



HUKKALÄMPÖOPAS YRITYKSILLE

Opas yrityksille

Julia Pihlavisto-Hakala

Minna Haavisto

Prizztech Oy

osana Hukkalämmöstä hyötyenergiaa
-hanketta

AVAUSSANAT

Tämä ohjeistus on tarkoitettu erityisesti yrityksille, palvelualan toimijoille sekä kuntaomisteisille yhtiöille, joiden prosesseissa tai rakennuksissa muodostuu ylijäämälämpöä, jota nykyisellään poistetaan tiloista hyödyntämättömänä. Tavoitteena on kertoa kansantajuisesti ja esimerkkien avulla, että hukkalämmössä on suuri energiansäästöpotentiaali sekä ohjata toimiin sen hyödyntämisen aloittamiseksi. Ohjeet on kirjoitettu teollisuuden näkökulmasta, mutta oppaan sisältö on hyödynnettävissä huomattavasti laajemminkin. Raportti sisältää myös linkkejä, joiden takaa löytyy lisätietoa mm. yritysesimerkeistä ja lämpöjen hyödyntämisen sektorilla palveluja tarjoavista yrityksistä. Linkit on merkitty tekstiin kursivilla.

Tämä raportti on tuotettu osana Prizztech Oy:n hanketta *Hukkalämmöstä hyötyenergiaa*, jota rahoittavat Satakuntaliitto EAKR-rahoituksella sekä Porin seudun kunnat.

SISÄLLYS

1. Mitä on hukkalämpö?	3
1.1. Hukkalämmön lähteet.....	3
1.2. Hukkalämmön hyödynnettävyys.....	4
1.3. Hukkalämpövirran arviointi.....	5
1.4. Hukkalämpöjen hyödyntäminen.....	6
1.4.1. Hyödyntäminen omassa organisaatiossa.....	6
Case SSAB.....	6
Case Lantmännen Agro.....	6
Case Ullan Pakari.....	7
Case Luotsinmäen jätevedenpuhdistamo.....	7
1.4.2. Hyödyntäminen teollisuusalueella.....	7
Case kaupunkien katujen sulanapito.....	8
Case Turun Ylioppilaskylä.....	8
1.4.3. Hyödyntäminen toisen organisaation toimesta.....	8
Case Honkatarhat.....	9
2. Tekniset ratkaisut	9
2.1. Lämmönvaihtimet.....	9
2.2. Lämpöpumput.....	10
2.3. Kaukolämpöratkaisut.....	11
Case Itoi.....	11
Case Fortum.....	12
2.4. Lämmön varastointi.....	12
2.4.1. Vesipohjainen varastointi.....	12
Case Valio.....	12
Case Vaskiluoto.....	12
2.4.2. Mineraalipohjaiset ratkaisut.....	13
Case Vatajankoski.....	13
2.4.3. Maaperäpohjaiset ratkaisut.....	13
Case Finn Spring.....	13
2.5. Sähkön tuotanto.....	13
2.5.1. Organic Rankine Cycle eli ORC.....	13
Case Viikinmäen jätevedenpuhdistamo.....	14
2.5.2. Lämpösähköinen generaattori eli TEG.....	14
3. Ohjeita hukkalämpöjen hyödyntämiseen	14
3.1. Tarkista laitteiden ja prosessin toimivuus.....	15
3.2. Mittaa, analysoi ja laske hukkalämpövirrat.....	15
3.3. Mieti hyödyntämiskohteet.....	15
3.4. Asiantuntija apuun.....	15
3.5. Tutki tukimahdollisuuksia.....	16
3.6. Toteuta investointi rohkeasti.....	16
3.7. Kerää tietoa järjestelmän toimivuudesta.....	16
3.8. Tiedota tehdyistä ratkaisuista.....	16

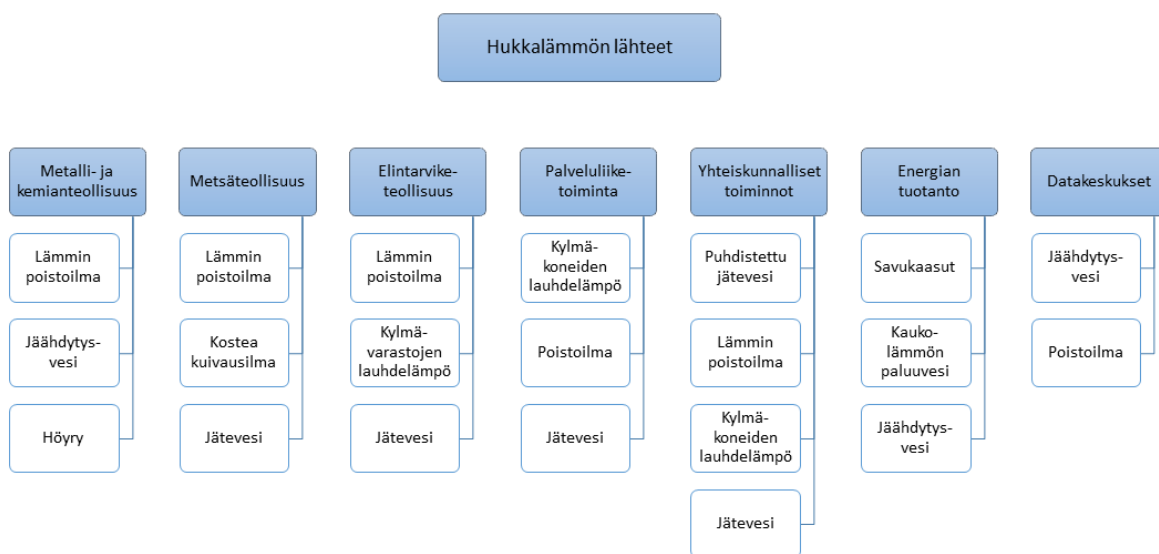
1. Mitä on hukkalämpö?

Hukkalämmölle ei ole yhtä vakiintunutta määritelmää, vaan sen sisältö vaihtelee eri lähteissä. Tässä oppaassa hukkalämmöllä tarkoitetaan kaikkea toiminnassa muodostuvaa ylijäämälämpöä, jota ei nykyisellään hyödynnetä yrityksen sisällä tai sen ulkopuolella. Sitä voi syntyä esimerkiksi sulatuksessa, kuivauksessa, jäädytyksessä tai sähkölaitteista. Se voi olla sitoutuneena esimerkiksi poistoilmaan, höyryyn, jäähdys- tai jäteveteen. Hukkalämpöä syntyy käytännössä kaikessa toiminnassa, jossa käytetään energiaa. Hukkalämmön hyödyntämisellä tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla hyödyntämättömän lämmön määrä vähenee.

Hukkalämpö lakkaa olemasta hukkalämpöä, kun yritys ottaa sen käyttöönsä ja korvaa sillä muuta lämmön tuotantoaan. Tämä tarkoittaa yleensä myös säästöä energialaskussa. Suuressa mittakaavassa hukkalämpöjen hyödyntäminen, kuten muutkin energiantehokkuustoimenpiteet, vähentävät primäärienergian tarvetta, jolloin myös fossiilisista energialähteistä on helpompi luopua.

1.1. Hukkalämmön lähteet

Määrällisesti eniten hukkalämpöä syntyy energiankulutukseltaan suurimmilla aloilla, eli metsäteollisuudessa, metalli- ja kemianteollisuudessa sekä elintarviketeollisuudessa. Lisäksi palveluliiketoiminnoissa, kuten pesuloissa ja kaupan alalla, energiantuotannossa sekä datakeskuksissa osa energiasta menetetään hukkalämpönä. Yhteiskunnallisia toimintoja palvelevissa rakennuksissa, kuten kouluissa, sairaaloissa ja liikuntapaikoissa rakennusten energiankulutus, ihmisten luoma lämpökuorma ja tarve tasaisen lämpötilan ylläpitämiseksi luovat merkittäviä hukkalämpövirtoja. Alla olevassa kuvassa 1 on kootusti esitetty keskeisimpiä hukkalämmönlähteitä eri toimialoilta. Joitakin toimialakohtaisia esimerkkejä hukkalämpöjen hyödyntämisestä on esitetty liitteessä 1.



Kuva 1. Keskeisiä hukkalämmönlähteitä eri toimialoilta.

Kuvasta 1 voi huomata, että monilla aloilla hukkalämpö on sitoutunut samanlaisiin virtoihin. Siksi hukkalämpöjen hyödyntämiseen kehitetty tekniikka on ollut kaupallisessa käytössä jo pitkään ja on hyvin sovellettavissa erilaisiin kohteisiin. Hukkalämmön hyödynnettävyyteen liittyy oleellisesti hukkalämmön lämpötila. *Motiva* on jaotellut hukkalämmöt matalalämpöisiin (<50°C), keskilämpöisiin (50-100°C) ja korkealämpöisiin (>100°C) virtoihin. Taulukossa 1 on esitetty esimerkkejä teollisen hukkalämmön lähteistä näissä lämpötilatasoissa. Hukkalämmön hyödyntämiseen vaikuttavista tekijöistä on kerrottu enemmän seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 1. Ylijäämälämpöjen tyypilliset lähteet lämpötilatason mukaan.

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

1.2. Hukkalämmön hyödynnettävyys

Hukkalämmön hyödynnettävyys riippuu virran monista ominaisuuksista ja ulkopuolisista tekijöistä. Hukkalämmön hyötykäyttöä suunniteltaessa on aina huomioitava kohteiden yksilöllisyys sekä prosessien että sijainnin näkökulmasta. Mikä toimii etelässä ei automaattisesti toimi vastaavalla tavalla pohjoisessa. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon koko prosessi ja kaikki energiavirrat, jotta tehtävät investoinnit olisivat mahdollisimman tehokkaita ja osaoptimoineilta voitaisiin välttyä.

Prosessien kannalta energiatehokkainta olisi, jos ylimääräistä lämpöä ei pääsisi syntymään. Tiettyjen prosessien sivutuotteena syntyy kuitenkin väistämättä lämpöä ja hukkalämmön muodostumista voidaan ehkäistä vain sen tehokkaalla hyödyntämisellä. Ylijäämälämmön ominaisuudet vaikuttavat hyödyntämiskohteen valintaan sekä tarvittavien laitteistojen valintaan. Keskeisiä hukkalämmölle määritettäviä ominaisuuksia ovat muun muassa

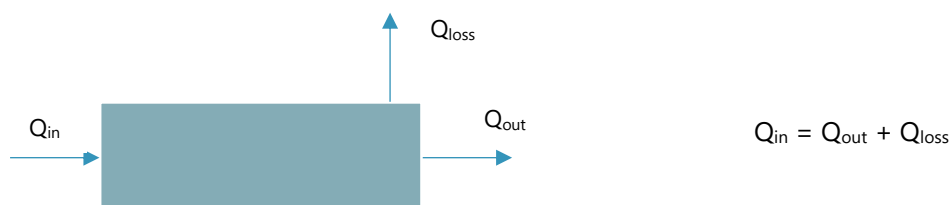
- lämpötilatasot
- teho ja energiasisältö (pysyvyys, ajallinen vaihtelu)
- lämpövirran väliaine ja faasi (kaasu, höyry, neste, ilma jne.)
- väliaineen kemialliset ominaisuudet
- väliaineen puhtaus

Lämmön ominaisuuksien lisäksi sen hyödynnettävyyteen vaikuttaa lämmön kysyntä. Lämmityskaudella lämmölle on kysyntää, kun taas kesällä kysyntää on vähemmän. Kulutuksen ja tuotannon kohtaaminen määrittävät järjestelmien kannattavuutta sekä mahdollisesti myytävästä lämmöstä saatavaa hintaa.

Hukkalämmön hyödyntämistä suunniteltaessa hukkalämpövirran tunteminen nousee keskeiseksi tekijäksi. Mikäli lämpötilaa ja virtausta varten ei ole mittareita ja mittauksista tallennettua dataa, tulee miettiä pysyvien tai väliaikaisen mittareiden ja datankeräysjärjestelmien asentamista. Toinen vaihtoehto on muiden tiedossa olevien parametrien perusteella pyrkiä laskemaan ja arvioimaan hukkalämmön määrää. Kannattavuuden kannalta myös lämpövirran pysyvyydestä ja ajallisesta vaihtelusta tulee kerätä mahdollisimman tarkkaa tietoa sekä lämmitys- että jäähdytyskaudelta. Mitä enemmän ja tarkempaa dataa on saatavilla, sen helpompaa on huomioida kohteen yksilöllisyys ja arvioida hyötykäytön kannattavuutta. Monet insinööritoimistot ja laitetoimittajat ovat erikoistuneet tällaisiin arviointeihin. Alustavaa kannattavuuden arviointia voi lähtötietojen avulla tehdä esimerkiksi Motivan *energiatehokkuustoimenpiteiden taloudellisen kannattavuuden arviointi laskurilla*.

1.3. Hukkalämpövirran arviointi

Aineen ja energian häviämättömyyden lain mukaisesti, missään prosessissa ilma, vesi tai energia ei katoa. Tämä tarkoittaa sitä, että sisään menevä energiamäärä on sama kuin ulos tuleva energiamäärä. Se mikä ei sitoudu lopputuotteeseen tai siirry seuraavaan prosessivaiheeseen, katoaa erilaisina häviöinä. Tätä havainnollistaa kuva 2.



Kuva 2. Energian häviämättömyyden laki ja kaava.

Häviöitä on monenlaisia ja lämpökin voi hävitä prosessista esimerkiksi vuotamalla viallisista komponenteista tai johtumalla ympäristöön puutteellisen eristyksen vuoksi. Suurena poistettavana virtana, kuten jäte- tai jäähdytysveden tai poistoilmaan sitoutuneena, ylijäämlämpö on hyödyntämätön sivuvirta, jossa on paljon taloudellista potentiaalia. Tätä potentiaalia voi arvioida esimerkiksi laskemalla väliaineeseen sitoutuneen lämpötehon. Kaava tarjoaa karkean arvion lämpötehosta, sillä harva prosessi toimii täsmälleen samoilla arvoilla vuorokauden ja vuoden ympäri.

$\Phi = q_v \times \rho \times C_p \times \Delta T$, jossa

Φ = lämpöteho [kW]

q_v = väliaineen tilavuusvirta [m^3 / s]

ρ = väliaineen tiheys [m^3 / kg]

C_p = väliaineen ominaislämpökapasiteetti [kJ / (kg·°C)]

ΔT = lämpötilaero [°C]

Kaavan käytöstä on laskuesimerkki liitteessä 2. Mikäli massavirta [kg/s] on tiedossa, kerrotaan se suoraan ominaislämpökapasiteetilla ja lämpötilaerolla lämpötehon laskemiseksi. Väliaineen tiheys ja ominaislämpökapasiteetti riippuvat hieman myös aineen lämpötilasta. Tarkimman arvion saa käyttämällä taulukoiduista arvoista sitä, joka on mahdollisimman lähellä lämpötilojen puoliväliä. Lämpötilaero on hukkalämmön alkulämpötilan ja loppulämpötilan välinen erotus. Loppulämpötila on se lämpötila, johon aineen lämpötila laskee suunnitellun lämmön talteenoton seurauksena. Loppulämpötila riippuu hyödynnettäväksi suunnitellusta tekniikasta ja hyödyntämiskohteesta.

Jos lämpöä hyödynnetään lämmönsiirtimillä, loppulämpötila on minimissään hyödyntämiskohteen mitoituslämpötila, johon on lisätty noin 5-asteen puskuri. Tämä puskuri varmistaa lämmönsiirron. Erilaisia mitoituslämpötiloja on esitetty alla olevassa taulukossa 2. Lämpöpumppua hyödyntäen loppulämpötiloissa voidaan päästä huomattavasti matalampiin tasoihin, kuin lämmönvaihtimia käytettäessä. Esimerkki hukkalämpövirran karkeasta potentiaalilaskennasta on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 2. Hukkalämmön hyödyntämiskohteet mitoituslämpötiloineen.

Hyödyntämiskohde	Mitoituslämpötila [°C]
Lattialämmitys	35
Vesikiertoinen patterilämmitys	60
Käyttövesi	65
Kaukolämpö (tuleva mitoitus-taso)	90
Kaukolämpö (nykyinen mitoitus-taso)	120

Mikäli hukkalämpö on sitoutunut aineeseen, jossa on sekaisin kaksi tai useampia aineita, kuten kosteaan poistoilmaan (vesi+ilma), kannattaa laskelma suorittaa aineille erikseen ja laskea tulos yhteen. Lämpötehosta saadaan lämmöntuotanto kertomalla se vuoden käyttötunneilla. Tarkempaan tulokseen päästään myös huomioimalla vuodenaikojen vaihteluita, eli laskemalla lämpötehot ja lämmöntuotanto erikseen esimerkiksi kesälle ja talvelle.

Mikäli alustavan laskennan perusteella hukkalämpövirran lämpöpotentiaali vaikuttaa kiinnostavalta, kannattaa aloittaa tarkempi selvitys hukkalämpöjen hyödyntämisen kannattavuudesta tai ainakin kutsua ammattilainen tekemään tarkastelua. Ohjeita hukkalämpöjen hyödyntämisprojektiin on esitetty kappaleessa 3.

1.4. Hukkalämpöjen hyödyntäminen

Hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuuksien selvittäminen tulee aloittaa organisaation omien toimintojen tarkastelusta. Tällöin hukkalämmöstä on yritykselle eniten hyötyä ja investoinnit ovat yleensä pienemmät. Ensisijaisesti ylijäämälämpöä kannattaa siis hyödyntää omassa toiminnassa tai teollisuusalueen yhteisessä toiminnassa. Jos ylijäämälämpöä syntyy paljon, on myös mahdollista myydä sitä jollekin ulkopuoliselle toimijalle. Mikäli lämmön kysynnän ja tarjonnan välillä ei ole ajallista yhteyttä, vaihtoehtona on lämmön varastointi.

1.4.1. Hyödyntäminen omassa organisaatiossa

Hukkalämmön hyödyntäminen on sekä teknisesti että taloudellisesti järkevintä mahdollisimman lähellä syntykohdettaan. Teknisesti lämmön siirtäminen on helpointa saman prosessin sisällä. Lyhyellä siirtomatalla myös siirtohäviöt ovat vähäisemmät kuin suurilla etäisyyksillä. Omassa organisaatiossa hukkalämpöä voi hyödyntää prosesseissa korvaamaan muuta lämmön käyttöä, sekä rakennusten ja käyttöveden lämmittämistä. Joissakin tapauksissa lämpöä voidaan käyttää myös muiden hyödykkeiden, kuten höyryn, sähkön tai jäähdytyksen tuottamisessa. Ylijäämälämmön hyödyntäminen oman organisaation sisällä määritellään yrityksen sisäiseksi energiatehokkuustoimenpiteeksi.

Hyödyntäminen prosessissa

Prosessissa syntyvää ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi raaka-aineiden kuivaamisessa ja esilämmityksessä sekä prosessi- tai pesuvesien esilämmityksessä. Prosesseissa, jotka sisältävät sekä jäähdytys- että lämmitysvaiheita, jäähdytyksen lauhdelämpöä voidaan käyttää lämmitysvaiheen esilämmitykseen. Prosessien energiatehokkuus yleensä paranee, jos kylmiä lähtöaineita voidaan esilämmittää hukkalämpöjen avulla ennen prosessoinnin varsinaista aloittamista. Yksinkertaisimmillaan lämpöä voi siirtää lämmönvaihtimien avulla, mutta lämmön hyödyntämistä voidaan tehostaa lämpöpumpulla. Helpointa lämmön siirtäminen prosessivaiheesta toiseen on, kun lämpö on sitoutuneena nesteeseen, esimerkiksi veteen.

Case SSAB

Standardi-, premium- ja erikoisteräksiä valmistavassa *SSAB Raahen* tehtaassa on tehokkaan valmistusprosessin ja energiatehokkaiden laitteiden lisäksi siirretty hyödyntämään tuotannon hukkalämpöjä. Lämpöä on sitoutunut muun muassa kaasuihin, höyryyn ja kuumaan veteen. Lämpöä riittää omassa prosesseissa hyödyntämisen lisäksi myös sähkön tuotantoon ja Raahen kaukolämpöverkkoon syötettäväksi. Hukkalämpöjen hyödyntäminen on vähentänyt maakaasun ja muiden primääristen energianlähteiden tarvetta tehtaalla.

Case Lantmännen Agro

Lantmännen Agron kahdelle rehutehtaalle Ylivieskaan ja Kouvolaan asennettiin laitteet, jotka ottavat talteen lämpökäsittelystä jäähdytykseen tulevan rehun jäähdytysilman hukkalämpöä. Talteen otettu hukkalämpö hyödynnetään rehun valmistusprosessin aikaisemmissa vaiheissa. Lämmön talteenotto on vähentänyt tehtaiden primäärihöyryn kulutusta 20 %.

Hyödyntäminen rakennusten lämmityksessä

Rakennusten lämmityskustannukset muodostavat usein ison osan yritystoiminnan energiakustannuksista. Kun mukaan otetaan vielä käyttöveden lämmitys, niin osuus kasvaa entisestään. Käytännössä kaikkia hukkalämpöjä voidaan hyödyntää rakennusten lämmityksessä, lämmönvaihtimen tai lämpöpumpun avulla. Lämmitysjärjestelmä määrittelee vaadittavan lämpötilatason: vanha vesikiertoinen patterijärjestelmä tulee mitoittaa 70°C:lle, uudempi vesikiertoinen patteri noin 60°C:lle ja vesikiertoinen lattialämmitys 35°C:lle. Lämpimän käyttöveden tulee olla mitoitettu noin 65 °C:een. Hukkalämmöllä voidaan lämmittää myös ilmanvaihdon kautta sisään tulevaa ilmaa.

Haasteena hukkalämmön käyttämiselle tilojen ja veden lämmityksessä on lämpötilatasojen lisäksi myös lämmön määrällinen riittävyys sekä ajallinen kohtaaminen lämmityskauden kanssa. Vaikka hukkalämmön lämpö nostettaisiin sopivalle tasolle lämpöpumpun avulla, on usein tarpeellista jättää olemassa oleva lämmityslaitteisto varalämmitysjärjestelmäksi tai varustaa laitteisto uudella varalämmitysjärjestelmällä, esimerkiksi tuotannon keskeytyksiä ja huippukulutuspiikkejä varten.

Hukkalämpöä voidaan käyttää myös hyödykkeiden, kuten sähkön, jäähdytyksen tai höyryn, tuottamiseen. Hukkalämmön hyödyntäminen sähköntuotannossa on kannattavaa silloin kun korkealämpöistä hukkalämpöä syntyy paljon eikä sille ole muita mielekkäitä käyttökohteita. Teknologioita sähkön tuottamiseen on useita, mutta toistaiseksi niiden hyötysuhteet ovat melko matalat. Hyödynnettävältä hukkalämmöltä vaaditaan kohtalaisen korkeita lämpötiloja, teknologiasta riippuen noin 100–250°C lämpötilatasoja. Tuotannossa muodostuvaa korkealämpötilaista hukkalämpöä voi hyödyntää myös esimerkiksi absorptiolämpöpumpulla tuottamaan jäähdytystä omiin tarpeisiin. Yleisesti käytössä olevan tekniikan kannattavuuden edellytyksenä on halpa ylijäämälämmönlähde, kuten kuuma vesi tai höyry.

Case Ullan Pakari

Ullan Pakari rakensi Hyvinkäälle uuden ja energiatehokkaan leipomon Porissa ja Hyvinkäällä tehtyjen energiataarkastelujen pohjalta. Tärkeää oli sijainti kaasuverkoston lähetyillä, jotta leipomoon oli mahdollista saada kaasulla toimivat uunit. Maa- tai biokaasulla toimivien uunien hukkalämpö hyödynnetään tilojen lämmitykseen vesivaraajien kautta. Lisäksi kannattavaksi todettiin LED-valaistuksen asentaminen sekä kahden pienen tuulivoimalan rakentaminen leipomon katolle.

Case Luotsinmäen jätevedenpuhdistamo

Luotsinmäen jätevedenpuhdistamolla Porissa puhdistetusta jätevedestä otetaan lämpöpumpun ja lämmönsiirtimen avulla lämpö talteen ja hyödynnetään omien rakennusten lämmityksessä. Lämpö ohjataan lämmityskiertoon energiavaraajan kautta, jossa on lisäksi sähkövastukset. Jätevedenpuhdistamolla on myös öljylämmitys varajärjestelmänä, mutta sen käyttö on vähentynyt merkittävästi lämpöpumpuinvestoinnin jälkeen.

1.4.2. Hyödyntäminen teollisuusalueella

Kun hukkalämpöä syntyy niin paljon, ettei yritys pysty sitä yksin hyödyntämään, lämpöä voi jakaa teollisuusalueen muiden toimijoiden kesken. Teollisessa yhteisössä tai energiayhteisössä hukkalämpö ei automaattisesti toimi myytävänä tuotteena, vaan yhteistoimintaa hyödyttävänä hyödykkeenä. Hukkalämmön myynnistä ei välttämättä muodostu tuloja, mutta säästöjä muodostuu esimerkiksi ylläpitokustannusten pienemisestä.

Tällaisia yhteisiä käyttökohteita voivat olla teollisuusalueen tai teollisuuspuiston teiden, parkkipaikkojen ja muiden kulkuväylien sulana pito talvella. Kulkuväylien sulana pidolla voidaan vähentää yhteisiä hiekotus- ja aurauskustannuksia sekä vähentää liukastumisesta johtuvia tapaturmia. Maahan asennettavissa putkistoissa voidaan hyödyntää melko matalalämpöistä, tyypillisesti noin 35 °C asteista hukkalämpöä, kuten esimerkiksi lauhdelämpöjä. Hukkalämpöjä hyödyntävillä lämmitysjärjestelmillä väylät pysyvät sulana noin -15 celsiusasteen pakkasiin asti.

Esimerkiksi teollisuusalueella yritykset voivat yhdessä päättää yhteisen aluelämpöverkon rakentamisesta, johon jokainen voi sekä syöttää että hyödyntää lämpöä. Samalla toimijat voivat keskenään sopia lämmön hinnoittelumalleista. Lämpösektorilla ei ole samanlaista sääntelykehystä kuin sähköllä, jossa esimerkiksi aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä ei voi siirtää suoraan naapurille. Toisaalta vakiintuneen sääntelyn puuttuessa, toimijoilla ei välttämättä ole samanlaista innostusta liittyä energiayhteisöön. Tämä on havaittu haasteeksi myös Työ- ja elinkeinoministeriössä, joka *energiayhteisöryhmän loppuraportissa* suosittelee sektori-integraation ja energiayhteisöjen toimintaedellytysten edistämistä erityisesti lämpöjen hyödyntämisen osalta niin kansallisessa kuin kansainvälisessä säädösvalmistelussa. Tulevaisuudessa lämpöön perustuvan energiayhteisöön liittymiseen saattaa siis tulla nykyistä huomattavasti enemmän ohjeistusta ja sääntelyä.

Case kaupunkien katujen sulanapito

Kaupunkien katuja on sulatettu pitkään kaukolämmön paluveden ylijäämälämmöllä. Mitä matalampi on laitokselle palaavan veden lämpötila, sen tehokkaampaa polttoon perustuvan kaukolämmön tuotanto on. Kaukolämmön sijaan lämmönlähteenä voidaan käyttää myös yksittäisten rakennusten tai teollisuuskohteiden hukkalämpöjä. Teollisuusalueilla ja yksittäisissä yrityksissä alueiden sulana pitoa on tutkittu useissa opinnäytetöissä esimerkiksi *Vertic Zink Oy*:llä ja *Kemijärven biojalostamolla*.

Case Turun Ylioppilaskylä

Turku on EU rahoitteen RESPONSE-hankkeen majakkakaupunki. Hankkeessa Turun Ylioppilaskylästä tehdään energiapositiivinen alue. Lämpöenergian lähteinä toimivat kaukolämpö, rakennusten poistoilman lämmöntalteenotto sekä kaukokylmäverkon ylijäämälämpö. Hallinnasta vastaa energianohjausjärjestelmä. Tavoitteena on, että alueen tuottama ylijäämälämpö voitaisiin syöttää kaukolämpöverkkoon muiden asiakkaiden käytettäväksi. Lisäksi alueella tuotetaan muun muassa aurinkosähköä. Ylioppilaskylän lämmöntuotanto- ja -jakojärjestelmästä vastaa *Högfors GST*.

1.4.3. Hyödyntäminen toisen organisaation toimesta

Mikäli hukkalämmön tuotanto on hyvin runsasta ja tuotanto sijaitsee kaukolämpöverkon tai muun lämpöä tarvitsevan toimijan läheisyydessä, voidaan lämpöä myydä näille toimijoille. Tällöin hukkalämpö toimii myytävänä sivuvirtana.

Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa yleisty jatkuvasti. Vuonna 2022 Suomen kaukolämmöstä noin 12 % tuotettiin hukkalämmöllä. Kasvava trendi tulee jatkumaan, sillä valtaosa kaukolämpöyhtiöistä on kiinnostunut hyödyntämään hukkalämpöjä verkossaan, mikäli sopivia kohteita löytyy. Kaukolämpöyhtiöt ovat myös miettineet uusia sopimusmalleja asiakkailleen, jotka sekä tuottavat että kuluttavat kaukolämpöä eli toimivat niin sanotussa kaksisuuntaisessa kaukolämpöverkossa.

Pohdittaessa hukkalämmön hyödyntämistä kaukolämpönä, tulee huomioida tiettyjä asioita. Ensimmäisenä tulee huomioida vaadittavat lämpötilatasot. Kaukolämmön mitoituslämpötila on 120°C. Kesällä kaukolämpöveden lämpötila on noin 80°C ja talvella yli 100°C. Pääsääntöisesti hyödynnettävän hukkalämmön tulisi saavuttaa nämä lämpötilat joko valmiiksi, lämpöpumpun avulla tai muulla kuumalla, kuten höyryllä lisälämmittäen eli priimaten. Uusien ohjeistuksien mukaan kaukolämmön mitoituslämpötilaa lasketaan kohti 90°C, kunhan kuluttajapuolella ensin investoidaan rakennusten energiatehokkuuteen sekä matalampia lämpötilatasoja hyödyntäviin kaukolämmönvaihtimiin ja lämmönjakolaitteisiin. Uudisrakentamisessa rakennusten energiatehokkuus ja matalammilla lämpötilatasoilla toimivat lämmönjakolaitteistot ovat pakollisia.

Toisena on huomioitava lämmön tuotannon tasaisuus. Mikäli ylijäämälämpöä ei muodostu tasaisesti vuorokauden ja vuoden ympäri, vaatii kaukolämpöverkoston lämpötilan ylläpito enemmän työtä. Kaukolämpöyhtiöt ovat erityisen kiinnostuneita hukkalämmönlähteistä, jotka tuottavat tasaisesti vuoden ympäri noin 120°C lämpöä. Kaukolämpöverkkojen yksilöllisyys mahdollistaa kuitenkin monenlaisten hukkalämmönlähteiden hyödyntämisen. Tämän vuoksi kannattaa olla aikaisessa vaiheessa yhteydessä oman alueen kaukolämpöverkostaan operoivaan toimijaan ja selvittää heidän kiinnostustaan hukkalämmön ostamiseen.

Hukkalämpöä voi myydä myös muille toimijoille kuin kaukolämpöyhtiöille, mikäli kysyntä ja tarjonta saadaan kohtaamaan. Myös uutta liiketoimintaa voi muodostua juuri sinne, missä edullista lämpöä on runsaasti saatavilla. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa erilaiset kuivaustoiminnot, kasvihuonetuotanto, kalankasvatus sekä hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmastasta. Lämmön hinta on aina erikseen neuvoteltava osapuolien välillä. Hukkalämpöjä hyödyntävät ja primäärienergian kulutusta vähentävät ratkaisut tuovat toimijoille taloudellisen hyödyn lisäksi positiivista yrityskuvaa.

Case Honkatarhat

Honkajoella sijaitseva *Honkatarhat Oy* tuottaa yrttejä ja salaatteja kasvihuoneissa tuotenimellä Vihreä Keiju. Kasvihuoneissa tarvittava lämpö saadaan muiden alueen yritysten, kuten Honkajoki Oy:n lauhdelämmöstä aluelämpöverkon kautta. Hukkalämmön hyödyntäminen neljän hehtaarin kasvihuoneissa vähentää merkittäviä määriä primäärienergian tarvetta.

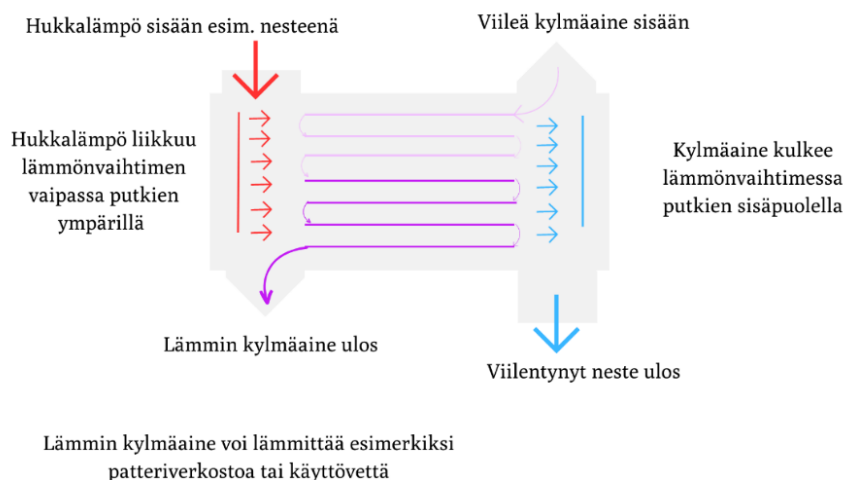
Lisää esimerkkejä toteutetuista hukkalämmön hyödyntämistoimenpiteistä löytyy liitteestä 1.

2. Tekniset ratkaisut

Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti keskeisimpiä teknisiä ratkaisuja hukkalämpöjen hyödyntämiseksi. Oppaassa sekä liitteessä 1 esitellyt case-esimerkit perustuvat pääasiassa seuraavaksi esiteltyihin ratkaisuihin sekä niiden sovelluksiin.

2.1. Lämmönvaihtimet

Lämmönvaihdin tai lämmönsiirrin on laite, jossa lämpö siirtyy kahden eri lämpötilassa olevan aineen välillä ilman, että aineet sekoittuvat keskenään. Lämpötilaero pyrkii fysiikan lakien mukaisesti tasoittumaan aineiden välillä niin, että lämpö siirtyy korkeamman lämpötilan aineesta matalamman lämpötilan aineeseen, johtumalla lämmönsiirtimen materiaalin läpi. Lämmönvaihtimia on useita erilaisia riippuen muun muassa käytettävistä aineista ja lämpötiloista. Tässä ei tarkemmin paneuduta erilaisiin lämmönsiirtimiin tai niiden ominaisuuksiin. Esimerkkinä lämmönsiirtimen toimintaperiaatteesta toimii kuva 3, joka kuvaa erään lämmönsiirtimen toimintaperiaatetta. Lämmönsiirtimiä voi hyödyntää esimerkiksi ilman, veden sekä muiden nesteiden ja kaasujen lämmitykseen tai jäähdytykseen.

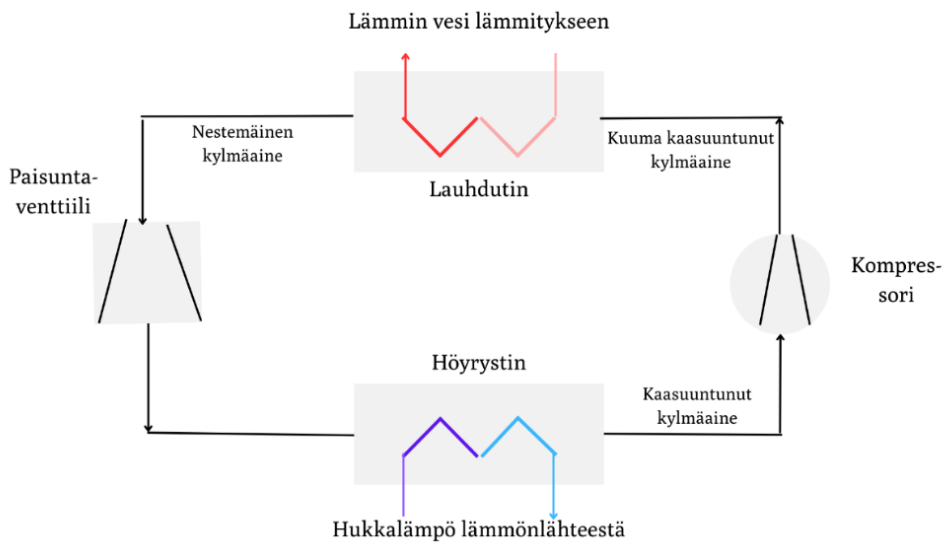


Kuva 3. Erään lämmönvaihtimen toimintaperiaate. Tekijä: Julia Pihlavisto-Hakala

Erilaisia lämmönvaihtimia Suomessa valmistavat tai myyvät muun muassa *YTM-Industrial, AxFlow, SSG Sahala, Alfa Laval, Vahasilta, Termihaukka, Högfors GST, Finnstainless ja Ecowec.*

2.2. Lämpöpumput

Lämpöpumppu on laitteisto, joka sähköä hyödyntämällä voi siirtää lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Lämpöpumppu vaatii toimiakseen lämmönlähteen, kuten hukkalämpövirran. Yksinkertaisimmillaan kahdesta lämmönvaihtimesta, kaasukompressorista sekä kuristimesta koostuvan laitteiston sisällä kiertää lämmönsiirtoneste suljetussa piirissä, eli lämpöä vaihtavat aineet eivät sekoitu keskenään. Yksinkertaisen lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Lämpöpumpun toimintaperiaate. Tekijä: Julia Pihlavisto-Hakala.

COP (Coefficient Of Performance) eli lämpöpumpun lämpökerroin kuvaa lämpöpumpun tehokkuutta eli hyötysuhdetta. Se kertoo, kuinka tehokkaasti lämpöpumpun käyttämä sähköteho saadaan muutettua lämpötehoksi. Esimerkiksi COP 5, tarkoittaa että lämpöpumppu tuottaa 1kW sähköenergialla 5 kW lämpöenergiaa, eli lämmöntuotanto on viisinkertainen kulutettuun sähkötehoon nähden. COP-luku saadaan testaamalla lämpöpumppua standardiolosuhteissa. Lisäksi lämpöpumpuille ilmoitetaan tarkempi SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance) eli lämmityskauden lämpökerroin, joka ottaa huomioon neljän eri lämmityskauden lämpötilavälit ja mitoituskuormat. Mitä suurempia COP- ja SCOP- luvut ovat, sen tehokkaammin pumppu tuottaa sähköstä lämpöä. Luvut siis auttavat eri laitteiden vertailussa. Keskeisempi ja laskennoissa käytettävä luku on COP. Alla on esitetty yksinkertainen laskukaava lämpöpumpun COP-luvun laskemiseen.

$$COP = \frac{\text{pumpusta saatava lämpöteho [kW]}}{\text{pumpun kuluttama sähköteho [kW]}}$$

Tehokkaimmillaan lämpöpumput ovat silloin, kun lämpötilan nosto on pieni. Hukkalämmöstä hyötyenergiaa-hankkeessa toteutetussa selvityksessä *"Esiselvitys teollisten hukkalämpöjen hyödyntämisestä Kokemäen kaukolämpöverkossa"* on tarkasteltu kahden erilaisen hukkalämmönlähteen hyödyntämistä kaukolämmön tuotannossa lämpöpumpun avulla. Samanlaisen lämpöpumpun tehokkuudessa on selkeä ero riippuen hukkalämmön lähtölämpötilasta. Vaikka molemmissa kohteissa lämpötila oli sopiva kaukolämpöverkkoon syötettäväksi, yhdessä kohteessa lämpöpumpun laskennallinen COP 4,7 ja toisessa kohteessa laskennallinen COP 3,3, sillä lämpötilaero kohteisiin mitoitettujen laitteiden

välillä oli 20 °C. Tehokkaat teollisen mittaluokan lämpöpumput, jotka hyödyntävät hukkalämpöä, ovat COP-arvoltaan tyypillisesti noin 4–6.

Uudet kuumalämpöpumput voivat tuottaa jopa yli 100°C lämpöä kohtuullisella hyötysuhteella. Esimerkiksi *Calefan HotLevel*-kuumalämpöpumppu voi tuottaa 20–90°C lämmönlähteestä 90–130°C lämpöä. Yleisesti lämpöpumppujen hyötysuhde on parempi, jos tuotettava lämpötila on matalampi. Jatkuvasti kehittyvä tekniikka mahdollistaa matalalämpöisten hukkalämpöjen hyödyntämisen entistä tehokkaammalla tavalla.

Absorptiolämpöpumppuja hyödynnetään tyypillisesti jäähdytyksen tuottamiseen. Sähkön sijaan, pääasiallisena energialähteenä toimii lämpö. Absorptiolämpöpumppu on mekaanista lämpöpumppua monimutkaisempi laitteisto, sillä se koostuu lämmön siirtimen ja kompressorin lisäksi generaattorista, imeytimestä sekä höyrystimestä. Lämpöpumpun toiminnan kannalta hukkalämmöltä vaadittava lämpötila lämmönlähteeksi on vähintään 80 °C. Absorptiolämpöpumppua voi hyödyntää myös lämmitykseen. Absorptiolämpöpumpuista kerrotaan tarkemmin esimerkiksi hankkeessa aikaisemmin julkaistussa raportissa "*Hukkalämmön hyödyntäminen kylmän tuottamisessa*".

Suomessa teollisen mittaluokan lämpöpumppuja valmistavat tai myyvät muun muassa *Calefa*, *Suomen Tekojää*, *Oilon*, *Finess*, *Johnson Controls*, *Nibe*, *Alfa Laval*, *Caverion*, *Condens* sekä *Carrier*.

2.3. Kaukolämpöratkaisut

Kaukolämpöverkko on suljettu kierto, eli verkon sisällä kulkeva lämmönsiirtoneste saa lämpönsä voimalaitokselta tai hukkalämpölähteestä lämmönsiirtimien kautta ja luovuttaa lämmön kiinteistöille kiinteistökohtaisten lämmönsiirtimien kautta. Voimalaitoksen, kaukolämpöverkon ja kiinteistöjen lämmityspiirit eivät siis sekoitu keskenään, ne ainoastaan siirtävät lämpöä. Tilannetta havainnollistaa kuva 5. Kaukolämpöverkot ja -lämmönvaihtimet ovat hyvin automatisoituja, eikä asiakkaan juurikaan tarvitse säätää omia lämmönvaihtimiaan. Kaukolämpöyhtiö ja kaukolämmön tuottajat huolehtivat lämmön riittävydestä sekä lämpötilatasoista koko kaukolämpöverkon alueella.

Kaukolämpöverkkoja kehitetään siihen suuntaan, että niiden rinnalle tulee *matalalämpöverkkoja*, joissa verkon lämpötila on nykyisen 80–120°C sijaan noin 65–70°C. Tämä on mahdollista silloin kun verkon ympärille rakennetut uudis- tai saneerauskohteet on rakennettu energiatehokkaiksi ja niiden lämmitysjärjestelmät mahdollistavat matalampien lämpötilatasojen hyödyntämisen. Lisäksi kuten jo aikaisemmin mainittiin, varsinaisten kaukolämpöverkkojen mitoituslämpötilaa lasketaan kohti 90 °C.



Kuva 5. Kaukolämmön suljettu kierto. Tekijä: Julia Pihlavisto-Hakala.

Case Ito

Porvoonlinen *Ito* on kehittänyt PIP3-menetelmän, jossa rakennusten lämmittämisessä käytetään kaukolämpöverkon paluuputken lämpöä. Tämä tapahtuu rakennuskohtaisella kaukolämpöjärjestelmällä,

jossa on tavallisen kahden putken (lämmitys ja käyttövesi) sijaan kolme putkea (2 lämmitysputkea ja käyttövesi) kaukolämpöverkosta kiinteistöön. Paluuputken lämmön hyödyntäminen parantaa polttoon perustuvien voimalaitoksien savukaasulauhduttimien toimintaa sekä mahdollistaa matalampilämpöisten hukkalämpöjen syöttämisen myös verkon paluuputkistoon. Järjestelmä on tällä hetkellä käytössä esimerkiksi Porvoon Keskuskoululla.

Case Fortum

Kaukolämpöverkkoja pääkaupunkiseudulla operoiva *Fortum* on auttanut esimerkiksi Tiedon, Elisan ja Ericssonin datakeskuksia sijoittumaan Espooseen sekä Kirkkonummelle. Palvelinkeskukset on sijoitettu kaukolämpöverkon varteen ja ne on suunniteltu hukkalämpöjen hyödyntämisen kannalta järkeviksi. Nämä keskuskeskukset tuottavat vuosittain noin 30 GWh lämpöä kaukolämpöverkkoon.

2.4. Lämmön varastointi

Tässä kappaleessa käsitellään sellaisia lämpöenergian varastointimenetelmiä, joissa energia ladataan ja puretaan lämpöenergian. Lämpöä voidaan *varastoida* eri menetelmillä riippuen siitä, mikä on latauksen ja purun välinen aika. Kun varasto ladataan ja puretaan saman vuorokauden tai viikon sisällä, puhutaan lyhyen ajan varastosta. Silloin kun varastointiaika on viikkoja tai kuukausia, puhutaan keskipitkän ajan varastosta. Kun lataus ja purkaminen tapahtuvat useiden kuukausien aikana, puhutaan kausivarastoinnista.

Varastointiratkaisut voidaan jakaa lämpöä varastoivan materiaalin mukaan vesi-, mineraali- ja maaperäpohjaisiin ratkaisuihin. Ratkaisun valinta riippuu varastointiajasta, lämmön saatavuudesta sekä tarpeesta ja käytettävissä olevista ratkaisuista. Lämmön ja energian varastointia kehitetään jatkuvasti. Tässä kappaleessa käsitellään ainoastaan lämmön varastointia lämpönä. Laajemmin sähkön ja lämmön varastoinnista lämpöenergian kerrotaan esimerkiksi opinnäytetyössä "*Lämpöenergian varastointimenetelmien nykytilanne ja tulevaisuuden näkymiä*".

2.4.1. Vesipohjainen varastointi

Vesi on ominaisuuksiltaan erinomainen väliaine lämmön varastointiin, sillä se sitoo itseensä hyvin lämpöä, lämpötilaskaala on painetta hyödyntämällä laaja ja sitä on saatavilla runsaasti. Vesi myös kerrostuu lämpötilan mukaan, joten varastosta on mahdollista purkaa lämpöä monessa eri lämpötilassa. Vesipohjaisissa ratkaisuissa lämpö voidaan varastoida esimerkiksi vesisäiliöön, luolavarastoon tai merivesivarastoon. Kuumen- ja lämpimän veden luola- ja merivesivarastoja voi hyödyntää kausivarastona ja pienempiä säiliöitä lyhyen ajan varastona myös yksittäisissä yrityksissä.

Case Valio

Valion Lapinlahden tehtaalla valmistetaan muun muassa juustoja sekä maitojauhetuotteita. Paljon energiaa vaativien prosessien energiankulutuksen vähentämiseksi vuonna 2022 toteutettuun investointiin kuului biolämpölaitoksen savukaasulauhdutin, lämpöpumppu, lämmönjakoverkoston laajennus sekä puskurisäiliö. Vedellä täytetty 180 m³ vesisäiliö lämpenee savukaasulauhduttimen ja lämpöpumpun yhdessä tuottamalla kuumalla vedellä. Puskurisäiliön tarkoituksena on nimensä mukaisesti puskuroida lämmön tuotannon ja kulutuksen vaihteluita. Koko investoinnin on laskettu vähentävän tehtaan energiankulutusta noin 10 %:lla, joka tarkoittaa noin 25 000 MWh vuotuisia säästöjä lämmönkulutukseen.

Case Vaskiluoto

Vaasan *Vaskiluodossa* voimalaitoksen alla sijaitsevat maanalaiset entiset öljyvarastot valjastettiin lämmön kausivarastoiksi, kun ne täytettiin vedellä. Vaskiluodon voimalaitos tuottaa pääasiassa paikallisesta biomassasta sekä sähköä että kaukolämpöä, ja varaston avulla laitos voi toimia tasaisella kuormalla myös kesällä. Yhteistilavuudeltaan 210 000 m³ varastot voidaan ladata ja purkaa 100 MW teholla. Veden lämpötila vaihtelee 45–90 °C:een välillä. Tällöin varastointiteho on 7 000–9 000 MWh. Varastoa ladataan eli vettä lämmitetään kesäaikana, kun kaukolämmön kysyntä on vähäisempää. Purku varastosta tapahtuu

silloin, kun kaukolämmön tarve on suurimmillaan kovilla pakkasilla. Lämpövarasto tasapainottaa kulutushuippuja, jolloin kivihiilestä luopuminen on ollut mahdollista. Tulevaisuudessa varastoa päivitetään vastaanottamaan teollisia hukkalämpöjä sekä latautumaan sähkön tuotantohuippuina erillisten sähkökattiloiden avulla.

2.4.2. Mineraalipohjaiset ratkaisut

Mineraalipohjaiset ratkaisut hyödyntävät nimensä mukaisesti mineraaleja, kuten hiekkaa, lämmön varastointiin. Etuna on, että joitain mineraaleja voidaan lämmittää sähkövastuksilla satoihin asteisiin höyrystymättä ja yhdistää sähkönvarastointi hukkalämpöjen hyödyntämiseen.

Case Vatajankoski

Vuonna 2020 kaukolämpöverkkoa Kankaanpäässä operoiva *Vatajankoski Oy* rakensi lämpölaitoksensa viereen pienimuotoisen datakeskuksen, jonka noin 60 asteista hukkalämpöä syötetään kaukolämpöverkkoon. Datakeskuksen matalalämpöistä hukkalämpöä priimataan, eli sen lämpötilaa nostetaan kaukolämpöverkon vaatimalla tasolle, hiekka-akusta saatavan lämmön avulla. Hiekka-akku on hiekalla täytetty säiliö, jossa on sähkövastukset, jotka voivat lämmittää hiekkaa useisiin satoihin asteisiin. Säiliössä on ilmaputket, jotka luovuttavan lämmön lämmönsiirtimen kautta hukkalämmölle ja siitä kaukolämpöverkkoon. Akkua ladataan, kun sähkö on edullista ja puretaan aina silloin kun kaukolämpöverkko sitä vaatii. Järjestelmä mahdollistaa myös akun yhtäaikaisen latauksen ja purun.

2.4.3. Maaperäpohjaiset ratkaisut

Maaperäpohjaisia ratkaisuja hyödynnetään pienessä mittakaavassa omakotitaloissa ja muissa kiinteistöissä energiantuotannossa maalämpönä matalien porareikien avulla. Suuremmissa mittakaavassa keskisyviä ja syviä porakaivoja voidaan hyödyntää maalämmön lisäksi myös lämmön kausivarastointiin. Halutuista lämmön ominaisuuksista riippuen kaivoja voidaan porata eri syvyyksiin.

Case Finn Spring

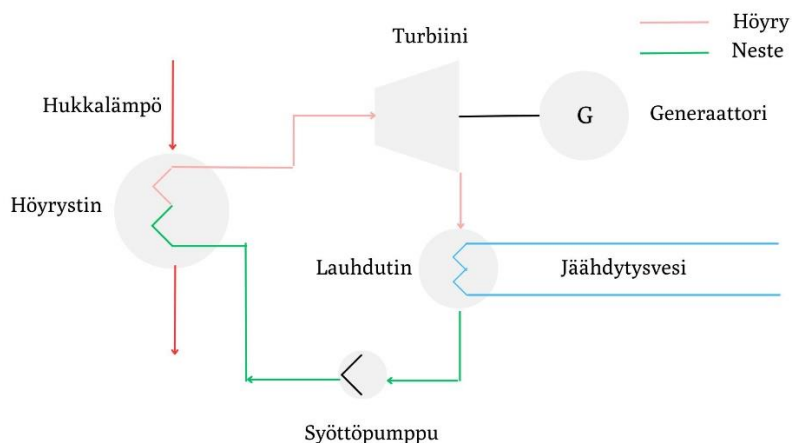
Virvoitusjuomatehdas *Finn Springillä* kompressorit tuottavat hukkalämpöä, joka varastoidaan 60–70 asteisena pihalla sijaitseviin noin 50 metriä syviin kaivoihin, ja varastoi lämpöä maa- ja kalliooperään lämpöakkuun. Talvella kun lämpöä tarvitaan, kausivarastosta puretaan rakennusten lämmittämistä varten. Hukkalämmöllä lämmitetään myös viereistä uimahallia. Lämpöä saadaan kompressorien lisäksi myös aurinkokeräimiltä, joita hyödynnetään kesäaikaan rakennusten lämmitykseen tai lämpöakun lataamiseen.

2.5. Sähkön tuotanto

Lämpöjen ja erityisesti hukkalämpöjen hyödyntäminen sähkön tuotannossa on ollut tutkimuksen kohteena jo pitkään. Esimerkkejä kaupallisessa käytössä olevista sähkön tuotannon teknologioista ovat muun muassa ORC eli Organic Rankine Cycle sekä TEG eli lämpösähköinen generaattori. Näiden lisäksi kehitteillä on useita muita tekniikoita.

2.5.1. Organic Rankine Cycle eli ORC

ORC eroaa tavallisesta sähköntuotannon Kaline-kierrosta, sillä että veden sijasta kiertoaineena käytetään lämpötilaan soveltuvaa orgaanista ainetta, kuten tolueenia, isobutaania tai erilaisia silikoniöljyjä. Yksinkertaistettu prosessi on esitetty kuvassa 6. ORC-prosessi voi hyödyntää pakokaasuja, prosessilämpöjä, ylijäämälämpöjä tai lähes mitä tahansa yli 350 °C:een lämmönlähdettä. Jopa reilu 100 °C hukkalämpöjä voi hyödyntää sähkön tuotannossa, mutta hyötysuhde on merkittävästi alhaisempi kuin korkeita lämpötiloja hyödynnettäessä. Korkeissa lämpötiloissa saatetaan saavuttaa jopa 45 % hyötysuhde. Maailmalla on tällä hetkellä käytössä yli 2,7 GW asennettua kapasiteettia noin 700 tunnitetussa laitoksessa.



Kuva 6. ORC:n toimintaperiaate. Tekijä: Julia Pihlavisto-Hakala.

Case Viikinmäen jätevedenpuhdistamo

Helsingin seudun ympäristöpalveluiden omistaman *Viikinmäen jätevedenpuhdistamon* yhteydessä on puhdistuslietteen mädätys laitos sekä neljä kaasumootoria. Vuonna 2014 yhteen kaasumootoriin asennettiin ORC-laitteisto. Laitteiston tuottama sähkö käytetään prosessisähköinä. Arvioiden mukaan jätevedenpuhdistuslaitoksen sähköomavaraisuus on yli 70 % ja investoinnin takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta.

2.5.2. Lämpösähköinen generaattori eli TEG

Lämpösähköinen generaattori eli *TEG* hyödyntää johtimien välille muodostuvaa lämpötilaeroa jännitteen tuottamiseen. Usein polttomootoreiden yhteydessä käytetty yksinkertainen laite parantaa polttoaineen hyötysuhdetta. Pienikokoista tekniikka on testattu ja hyödynnetty muun muassa polttomootoriautoissa, joissa hukkalämpöä voidaan hyödyntää jäähdytinnesteestä tai pakokaasuista. TEG on hyötysuhteeltaan tyypillisesti noin 5–8 % johdinparin johtokyvystä riippuen. Tekniikkaa voidaan hyödyntää myös voimalaitoksissa.

3. Ohjeita hukkalämpöjen hyödyntämiseen

Kuten kaikki investoinnit, hukkalämpöjen valjastaminen hyötyenergiaksi vaatii aikaa, rahaa ja muitakin resursseja. Tiedonkeruuseen ja kohdekohtaiseen suunnitteluun tulee panostaa, sillä huolimattomasti läpiviedyt investoinnit aiheuttavat usein ongelmia pitkällä aikavälillä. Tässä kappaleessa on esitetty ohjeita hukkalämpöjen hyödyntämiseen liittyvän investoinnin läpiviemiseen. Ohjeet on koottu yhteenvedoksi kuvaan 7.

Ohjeita hukkalämpöjen hyödyntämiseen

1. Tarkista laitteiden ja prosessin toimivuus
2. Mittaa, analysoi ja laske hukkalämpövirrät
3. Mieti hyödyntämiskohteet
4. Asiantuntija apuun
5. Tutki tukimahdollisuuksia
6. Toteuta investointi rohkeasti
7. Kerää tietoa järjestelmän toimivuudesta
8. Tiedota tehdyistä ratkaisuista

Kuva 7. Ohjeita hukkalämpöjen hyödyntämiseen.

3.1. Tarkista laitteiden ja prosessin toimivuus

Hukkalämmön hyödyntäminen on lähtökohtaisesti prosessin optimointia. Energian kulutus seurannan tehostamisella sekä automaatiojärjestelmien asetusarvojen tarkistamisella ja optimoinnilla voidaan parantaa energiatehokkuutta ja saada aikaan säästöjä jopa ilman investointeja. Rikkinäiset tai vuotavat laitteet ja mittarit tai muut poikkeavuudet prosessin toiminnassa vaikuttavat prosessin perustoiminnan lisäksi paitsi saatavilla olevan hukkalämmön määrään ja sen arviointiin, myös sen mahdollisiin hyödyntämiskohteisiin. Mikäli prosessissa havaitaan korjausvaatimuksia, tulee ne hoitaa kuntoon ennen hukkalämpöjen hyödyntämisen suunnittelua. Laitteiston tunteminen, mahdollisten vikojen korjaaminen sekä kokonaisuuden tarkastelu varmistavat kokonaisuudeltaan järkevän lopputuloksen. Tällöin välttyään myös osaoptimoineilta.

3.2. Mittaa, analysoi ja laske hukkalämpövirrät

Hukkalämmön hyödynnettävyyteen liittyy usea tekijä, kuten lämpötila, virtaus sekä väliaineen kemiallinen koostumus ja puhtaus (katso kappale 1.2). Mikäli yrityksen sisällä ei ole aikaa tai riittävää osaamista mittaamisen ja laskennan suorittamiseen, voi apua saada insinööritoimistoilta sekä yliopistoilta ja korkeakouluilta opinnäytteinä. Apua on mahdollista saada myös *energiakatselmuksesta*. Luotettava ja tarkka laskenta on onnistuneen hukkalämpöinvestoinnin edellytys.

3.3. Mieti hyödyntämiskohteet

Käymällä läpi kaikki kohteet, joihin lämpöä kuluu, voi löytää hukkalämmölle sopivan hyödyntämiskohteen. Tehokkainta hukkalämpöjen hyödyntäminen on prosessin sisällä sekä oman yrityksen tilojen lämmityksessä. Yrityksen toiminnasta, sijainnista, hukkalämpöjen määrästä ja muusta lämmön kulutuksesta riippuu, mihin hukkalämpöä kannattaa hyödyntää. Prosessin ja laitteiden osalta paras osaaminen löytyy yleensä talon sisältä, mutta hyödyntämiskohteiden vertailussa kannattaa luottaa ulkopuoliseen apuun. Muiden yritysten esimerkkejä seuraamalla voi myös hahmottaa, millaisilla hyödyntämisratkaisuilla voidaan saada kannattavia tuloksia.

3.4. Asiantuntija apuun

Minkä tahansa laite- tai prosessi-investoinnin läpivienti vaatii runsaasti resursseja. Mikäli yrityksen sisällä ei ole riittävää osaamista, kannattaa apua hankkia esimerkiksi insinööritoimistoilta tai laitevalmistajilta. Asiantuntijan voi palkata projektin eri osiin tai vastaamaan kokonaisuudesta, sillä moni taho myy myös avaimet käteen -palveluja.

3.5. Tutki tukimahdollisuuksia

Energiatehokkuuteen, päästöttömään lämmitykseen sekä kiertotalouteen siirtymiseen on viime aikoina ollut saatavilla investointitukea ja saman odotetaan jatkuvan. Yrityksen ja investoinnin koosta riippuen tukea voi saada esimerkiksi Business Finlandilta, ministeriöiltä, *Leader*-ryhmiltä ja paikallisilta *ELY-keskuksilta*. Tietoa tuista saa esimerkiksi soittamalla paikalliseen ELY-keskukseen. Lisäksi vihreään siirtymään tähtääviin investointeihin tarkoitettuja tuettuja lainoja saa haettua *Finnveralta*. *Energiatehokkuussopimukseen* liittyminen on ehto Business Finlandilta haettavan *energiatuen* saamiseksi. Energiatehokkuussopimuksen nettisivuilta löytyy myös liittyneiden tarinoita, joissa kerrotaan toteutetuista energiatehokkuusinvestoinneista.

3.6. Toteuta investointi rohkeasti

Investointeihin liittyä aina epävarmuuksia. Hukkalämmön hyödyntämiseen liittyvien investointien taloudellisen kannattavuuden kannalta merkittävimpiä tekijöitä ovat lämmitysenergian ja sähkön hinta, sekä niiden kehittyminen tulevaisuudessa. Hinnat ovat eläneet viime vuosina, joten hintojen kehityksen ennustaminen on vaikeaa. Laitteiston elinikä huomioiden, laskennallisesti alle 10 vuoden takaisinmaksuajan alittavat investoinnit kannattaa lähteä rohkeasti toteuttamaan!

3.7. Kerää tietoa järjestelmän toimivuudesta

Toteutetun investoinnin jälkeen mittauksia ja analysointeja on hyvä jatkaa. Näin varmistetaan laitteiston toimivuus. Samalla kun kerätään tietoa esimerkiksi säästetyistä energiamääristä ja säästyneistä euroista, saadaan tietoa investoinnin toteutuneesta takaisinmaksuajasta.

3.8. Tiedota tehdyistä ratkaisuista

Tärkeä osa investointipäätöksen tekemistä, on hyvien case esimerkkien ja referenssien luoma varmuus tekniikan toimivuudesta. Siksi toteutetuista hukkalämpöjen hyödyntämisinvestoinneista ja niiden onnistumisesta kannattaa kertoa julkisesti. Mitä tarkempaa tietoa pystyy kertomaan, sen helpommin muut uskaltavat lähteä tekemään vastaavanlaisia investointeja. Samalla saa myös positiivista julkisuutta niin alan toimijoiden kuin kuluttajienkin parissa!

Liite 1.

Esimerkkejä hukkalämpöjen hyödyntämisestä

Metsäteollisuus

Case: *UPM Korkeakoski*. Kahden kuivaamon poistoilmaan sitoutunut 55-asteinen hukkalämpö siirretään korkealämpöpumpulle, joka nostaa lämpötilan 90–100 asteeseen. Tämä lämpö syötetään lämpölaitoksen paluovesipiiriin, vähentäen veden lämmittämiseen vaadittavaa energiantarvetta. Talvella lämpöenergian saanti on ollut pullonkaula tuotannon kasvattamiselle, joka poistuu investoinnin myötä.

Case: *Rauman Biovoima*. Biovoimalaitos sijaitsee UPM Rauman paperitehtaan yhteydessä, tuottaen tehtaalle prosessihöyryä sekä raumalaisille kaukolämpöä ja sähköä. Biovoimalaitoksen polttoaineena toimii yli 90 %:sti bio- ja kierrätyspolttoaineet, kuten puun kuori, kierrätyspuu, metsätähteet sekä purkupuuta ja teollisuuden pakkausmateriaalit. Kuori kuivataan hyödyntämällä metsäteollisuuden lämpimiä jätevesiä.

Elintarviketeollisuus

Case: *Saarioinen Valkeakoski*. Tehtaalla suoritettiin energiakatselmus, jossa selvisi, että hukkalämpöä syntyy ja hukkuu runsaasti kylmälaitoksista sekä höyrykattilalaitoksista. Kylmälaitosten lauhdelämpö käytetään veden lämmitykseen ja maakaasukattilan savukaasujen ylijäämälämpö lämpöpumppujen avulla tehdasalueen lämmitykseen. Hukkalämpöhankkeilla ja muilla pienemmillä projekteilla Saarioinen on vähentänyt energiankulutustaan noin 10 %.

Palveluliiketoiminta

Case: *Uudenmaan sairaalapesula*. Poistoveden 40–70 asteisesta jätevedestä otetaan lämpöä talteen ja hyödynnetään lämpöä tuloveden lämmittämässä. Poistuvan veden lämpötila vaihtelee 9 °C ja 17 °C välillä. Hukkalämmön käyttö on vähentänyt oleellisesti lämmityshöyryn tarvetta ja energiaa säästyy noin 12 MWh vuorokaudessa.

Case: *Päijät-Hämeen Tekstiilihuolto Oy*. Tekstiilikuivurien 40–80 asteista hukkalämpöä alettiin hyödyntämään tekstiilikuivurin tuloilman esilämmityksessä lämmönsiirtimen avulla. Näin sisään tulevan ilman lämpötila ei enää vaihtelee -30 - +30 asteen välillä, vaan se saadaan huikkalämmön avulla tasoittumaan 50–80 asteen väliin ulkoilman lämpötilasta riippuen. Investoinnin jälkeen säästää kuivurin energiankäytöstä on saatu noin 50 % ja kuivausaika on lyhentynyt 25 %:lla.

Case: *Kauppakeskus Puuvilla*. Uutta kauppakeskusta suunniteltaessa energiatehokkuus haluttiin huomioida mahdollisimman kokonaisvaltaisesti, sillä suuren kauppakeskuksen jäähditys sekä lämmitys vaativat runsaasti energiaa. Siksi kauppakeskuksen alapuolelle porattiin 96 matalaa porakaivoa. Jäähdytykseen tarvittava lämpöenergia saadaan lämmityksen sivutuotteena ja lauhdelämpö varastoidaan maahan. Talvella maalämpö ja konejäähdityksen lauhteen varastoitu hukkalämpö lämmittävät kauppakeskuksen. Laskelmien mukaan Puuvillan kaikki toimenpiteet ovat käytön aikana kattaneet 98 % kauppakeskuksen lämmitysenergiatarpeesta.

Yhteiskunnalliset toiminnot

Case: *Porin Karhuhalli*. Porin Isomäen urheilukeskuksessa tekojään kylmäkoneiden lauhdelämmöllä lämmitetään vieressä sijaitsevaa yleisurheilu- ja palloiluhalli Karhuhallia. Kompressorin hukkalämmöllä lämmitetty vesi-glykoliseos johdetaan ilmanvaihtokoneen etulämmityspatteriin. Yksinkertainen järjestelmä säästää vuodessa noin 50 MWh lämmitysenergiaa.

Case: *Mussalon jätevedenpuhdistamo*. Puhdistetun jäteveden lämpötila on noin 8 astetta, mutta lämpöpumpun avulla lämpötilaa nostetaan rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen vaaditulle

tasolle. Yli 1 200 m² lämmitettävät tilat koostuvat esikäsitteily- ja verstasrakennuksista, toimistosta sekä lietteenkuivaustornista. Lämpöpumppujärjestelmän avulla jätevedenpuhdistamolla voidaan luopua kokonaan. Jätevedenpuhdistamolla käytetään yli 1 000 MWh lämpöä vuodessa, joten kyseessä on samalla merkittävä hiilidioksidipäästövähennys.

Case: *Kankaanpään uimahalli*. Kankaanpäässä uimahallin allasvedetlämpenevät 50 %:sti datalämmöllä. Uimahallin teknisessä tilassa on kahdeksan erikoisvalmisteista dataserveriä, joiden toiminta edellyttää jäähdytystä. Servereissä on sisään rakennettu nestekiertoinen jäähdytys, jonka ylijäämälämpö siirretään lämmönvaihtimella uima-altaiden lämmitykseen. Servereillä ei säilytetä dataa, vaan niiden teho myydään esimerkiksi suurteholaskentaan. Kankaanpäässä uimahalli toimi pienimuutoisena pilottikohteena ja nyt Kankaanpään kaukolämmöstä noin 30 % tuotetaan datakeskuksen hukkalämmöllä.

Energiantuotanto

Case: *Vuosaaren voimalaitos*. Vuosaaren kombivoimalaitoksella tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä maakaasusta. Lämmityskaudella 2022–2023 käyttöön otetaan lämpöpumppu, joka tuottaa voimalaitoksen jäähdytysvesien hukkalämmöistä sekä meriveden lämmöstä kaukolämpöä. Meriveden lämpöä hyödyntämällä lämpöpumpun vuotuista käyttöaikaa saadaan pidennettyä, joka tekee investoinnista kannattavamman.

Liite 2.

Esimerkki hukkalämpövirran laskennasta.

Yrityksen toiminnasta muodostuu jäähdytysvettä, jonka virtaama on 36 m³/h (= 0,01 m³/s). Veden lämpötila on 50 °C ja sitä suunnitellaan käytettäväksi vesikiertoiseen lattialämmitykseen. Lasketaan lämpöteho.

Lattialämmityksen mitoitusteho on 35°C + 5°C = 40 °C lämmönsiirtimen asteisuus. Lasketaan tiheys ja ominaislämpökapasiteetti alku ja loppulämpötilan puolivälin eli 45 °C arvoilla.

$$\Phi = q_v \times \rho \times C_p \times \Delta T, \text{ jossa}$$

$$\Phi = \text{lämpöteho [kW]}$$

$$q_v = \text{tilavuusvirta [m}^3/\text{s]} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = \text{tiheys [kg/m}^3] = 1 / 1,00989 \text{ cm}^3/\text{g} = 0,99021 \text{ g/cm}^3 = 990,21 \text{ kg/m}^3 \text{ (Taulukko 1)}$$

$$C_p = \text{ominaislämpökapasiteetti [kJ / (kg}\cdot\text{°C)}] \approx 4,05005 \text{ kJ / (kg}\cdot\text{°C)} \text{ (Taulukko 2)}$$

$$\Delta T = \text{lämpötilaero [°C]} = 10 \text{ °C}$$

$$\Phi = 0,01 \text{ m}^3/\text{s} \times 990,21 \text{ kg/m}^3 \times 4,05005 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)} \times 10 \text{ °C} = 401,04 \text{ kW}$$

Tässä tilanteessa jäähdytysveden massavirta olisi siis 9,9 kg/s. Pelkästään 10 asteen lämpötilaerolla lämpöteho on noin 400 kW. Jos laitos käy tasaisesti 8 tuntia vuorokaudessa, 5 päivänä viikossa eli noin 250 vuorokautta vuodessa, potentiaalinen lämpömäärä on:

$$400 \text{ kW} \times 8 \text{ h} \times 250 = 800\,000 \text{ kWh eli } 800 \text{ MWh}$$

Hukkalämmöstä saa hyötykäyttöön tätä pienemmän määrän erilaisten häviöiden vuoksi, mutta potentiaalia on merkittävään energiansäästöön laitoksen sisällä.

Taulukko 1. Veden lämpötilan suhde tiheyteen. Lähde: *Engineering toolbox*.

Temperature [°C]	Specific volume (0-100°C at 1 atm, >100 °C at saturation pressure)		
	[cm ³ /g]	[ft ³ /lb]	[gal(US liq)/lb]
35	1.00600	0.016115	0.11911
40	1.00785	0.016144	0.11889
45	1.00989	0.016177	0.11865
50	1.01210	0.016212	0.11839
55	1.01452	0.016251	0.11811
60	1.01709	0.016292	0.11781

Taulukko 2. Veden lämpötilan suhde ominaislämpökapasiteettiin. Lähde: *Engineering toolbox*.

Temperature [°C]	Isochoric Specific Heat (C _v)		
	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]
30	74.181	4.1175	0.001144
40	73.392	4.0737	0.001132
50	72.540	4.0264	0.001118
60	71.644	3.9767	0.001105