1–4,0 vuotta. Energiatuki teki investoinnista kannattavan (tma <10 vuotta) lähes kaikissa tarkastelluissa skenaarioissa. Ilman sitä investointi oli kannattava vain skenaariossa, jossa investointikustannus toteutuu annetun vaihteluvälin alarajalla ja kaukolämmön säästö vähintään keskimääräisesti. Ilman energiatukea kaukolämmön ostoa olisi pitänyt pystyä vähentämään lähes kaksinkertainen määrä, jotta investointi olisi kannattava sen toteutuessa arvioidun hintahaarukan ylärajalla.

Vuoden 2019 ostoenergian hintatasoilla investointi ei puolestaan olisi ollut missään tilanteessa kannattava ilman energiatukea, ja senkin kanssa vain investoinnin kustannusten ollessa arvoidun hintahaarukan alarajalla ja kaukolämmön säästön toteutuessa arvoidun vaihteluvälin ylätasolla. Investointikustannusten ylärajalla investointi olisi ollut kannattava ilman energiatukea vain, jos kaukolämmön ostoa olisi pystytty vähentämään lähes nelinkertainen määrä arvioituun nähden.

Energian hintojen nousun havaittiin vaikuttavan merkittävästi hukkalämmön hyödyntämiseen osana energiatehokkuutta, ja tämän merkittävyyden selvittäminen oli tutkimuksen keskeisimpiä tavoitteita. Erilaisille tukiratkaisuille on edelleen kuitenkin selvä tarve, jotta investointeja voidaan toteuttaa laajemmin, ja näin säästää enemmän energiaa. Tutkimuksessa

investointikustannusten oletettiin olevan samaa suuruusluokkaa tarkasteluvuosien välillä, vaikka siinä on todennäköisesti jonkin verran eroa. Tarkastelua kuitenkin suoritettiin eri hintatasoilla, joten investointikustannusten vaikutusta pystyy analysoimaan sitä kautta. Jatkotutkimuksena aiheeseen liittyen olisi hyödyllistä selvittää laajemmin eri toimialoilla ostoenergian hintatason vaikutusta hukkalämmön hyödyntämiseen ja energiatehokkuusinvestointeihin. Hukkalämmön myynnistä saatavaa optimaalista korvausta, esimerkiksi kaukolämpöyhtiöiltä, tulisi myös selvittää tarkemmin, jotta saataisiin selville tilanne, jossa sen myynti olisi molemmille osapuolille kannattava ratkaisu.

Lähteet

Aalto-yliopisto, VTT & Suomen jääkiekkoliitto. N.d. Jäähallien energiatehokkuuden parantaminen. Jäähalliportaali. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa: https://jaahalliportaali.fi/files/jaahalliportaali_handbook.pdf

AFRY. 2020. Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä. Viitattu 28.3.2025. Saatavissa: https://tem.fi/documents/1410877/176066306/EEDselvitys%20l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti%202020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys%20l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti%202020.pdf

Auvinen, K., Meriläinen, T. & Saikku, L. 2021. Hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämisen esteet ja edistämiskeinot kaukolämpöverkossa. Suomen ympäristökeskus SYKE. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa: 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. & Christodouldies, P. 2019. Estimating the waste heat recovery in the European Union Industry. Energy, Ecology and Environment. Vol. 4, s. 211-221. https://doi.org/10.1007/s40974-019-00132-7

Business Finland. N.d. Energiatuki. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa: https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki

Caruna. 2020. Teollisuuden sähkövero laskee 1.1.2021 alkaen. Viitattu 6.3.2025. Saatavissa: https://caruna.fi/ajankohtaista/teollisuuden-sahkovero-laskee-112021-alkaen

Caruna. 2024. Sähkövero ja sähköveroluokat. Viitattu 6.3.2025. Saatavissa: https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkovero

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

Direktiivi 2018/2001. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä. Viitattu 20.3.2025. Saatavissa: http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj

Direktiivi 2023/1791. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2023/1791, annettu 13 päivänä syyskuuta 2023, energiatehokkuudesta ja asetuksen (EU) 2023/955 muuttamisesta. Viitattu 8.6.2025. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj

Energiateollisuus ry. 2021. Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2021. Viitattu 28.3.2025. Saatavissa: https://energia.fi/julkaisut/rakennusten-kaukolammitys-maaraykset-ja-ohjeet-julkaisu-k1-2021/

Energiateollisuus ry. 2024. Sähkön hintatilasto. Viitattu 8.6.2025. Saatavissa: https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/sahkon-hintatilasto/

Energiateollisuus ry. 2025. Kaukolämpötilasto. Viitattu 18.5.2025. Saatavissa: https://energia.fi/tilastot/kaukolampotilasto/

Energiavirasto. N.d. Teollisuuden sähköistämistuki. Viitattu 8.6.2025. Saatavissa: https://energiavirasto.fi/teollisuuden-sahkoistamistuki

Energy Plus Engineering Oy. 2023. Imatran jäähalli: hukkalämpö hyötykäyttöön. Viitattu 13.6.2025. Saatavissa: https://www.epluse.fi/?p=1(avaa%20uuden%20v%C3%A4lilehden

European Commission. N.d. About the EU ETS. Viitattu 27.3.2025. Saatavissa: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/about-eu-ets_en

Fortum. 2025. Avoin kaukolämpö ostohinnat. Viitattu 9.6.2025. Saatavissa: https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo/avoin-kaukolampo-ostohinnat

Helen. 2025. Avoin kaukolämpö. Viitattu 9.6.2025. Saatavissa: https://www.helen.fi/yritykset/lampoa-yrityksille/lammitysratkaisut-eri-tarpeisiin/avoin-kaukolampo

Huttunen, R., Kinnunen, M., Lemström, B., Hirvonen, P. & Kuuva, P. 2024. Finland's Integrated National Energy and Climate Plan Update. Valtioneuvosto. Viitattu 18.3.2025. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-527-0

IEA. 2023. Finland 2023 Energy Policy Review. Viitattu 27.3.2025. Saatavissa: https://www.iea.org/reports/finland-2023

IIHF. 2023. IIHF Guide to Sustainable Ice Arenas. Viitattu 16.6.2025. Saatavissa: https://www.iihf.com/en/static/5890/iihf-ice-rink-guide

IIHF. 2024. Official Ice Arena Guide. Viitattu: 12.6.2025. Saatavissa: https://www.iihf.com/en/static/5890/iihf-ice-rink-guide

Imatra. 2021. Jäähallin tuottama hukkalämpö hyödynnetään jatkossa hallin ilmastoinnissa. Viitattu 13.6.2025. Saatavissa: https://www.imatra.fi/uutinen/2021-10-19_j%C3%A4%C3%A4hallin-tuottama-hukkal%C3%A4mp%C3%B6-hy%C3%B6dynnet%C3%A4%C3%A4n-jatkossa-hallin-ilmastoinnissa

Iotoi Oy. N.d. PIP3. Viitattu 28.3.2025. Saatavissa: https://www.iotoi.fi/pip3

Koski, L. 2022. Uima- ja jäähalliportaalikohteiden energiankulutus- ja hiilidioksidipäästöarvio. Vahanen Monitoring Services Oy. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa: https://jaahalliportaali.fi/files/fi%20uima-%20ja%20j%C3%A4%C3%A4halliportaalikohteiden%20energiankulutus-%20ja%20hiilidioksidip%C3%A4%C3%A4st%C3%B6arvio%20-raportti%20ja%20liitteet.pdf

Kuopion Energia. 2025. Kaukolämmön hinnat ja sopimusehdot. Viitattu 9.6.2025. Saatavissa: https://www.kuopionenergia.fi/yritys/hinnat-ja-sopimusehdot/kaukolammon-hinnat-ja-sopimusehdot/

Leppäkoski. N.d. Avoin kaukolämpö. Viitattu 9.6.2025. Saatavissa: https://leppakoski.fi/avoin-kaukolampo/

Linjama, J. 2021. Jätevedenpuhdistamot ja vesilaitokset energiatehokkaiksi. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa: https://issuu.com/suomenymparistokeskus/docs/canemure_jatevedenpuhdistamot_verkkoon_01_07_2021_

LVI-Trio Oy. N.d. Vantaalaiset Jäähallit. Viitattu 13.6.2025. Saatavissa: https://lvi-trio.fi/kohteet/vantaan-jaahallit/

Martin, K. & Koikkalainen, J. 2021. Suomen kaupan alan hukkalämpöpotentiaali. Granlund. Viitattu 27.3.2025. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/19507/Kaupan_alan_hukkalampopotentiaali_-_Selvitys_08.11.2021.pdf

Porkka, A. 2025. Sektorikytkentä ja sähköisen lämmöntuotannon mahdollisuudet. Calefa Oy. Verkosto – Energia- ja tietoverkkoalan ammattimessut, Tampere, Suomi 22.1.2025.

Pöyry Management Consulting Oy. 2016. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. Viitattu 9.6.2025. Saatavissa: https://www.sitra.fi/julkaisut/kaksisuuntaisen-kaukolammon-liiketoimintamallit/

Ramboll Finland Oy. 2023. Energiatukien vaikuttavuus. 13.6.2025. Saatavissa: https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/tietoa-meista/tulokset-ja-vaikutukset

Remes, M. 2020. Valtakunnallinen valmennus- ja liikuntakeskus Oy: Jäähallin energiasaneeraus vaatii pelisilmää. Viitattu 13.6.2025. Saatavissa: https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/valtakunnallinen-valmennus-ja-liikuntakeskus-oy-jaahallin-energiasaneeraus-vaati-pelisilmaa/

Ruohonen, P., Grundström, J. & Suominen, M. 2019. Esiselvitys: Ylijäämänlämmön potentiaali teollisuudessa. Motiva. Viitattu: 20.3.2025. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf

Rämä, M. & Klobut, K. 2020. Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä. VTT. Viitattu 28.3.2025. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Hukkalampo_kaukolampojarjestelmissa_-_maarittely_ja_luokittelu_VTT_2020.pdf

Sandbag. 2025. Carbon Price Viewer. Viitattu 27.3.2025. Saatavissa: https://sandbag.be/carbon-price-viewer/

Sirola, V-P. & Tiitinen, M. 2018. Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä. Viitattu 8.6.2025. Saatavissa: https://energia.fi/julkaisut/hukkalampojen-hyodyntaminen-kaukolampojarjestelmassa-tekniset-ohjeet/

Takala, E. 2025a. LVI-asiantuntija. Riihimäen kaupunki. Haastattelu 11.3.2025.

Takala, E. 2025b. LVI-asiantuntija. Riihimäen kaupunki. Sähköpostiketju 12.3.2025 – 17.3.2025.

Tampereen Energia. 2025. Hinnastot. Viitattu 9.6.2025. Saatavissa: https://www.tampereenenergia.fi/energiaratkaisut/hinnastot/

Tilastokeskus. 2024a. 12gd – Kaukolämmön hinta kuluttajatyypeittäin. Tilastokeskus. Viitattu 6.3.2025. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_12gd.px/

Tilastokeskus. 2024b. 12vk – Energian loppukulutus sektoreittain. Tilastokeskus. Viitattu 18.3.2025. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vk.px/

Tilastokeskus. 2024c. 12vq – Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (kaikki luokat). Tilastokeskus. Viitattu 18.3.2025. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vq.px/

Tilastokeskus. 2025. 13rb – Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Tilastokeskus. Viitattu 6.3.2025. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/

Työ- ja elinkeinoministeriö. N.d. Energia- ja investointituet. Viitattu 18.9.2025. Saatavissa: https://tem.fi/energia-ja-investointituet

Vero. 2025. Sähkövero. Viitattu 6.3.2025. Saatavissa: https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/

Liite 1. Teollisuuden sähköistämistukeen oikeutetut toimialat

NACE-koodi	Toimiala
14.11	Nahkavaatteiden valmistus
24.42	Alumiinin valmistus
20.13	Muiden epäorgaanisten peruskemikaalien valmistus
24.43	Lyijyn, sinkin ja tinan tuotanto
24.1	Raudan, teräksen ja rautaseosten valmistus
17.12	Paperin, kartongin ja pahvin valmistus
17.11	Massan valmistus
19.2	Jalostettujen öljytuotteiden valmistus
24.44	Kuparin tuotanto
24.45	Muiden värimetallien tuotanto
20.16.40.15	Polyetyleeniglykolit ja muut polyeetterialkoholit alkumuodossa
24.51	Raudan valu
23.14.12.10	Lasikuitumatot
23.14.12.30	Lasikuituohutlevyt
20.11.11.50	Vety
20.11.12.90	Epäorgaaniset epämetallien happiyhdisteet