

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2024

Teemu Lammi

Selvitys hukkalämmön käyttömahdollisuuksista
Fiskarsin Pinjaisen tehtaalla



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

Opinnäytetyön valmistumisajankohta | 46 sivua

Teemu Lammi

Selvitys hukkalämmön käyttömahdollisuuksista Fiskarsin Pinjaisen tehtaalla

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä hukkalämpökartoitus Fiskars Finland Oy Ab Pinjaisen tehtaalle. Työssä listattiin mahdollisia teknisiä ratkaisuvaihtoehtoja eri hukkalämmön lähteille. Parhaat ratkaisumahdollisuudet eri hukkalämmön lähteille valittiin taloudellisen kannattavuuden, käyttö- sekä investointihelpouden perusteella. Työssä käytiin läpi Fiskarsin sekä itä- että länsipuolen tehdasyksikö.

Lämmönlähteitä etsittiin eri lämpökameroiden avulla ja henkilökuntaa haastatteleamalla. Merkittäviksi hukkalämmön lähteiksi länsitehtaalla todettiin Fiskarsin pajan puolen karkaisu-uunit ja niiden tuottama savukaasu. Itätehtaan puolella merkittäviä lämmönlähteiksi todettiin muovitusosaston kuivurihuoneen kuivurikoneet sekä maalaamon PTFE-linjan uuni.

Sekä itä- että länsipuolen hukkalämmöille etsittiin sopivia lämpöpumppu ratkaisumalleja. Kuivurihuoneen kanssa tehtiin alustavia lämpöpumppu mitoituksia. Länsipuolen lämpöpumppumitoituksen lisäksi esiteltiin eri vaihtoehtoratkaisumalleja karkaisu-uunien savukaasujen hyödyntämiseen

Työ tarkoituksena oli antaa Fiskarsille alustavaa tietoa tulevien lämpöpumppu investointien sekä mahdollisen kaukolämpöyhtiön yhteistyön kanssa.

Asiasanat:

Hukkalämpö, energiatehokkuus, omavaraisuus, lämpöpumppu

Bachelor's | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environment technology

Completion year of the thesis 2024 | number of pages

Author Teemu Lammi

A survey of the possibilities of using waste heat at Fiskars' factory at Pinjainen

The aim of the thesis was to make a waste heat mapping for Fiskars Finland Oy Ab factory, which is located in Pinjainen. The work listed possible technical solutions for different sources of waste heat. The best solutions were chosen based on economic profitability and ease of use and investment. The work involved going through Fiskars' east and west factory units. Heat sources were searched with the help of different thermal cameras and by interviewing the staff.

At the west factory unit, tempering furnaces and the flue gas produced by them were found to be a significant source of waste heat. At the East factory unit, the drying room of the plasticizing department and the oven of the PTFE line were found to be significant source of heat.

Suitable heat pump solutions were searched for both units. At the east factory unit, preliminary measurements for the heat pump were made. At west factory unit, in addition for heat pump measurements, alternative solutions to utilizing flue gases of the tempering furnaces were presented.

The purpose of the work was to provide Fiskars with preliminary information for future heat pump investments and possible cooperation with the district heating company.

Keywords:

Waste heat, energy efficiency. self-sufficiency, heat pump

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	7
1 Johdanto	8
2 Energiasäästömahdollisuudet teollisuudessa	9
3 Prosessienergian hyödyntäminen tuotannossa	10
3.1 Hukkaenergian määritelmä	10
3.2 Hukkalämmön lähteet	11
3.3 Hukkalämmön hyödyntäminen omassa tuotannossa	11
3.4 Hukkalämmön hyödyntämisen haasteet	12
3.5 Hukkaenergian hyödyntämisen menetelmät	13
3.5.1 COP-arvon merkitys lämpöpumppua valitessa	14
3.5.2 Lämpöpumput	16
3.5.3 Absorptiolämpöpumppu	18
3.5.4 ORC-teknologia	20
4 Hukkaenergian kartoitus tehtaalla	24
4.1 Itätehtaan esittely sekä hukkaenergia lähteet	24
4.1.1 Halli 1 (lähettämö ja kuivurihuone)	25
4.1.2 Halli 2 ja 3 (tuotanto)	31
4.1.3 halli 4 (PTFE-linja sekä kunnossapito)	31
4.2 Länsitehtaan esittely	33
5 Valittujen ratkaisujen toimintaperiaatteet	37
5.1 Itätehtaan toimintamalli ratkaisut	37
5.1.1 Halli 2 ja 3 poistoilmalämpöpumput	37
5.1.2 Kuivurihuoneen maalämpöpumppuratkaisu	38
5.1.3 PTFE-linjan lämpöpumppuratkaisu	39
5.2 Länsitehtaan toimintamalli ratkaisut	39
5.2.1 Karkaisu-uunit - savukaasupesuri	39
5.2.2 Karkaisu-uunit – ORC-laitos	41

6 Johtopäätökset	42
Lähteet	43

Kuvat

Kuva 1 Lämmön tuotannon muutos 1976–2021 (Energiavuosi 2022, s.8) Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
Kuva 2: Hukkaenergian määritelmä (YIT 2010 s.7)	10
Kuva 3 Satelliittikuva Fiskarsin tehtaan sijainnista	13
Kuva 4: Ylijäämälämmön hyödyntämisen teknologiset menetelmät riippuen lämpötilasta (Waste heat, 2019)	14
Kuva 5: Lämpöpumpun toimintaperiaate (10. Motiva)	16
Kuva 6 ulkolämpötilan sekä tuotetun veden lämpötilan vaikutus COP-arvoon. (19. Calefa, hotlevel)	18
Kuva 7 Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate (11. VTT Energia s.13)	19
Kuva 8 Itäpuolen pohjakuva	24
Kuva 9 Kuivurihuoneen 7kW kuivureita	25
Kuva 10 Kuivurihuoneen huonelämpötila seuranta graafi	26
Kuva 11 Kuivurihuoneen lämpökamerakuvia.	27
Kuva 12 Kuivurihuoneen katonrajan lämpötila	28
Kuva 13 Kuivurihuoneen yleiskuva	30
Kuva 14 Maalaamolinjan huonelämpötila graafi	32
Kuva 15 Länsipuolen pohjakuva	33
Kuva 16 Länsitehtaan jäähdytyslaitteet ja putkisto	36
Kuva 17 Poistoilmalämpöpumpun toimintamallikuva (17. PILP-opas 2018)	37
Kuva 18 Nibe F1355 tekniset tiedot	38
Kuva 19 Caligo Industrian esimerkki savukaasupesurista yhdistettynä lämpöpumppuun, PHP- ja SHP-kytkentä. (Caligo – savukaasupesujärjestelmä s.3)	40

Taulukot

Taulukko 1 Hukkaenergiateknologian edut ja haitat.

23

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
COP-luku	Coefficient Of Performance, kuvaa lämpöpumppujen lämpökerrointa mikä tarkoittaa hyötysuhdetta. (13. Motiva s.17)
SCOP-luku	Seasonal coefficient of performance, kuvaa lämpökertoimen keskiarvoa kokovuodelle, huomioiden kosteus ja lämpötila vaihtelut. (18. Panasonic)
ORC	Organic Rankine Cycle, prosessi mikä mahdollistaa sähköntuottamisen hukkalämmöstä.
PTFE	Polytetrafluorieteeni on polymeeripinnoite, mitä kutsutaan yleensä kauppanimellä Tefloniksi.
Q_{out}	Kuvaa lämpöpumpusta hyödyksi saatavaa lämpöenergiaa (13. Motiva. s17)
W_{in}	Kuvaa lämpöpumpun käyttämiseksi tehtyä työtä (13. Motiva. s17)
T_{out}	Kuvaa kiertoaineen lämpötilaa lauhduttimessa (13. Motiva. s17)
T_{in}	Kuvaa kiertoaineen lämpötilaa höyrystimessä (13. Motiva. s17)
$\eta = \text{Carnot -hyötysuhde}$	Kuvaa lämpövoimakoneen suurinta teoreettisesti mahdollista hyötysuhdetta (13. Motiva. s17)
T_{min}	Kuvaa prosessin kylmän puolen lämpötilaa kelvineissä (13. Motiva. s17)
T_{max}	Kuvaa prosessin kuumen puolen lämpötilaa kelvineissä (13. Motiva. s17)

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Fiskars Finland Oy ab:n Billnäsin tehtaan hukkaenergiapäästöt tuotantoprosessien osalta. Mahdollisista prosessituotannon päästöistä valitaan kustannustehokkaimmat sekä teknilliseltä toteutukseltaan helpoimmat vaihtoehdot.

Fiskarsin Billnäsin tehtaalla valmistetaan saksia, kirveitä, eri takeita ja lumityövälineitä. Tehdaskompleksi koostuu itä- sekä länsipuolen tehdasrakennuksista, minkä autoille tarkoitettu parkkipaikka jakaa kahtia.

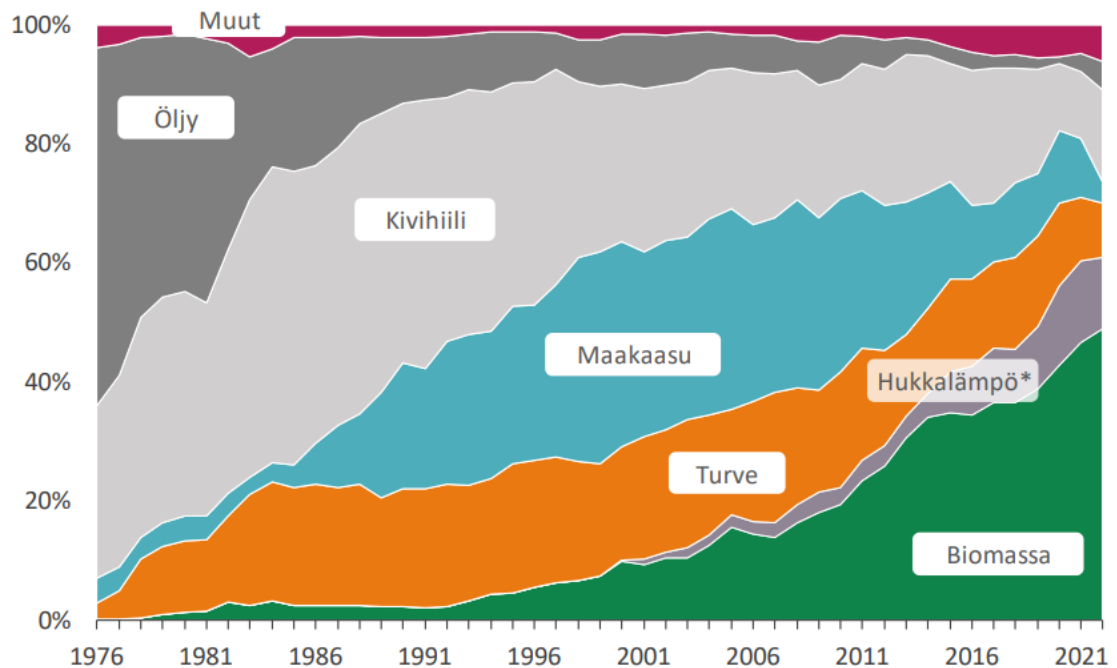
Työn kannalta tärkeimmiksi hukkalämmön kohteiksi tehtaalla osoittautuivat itäpuolella muovikoneiden kuivurihuoneen lauhdelämmöt. Ensisijaisena tavoitteena oli hyödyntää lämpö lämpimän veden lämmityksessä sekä varasto- ja tuotantohallin lämmityksessä talvisin. Toinen merkittävä asia oli selvittää mahdollisuus hyödyntää länsipuolen hukkalämpöjen kaukolämpöverkossa entistä tehokkaammin.

Tämä opinnäytetyö toimii osana isompaa kokonaisuutta, jossa Fiskarsin tavoitteena on vähentää ympäristöpäästöjä ja tuottaa entistä ekologisemmin tuotteita. Tavoitteena on vähentää ympäristöpäästöjä 60 % (vertailuvuosi 2017) vuoteen 2030 mennessä, ja samalla nettomyynnistä muodostuisi suurimmalta osaltaan kiertotalouden tuotteista sekä palveluista. Toimet auttavat ilmastopaneeli IPCC asettaman 2030 vuoden tavoitteeseen pääsyä, jotta lämpötila ei nousisi enempää kuin 1,5 astetta esiteolliseen aikaan verrattuna. (4. Fiskars Group Sustainability report 2022)

Billnäsin tehtaalle on tehty vuonna 2021 energiakatselmus Rambollin puolesta. Energiakatselmus on tehty Motiva-mallin mukaan, joka on perusteellinen ja kattava selvitys tuotantolaitoksen energian ja veden käytöstä sekä niiden kattavista tehostamismahdollisuuksista.

2 Energiasäästömahdollisuudet teollisuudessa

Teollisuuden sivutuotteena syntyy paljon lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää kohteelle sopivilla menetelmillä tehokkaasti joko tehtaan omassa tuotannossa tai myydä eteenpäin kaukolämmön kautta. Hukkalämmön taloudelliseen potentiaaliin on alettu kiinnittää huomiota enemmän lämpöpumppujen yleistyessä, niiden käyttötehokkuuden nopean kehityksen ansiosta. Hukkalämmön sekä uusiutuvan energian osuus Suomen kaukolämmön tuotannosta arvioidaan olevan jo yli puolet kokonaistuotannosta. Kuvassa 1 on eritelty lämmöntuotannon lähteiden prosentuaalinen ero vuosille 1976–2021. (3. Energiavuosi s.8)



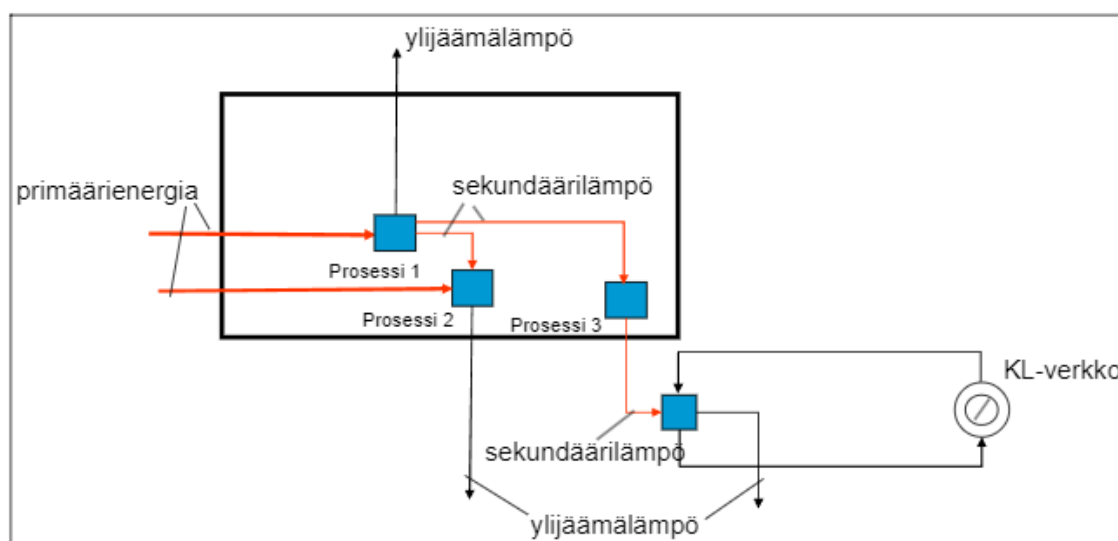
Kuva 1 Lämmön tuotannon muutos 1976–2021 (Energiavuosi 2022, s.8)

Motiva on arvioinut vuoden 2017 Suomen teollisuuden hukkalämpövarojen tekniseksi potentiaaliksi noin 16 TWh/a, millä tarkoitetaan lämpömäärää, joka on hyödynnettävissä jo olemassa olevalla tekniikalla. Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmössä on yli kolminkertaistunut 2010-luvulta. Merkittävänä syynä tähän pidetään savukaasupesureiden sekä -lauhduttimien yleistymistä voima- ja lämpölaitoksissa. (2. Motiva, s.16) (3. Energiavuosi, s.7)

3 Prosessienergian hyödyntäminen tuotannossa

3.1 Hukkaenergian määritelmä

Teollisuuden energiamuodot voidaan jakaa kolmeen osaan: primääri-, sekundääri- sekä hukkaenergiaan. Primäärienergia on tuotantolaitoksen ulkopuolelta hankittu tai itse tuotettu polttoaine tai sähkö. Sekundäärienergialla tai sekundäärilämmöllä tarkoitetaan jalostettua primäärienergiaa, mikä on talteen otettu osin tuotantoprosesseista ja hyödynnetty joko tehtaan muissa prosesseissa tai kaukolämpöjaketussa. Hukkaenergiaa poistuu tuotantolaitoksen eri prosessivaiheissa lämmön muotona jäähdytysvesien ja poistoilmojen mukana. Hukkaenergiaa voidaan kutsua myös hukka-, jäte- tai ylijäämälämmöksi. Tavoitteena on siis maksimoida primäärienergiasta syntyvä ylijäävä sekundäärienergian hyödyntäminen ja minimoida hukkaenergia päästöt. (Energiateollisuus, Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, s.7)



Kuva 2: Hukkaenergian määritelmä (YIT 2010 s.7)

3.2 Hukkalämmön lähteet

Ylijäämälämpöä muodostuu tehtaan eri tuotantovaiheissa. Yleisimpiä ylijäämälämmön poistokohteita ovat prosessi- ja savukaasut, jäähdytys- ja jätevedet, kuivureiden poistokaasut, erilaiset poistoilmat sekä koneellisen jäähdytyksen lauhdelämmöt.

3.3 Hukkalämmön hyödyntäminen omassa tuotannossa

Ylijäämälämmön hyödyntäminen on ensisijaisesti kannattavinta tuotantolaitoksen omissa prosesseissa. Lämpöpumppujen tekniikan kehityksen ansiosta lämmön jakaminen paikalliseen kaukolämpöverkkoon on myös varteen otettava vaihtoehto.

Hukkalämpöä voidaan hyödyntää kohteen omissa prosesseissa esimerkiksi raaka-aineen tai polttoaineen kuivattamiseen. Lämpöä voidaan hyödyntää myös kytkentämuutoksin, lämmönvaihtimen, lämpöpumpun, termokompressorin tai komprimoinnin avulla. Hukkalämmöllä on paras hyödyntämisaika sekä paras ajallinen vaste, kun se on hyödynnetty tehtaan omissa prosesseissa. Tehtaan omiin prosesseihin hyödynnetyllä hukkalämmöllä on yleensä pisin hyödyntämisaika sekä paras ajallinen vaste. (2. Motiva 2019 s.28)

Kiinteistön hukkalämpöä voidaan hyödyntää kytkentämuutoksin tai lämpöpumpun avulla. Lämpöenergialla voidaan parantaa käyttöveden esilämmityksen sekä ilmanvaihdon esilämmityksen omavaraisuutta.

Ulkolämpötilariippuvuus rajoittaa hyödyntämisaikaa, mutta ratkaisut on yleensä helppo toteuttaa. Ulkolämpötilariippuvuus kuvaa vuoden aikojen aiheuttamaa vaikutusta hyödyntää hukkalämpöä kiinteistössä. Talvisin kiinteistössä on tarvetta lämmitykselle, ja näin hukkalämmön käyttömahdollisuudet ovat merkittävämmät ja hyödyntäminen helpompaa.

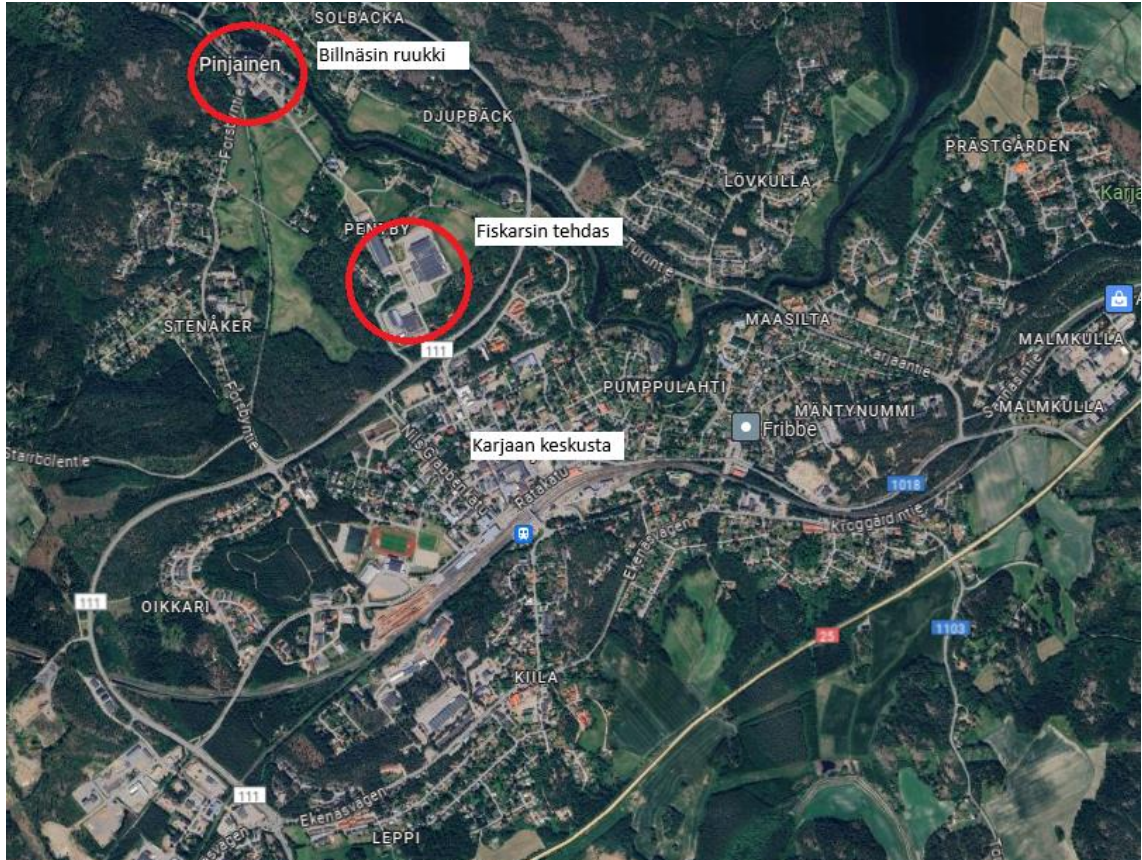
Hukkalämpö ei siis aina ole haitallista tilanteissa, joissa sitä voidaan hyödyntää sellaisenaan. Esimerkiksi koneista syntyvä lämpö saattaa auttaa tilan lämmityksessä siten, ettei se tarvitse erillistä lämmitystä ollenkaan. Vastakohtana on tuotannosta aiheutuvan hukkalämmön liikalämmitys, jolloin tilojen viilentäminen ja ilmastointi on tarvittava. (1. Motiva s.3)

3.4 Hukkalämmön hyödyntämisen haasteet

Investointien kannattavuuteen on monia vaikuttavia tekijöitä. Ylijäämälämpöä saadaan aina vain kuin tehdas on toiminnassa, ja tästä syystä kaukolämpöön tuotettua lämpöä on saatavilla vaihtelevasti. Tämä tuottaa haasteita kaukolämpöyrityksille ja energian varastointiratkaisut saavat merkittävän roolin, mikä antaisi joustavuutta tuotannon ja kulutuksen kohtaamiselle. (2. Motiva 2019 s.28)

Toisena haasteena on yleensä isompien tehdaskompleksien sijainti kauempana muusta taajama- ja keskusta-alueista, joissa kaukolämpöverkko sijaitsee. Pitkillä välimatkoilla tulee isoja investointeja lämmönsiirtolinjojen kanssa ja lämpöhäviöt kasvavat mitä pidemmäksi välimatkat kasvavat.

Fiskarsin kannalta tilanne on kuitenkin poikkeuksellisen hyvä. Tehdas sijaitsee Karjaan keskustan läheisyydessä, ja sitä ympäröivät laajat asutusalueet. Billnäsin ruukki on myös uusi uudelleen kasvava alue, jonka yritystoiminta ja lämmöntarve on kasvamaan päin. Kuvassa 3 nähdään satelliittikuva Karjaan keskusta asutuksen ja toimitilojen etäisyys. Etäisyys karjaan keskustaa sekä Billnäsin ruukille on alle kilometri.

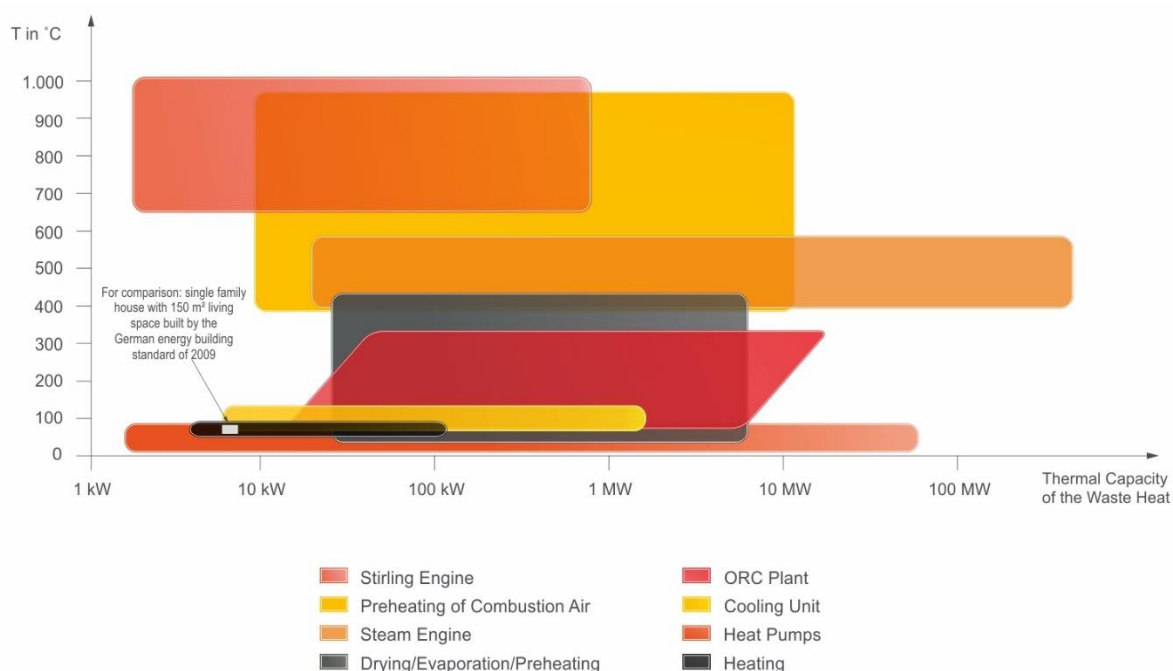


Kuva 3 Satelliittikuva Fiskarsin tehtaan sijainnista

3.5 Hukkaenergian hyödyntämisen menetelmät

Hukkaenergian hyödyntämiseen käytettävää teknologiaa on laajalti saatavilla. Käyttöön sopivimman menetelmän päättää laajalti kohteen tuottava lämpötila taso sekä kosteus. Ylijäämlämpöjä voidaan kerätä alhaisimmista 10°C asteen lämmöistä jopa yli 600°C asteen lämpötasolle asti. Käytetty teknologia on pääosin kaupallista tekniikkaa. Tällä tarkoitetaan, että suurin osa ratkaisu vaihtoehdoista on suunniteltu käytettäväksi kaupallisessa toiminnassa sekä tuotantoympäristöissä. Teknologia on suunniteltu ja optimoitu tehokkaaseen sekä taloudelliseen käyttöön eri talouden aloille. Kannattavuus on kuitenkin monen ratkaisun suurin haaste. Saavutettu hyöty investointeihin nähden saattavat jäädä pieniksi ja tämä vaikuttaa heti uusien laiteinvestointien kannattavuuteen. (2. Motiva 2019, s.21)

Kuvassa 4 on esitelty ylijäämälämmön hyödyntämisen menetelmiä riippuen lämpötilasta sekä tehosta.



Kuva 4: Ylijäämälämmön hyödyntämisen teknologiset menetelmät riippuen lämpötilasta (Waste heat, 2019)

3.5.1 COP-arvon merkitys lämpöpumppua valitessa

Lämpöpumppujen tehokkuutta voidaan kuvata lämpökertoimen eli COP-luvun, (Coefficient Of Performance), avulla. Lämpökerroin saadaan laitteiston tuottaman lämpötehon ja käytettävän sähkötehon suhteella. COP-arvo kertoo kuinka monta kilowattia lämpöä lämpöpumppu tuottaa sähköä kulutettua kilowattia kohden. Esimerkkinä lämpöpumppu minkä COP-arvo on 3, tuottaa kolme kertaa enemmän energiaa, kuin mitä se tarvitsee toimiakseen. COP-arvo on yksi yleinen ja helppo tapa mitata lämpöpumppujen käyttötehoa sekä verrata energiatehokkuutta. (18. Panasonic)

COP-luvun lisäksi on hyvä tietää mitä SCOP-luku tarkoittaa (seasonal coefficient of performance). SCOP-luvun avulla kuvataan lämpökertoimen keskiarvoa koko vuoden ajalta, niin sanotusti lämmityskauden lämpökerrointa.

SCOP-luvussa huomioidaan ilmankosteus sekä ulkolämpötila muutokset. (18. Panasonic)

COP-arvo saadaan laskemalla seuraavalla yhtälöllä:

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{in}}$$

jossa,

COP = lämpökerroin

Q_{out} = lämpöpumpusta hyödyksi saatava lämpöenergia

W_{in} = lämpöpumpun käyttämiseksi tehty työ

Idealiselle Carnot-lämpöpumppukierrolle, lämpökerroin määritellään yhtälöllä.

$$COP = \frac{T_{out}}{T_{out} - T_{in}}$$

jossa,

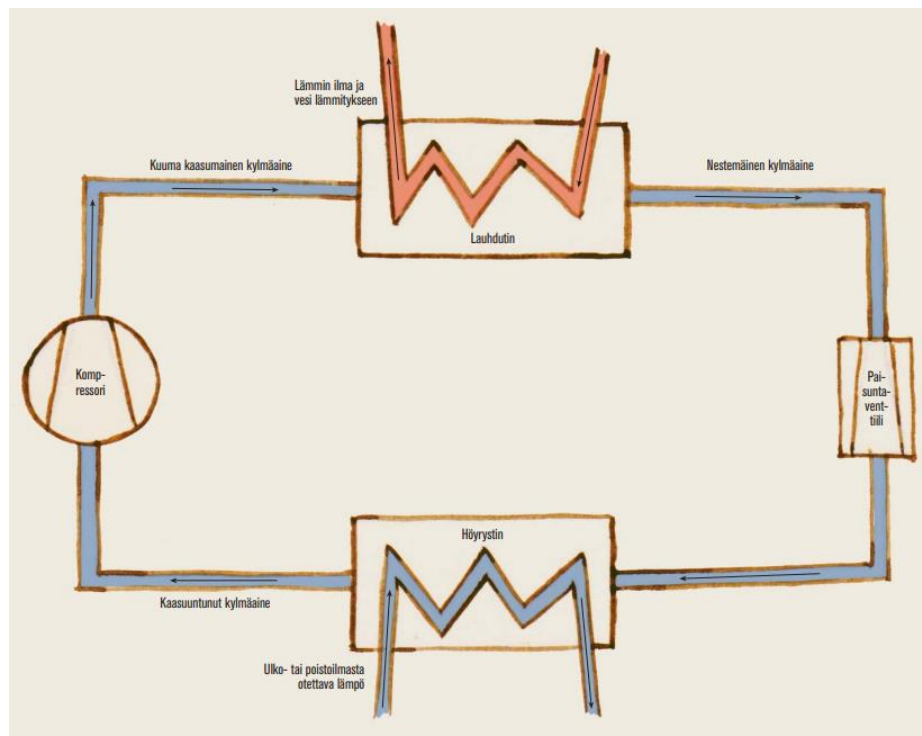
T_{out} = kiertoaineen lämpötila lauhduttimessa, [K]

T_{in} = kiertoaineen lämpötila höyrystimessä, [K]. (13. Motiva s.17)

3.5.2 Lämpöpumput

Mekaanisen lämpöpumpun soveltavuus eri tarkoituksiin teollisuudessa on yksi parhaimpia. Pumpua voidaan hyödyntää raaka-aineiden kuivauksessa, kaasujen ja nesteiden lämmityksessä sekä kaukolämmössä ja -jäähdytyksessä.

Kuvassa 5 on esimerkki, jossa lämpöpumppu kerää ilmasta saatua lämpöä höyrystimeen ja höyrystää sisällä kiertävän kylmäaineen. Nestemäinen kylmäaine sitoo itseensä lämpöenergiaa höyrystyessään. Lämpöpumpun kompressori imee höyrystyneen kylmäaineen ja puristaa sen pienempään tilaan, jolloin kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat. Tämän jälkeen korkeapaine, noin 100 °C asteinen, kylmäaine johdetaan lauhduttimeen. Vesi tai viileämpi huoneilma jäähdyttävät kylmäainehöyryn takaisin nestemäiseksi ja samalla vapautuu lämpöä. Kylmäaine siirtyy seuraavaksi paisuntaventtiiliin, joka alentaa painetta sekä lämpötilaa, mistä se jatkaa matkaa takaisin höyrystimeen. (10. Motiva)



Kuva 5: Lämpöpumpun toimintaperiaate (10. Motiva)

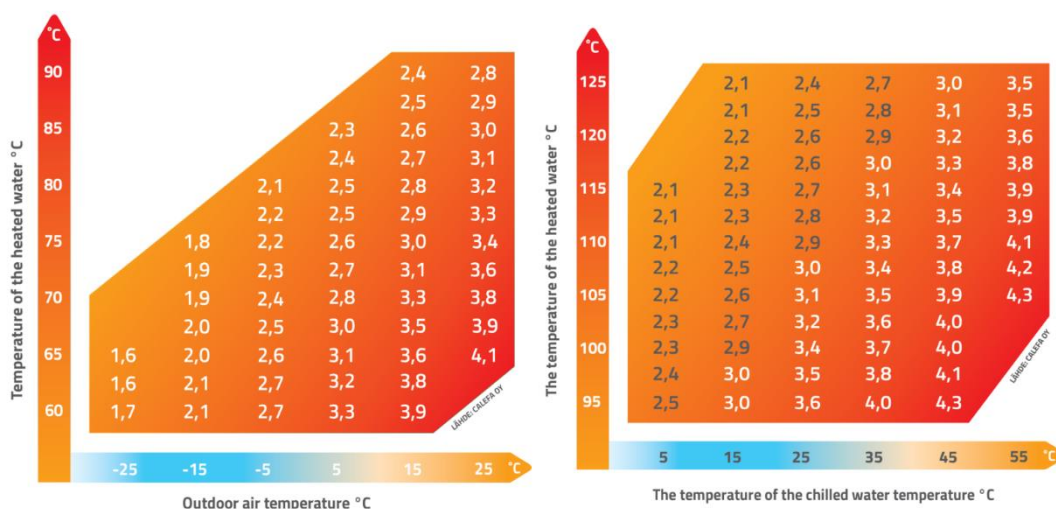
Mekaaninen lämpöpumppu soveltuu hyvin matalien lämpötilojen hyödyntämiseen. Jopa alle 10 °C asteen lämpötiloja voidaan hyödyntää kaukolämmön tuottamiseen kohtuullisella lämpökertoimella eli COP-arvolla. Lämpöpumppua voidaan myös hyödyntää matalalämpöisen jäteveden lämmön hyödyntämisessä. Jäteveden keskivirtaama tulisi olla suhteellisen jatkuvaa ja vähintään noin 36–54 m³/h, jotta se olisi kannattava. (2. Motiva 2019, s.22)

Lämpöpumpuilla tuotetun kaukolämpöveden lämpötilaa on yleensä talvisin jouduttu priimaamaan esimerkiksi uudella tai olemassa olevan laitoksen tuottamalla höyryllä. Priimauksen tarve voi vaikuttaa merkittävästi lämpöpumpun investoinnin kannattavuuteen. Uudemman sukupolven kuumalämpöpumpuilla voidaan tuottaa +20–+90 °C asteen hukkalämmöstä jopa noin 130 °C asteista lämpöä, jolla voidaan korvata primäärilämpöä monessa eri käyttötarkoituksessa. Priimauksesta tuotetulle, yli 100 °C kaasulle on huomattavasti hankalampi löytää käyttökohdetta tehtaalla, ellei sopivaa kuivatuskohdetta esimerkiksi ole. Kuumalämpöpumppu vähentää esimerkiksi huomattavasti kaukolämmön priimauksen tarvetta. Lämpöpumppujen COP-arvot vaihtelevat 3–7 välillä. (2. Motiva 2019, s.22)

COP-arvo kärsii huomattavasti, mitä lämpimämpää vettä halutaan tuottaa. Esimerkiksi kuvassa 5. nähdään jos halutaan tuottaa yli 80 °C asteista vettä kaukolämpöön ulkolämpötilan ollessa -5 °C, on COP-arvo 2,1. Jos sähkön hinta talvella on 30 c/kWh, on lämpöpumpun käyttö huomattavasti kalliimpaa kuin itse kaukolämmön hyödyntäminen. Jotta käyttö olisi taloudellisesti kannattavaa tulisi sähkön olla edullista.

COP-luvun lisäksi on hyvä tietää, mitä SCOP-luku tarkoittaa (seasonal coefficient of performance). SCOP-luvun avulla kuvataan lämpökertoimen keskiarvoa koko vuoden ajalta, niin sanotusti lämmityskauden lämpökerrointa. SCOP-luvussa huomioidaan ilmankosteus sekä ulkolämpötila muutokset. (18. Panasonic) Kuva 6 toimii hyvin esimerkki, miksi myös SCOP-arvon laskeminen on oleellista lämpöpumppua valittaessa.

The COP of the high-temperature heat pump



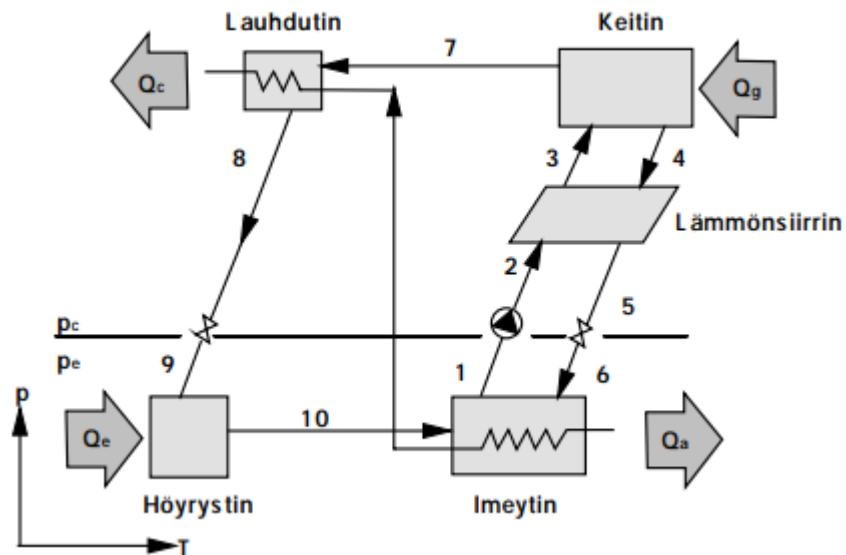
Kuva 6 ulkolämpötilan sekä tuotetun veden lämpötilan vaikutus COP-arvoon. (19. Calefa, hotlevel)

3.5.3 Absorptiolämpöpumppu

Absorptio- tai adsorptiolämpöpumppujen avulla hukkalämpöä voidaan hyödyntää myös kohteen omiin eri jäähdytystarpeisiin. Tämä kuitenkin vaatii yleensä suuremman luokan prosessiteollisuuden laitoksen sekä korkeammat noin 60–200 °C asteen lämpötilat, joita voitaisiin hyödyntää. (2. Motiva 2019, s.28)

Absorptiolämpöpumput soveltuvat kohteisiin, joissa on saatavilla edullista kuumaa lämpöenergiaa. Absorptiolämpöpumppu voidaan ajatella lämpöpumpun ja lämpövoimakoneen kombinaatioiksi. Toimintamalli mekaaniseen lämpöpumppuun nähden on hyvin samanlainen: lämpöenergiaa pumpataan alemmasta lämmönlähteestä ylemmälle tasolle. Mekaaniseen lämpöpumppuun nähden sillä on alempi sähkönkulutus mutta käyttöenergiaksi se tarvitsee korkeamman lämpötilan. Absorptiolaitteiden etuna on, että ne soveltuvat myös lämmöntuotannon lisäksi jäähdyttämiseen. (11. VTT Energia s.12)

Kuvassa 7. Absorptiojäähdytysprosessissa lämpöpumppu korvataan höyrystimellä ja lauhduttimella. Kylmäaine kulkee lauhduttimelta paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. Höyry absorboidaan imeyttimeessä liuottimeen ja liuoksen paine nostetaan takaisin ylemmälle painetasolle. Keittimessä kylmäaine vapautetaan liukenemis- ja lauhtumislämmön kompensoimiseksi. Keittimestä kylmäaine vapautuu ja väkevöity liuos palautuu imeyttimeen lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiilin kautta. Tämä työ korvaa mekaanisen komprimoinnin, mikä vastaa lämpökoneen suorittamaa työtä. (11. VTT Energia s.13)



Kuva 7 Absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate (11. VTT Energia s.13)

Absorptiojäähdytysprosessi perustuu kylmäaineen ja absorbenttin ominaisuuksiin sekä kyseisen aineparin käyttäytymiseen liuksena. Tietyissä paineessa ja lämpötilassa tasapaino vallitsee kaasun ja nesteeseen absorboituneen kaasun välillä. Paineen ja lämpötilan muuttuessa kaasua vapautuu tai sitoutuu eli toisin sanoen lämpöenergiaa luovutetaan tai vastaanotetaan. Absorptiolämpöpumppu tarvitsee ulkoisen lämmönlähteen toimiakseen. Lämpövoimakone tuottaa lämpöpumpun tarvitseman mekaanisen työn käyttämällä hyödyksi vaihtoehtoisia käyttöenergioita sähkön sijaan. (12. Valtteri Pirttinen. s.18)

Absorptiolaitteilla huonona puolena nähdään sen matala COP-arvo matalissa lämpötiloissa. Absorptiolämpöpumppujen tyypillinen COP-arvo on 1,5–1,8. Absorptiolämpöpumppujen ominaiskustannukset vaihtelevat 70–100 €/kW. Teollisuuden kokoluokan mekaanisen lämpöpumppulaitoksen kustannukset ovat 500–750 €/kW. Näin voidaan todeta absorptiolämpöpumppuratkaisun olevan investointina suhteessa pienemmän kokoluokan toteutus. Yleisyyteen vaikuttaa kuitenkin absorptiopumpulle harvemmin soveltuvat kohteet, joissa niitä voitaisiin hyödyntää. (1. Motiva 2014 s.5)

3.5.4 ORC-teknologia

ORC (Organic Rankine Cycle) teknologian avulla hukkalämpö voidaan muuntaa sähköksi. Teollisuuden yrityksillä ei aina ole käyttöä hukkalämmölle omassa tuotannossa tai sen jakaminen muille yrityksille tai kaukoverkkoon voi olla hankalaa. Mahdollinen vaihtoehto on tuottaa hukkalämmöstä suoraan sähköä ja parantaa näin omavaraisuutta ostosähköstä ja myydä ylijäämäsähköä sähköverkkoon. (2.Motiva 2019 s.19)

ORC-prosessissa on perinteisen Rankine-voimalaitoskiertoprosessin kaltainen Rankine-prosessi, missä tietyt lämpömoottorit tai höyryturbiinit mahdollistavat mekaanisen työn poistamisen nesteestä sen liikkuessa lämmönlähteen ja jäähdytys-elementin välillä. ORC-prosessissa, kiertoaineen veden sijasta käytetään kohteeseen sopivaa orgaanista kiertoainetta. Kiertoaine höyrystyy ja

lauhtuu prosessin eri osissa vesikierron tapaan. ORC-tekniikassa kiertoaineena toimii orgaaninen neste, mikä on lämmönlähteen lämpötilalle sopiva esim. tolueeni, isobutaani, isopentaani tai silikoniöljyt. (9. Sarlin)

Orgaanisella kiertoaineella pystytään hyödyntämään tehokkaammin kylmempiä lämpötilatasoja, mikä mahdollistaa pienemmät yksikkökoot ja hajautetun sähkön tuotannon. Orgaanisella aineella vältetään myös kostean höyryn aiheuttamat ongelmat turbiinissa ja parannetaan näin toimintavarmuutta. (13. Motiva s.38)

Laajan tehoalueen ansioista (10kWe-50MWe), ORC-tekniikkaa voidaan hyödyntää monissa eri teollisuuden prosesseissa. Tekniikkaa on hyödynnetty pesuloissa, kaivosteollisuudessa sekä teollisuuden savupiipuissa. ORC-laitteiden käyttöikä on normaalisti noin 20 vuotta, ja niiden takaisinmaksu noin 4 vuotta. (8.Norlca Oy) ORC-laitoksen kokonaishyötysuhde voi olla jopa 98 %. (1. Motiva s.6)

Matalalämpöiset lämmönlähteet saattavat vaikuttaa ORC-laitoksen kannattavuuteen. Lämpöpumppuun nähden, ORC-laitos vaatii korkeamman noin yli 80 °C asteen lämmönlähteen. Tästä syystä teollisuuden matalat ylijäämälämmöt jäävät yleensä alle 10 % sähköntuottohyötysuhteiltaan. Hyödynnettävän lämmön on käytännössä oltava ilmaista, ja sitä tulee olla jatkuvasti saatavilla ja pysyvyyden mahdollisimman suuri. ORC-laitos vaatii myös toimiakseen mahdollisimman kylmän lämpönielun, kuten meriveden tai muun vesistön. Matalalämpösovelluksissa käytetystä lämmöstä jopa 90 % siirretään lämpönieluun niin matalassa lämpötilassa, ettei sen hyötykäyttö ORC-prosessissa ole enää järkevää. Suhteellisen pieni sähköntuotto ja se, että prosessin jätelämpöä ei voida hyödyntää missään luovat lisää haasteita kannattavuudelle. (13. Motiva s.46)

Lämpövoimakoneen suurin teoreettisesti mahdollinen hyötysuhde tietyllä lämpötilalla saadaan laskettua Carnot -hyötysuhde yhtälöstä.

$$\eta = 1 - \frac{T_{\min}[K]}{T_{\max}[K]}$$

jossa:

η = Carnot -hyötysuhde

T_{\min} = prosessin kylmän puolen lämpötila kelvineissä

T_{\max} = prosessin kuuman puolen lämpötila kelvineissä (13. Motiva s.38)

ORC-laitos voi toimia lämmön sekä sähkön CHP-yhteistuotantolaitoksena (Combined Heat and Power). Tästä vielä kehittyneempi versio on CCHP-laitos (Combined Cooling, Heat and Power), jossa tuotettua sähköä voidaan käyttää myös jäähdytysenergian tuottamiseen. (14. Sarlin)

Seuraavassa taulukossa 1 on esitetty vielä erikseen edeltävät teknologiat lyhyesti. Tärkeimpinä vertailukohteina ovat COP-arvo sekä teknologioiden edut ja haasteet.

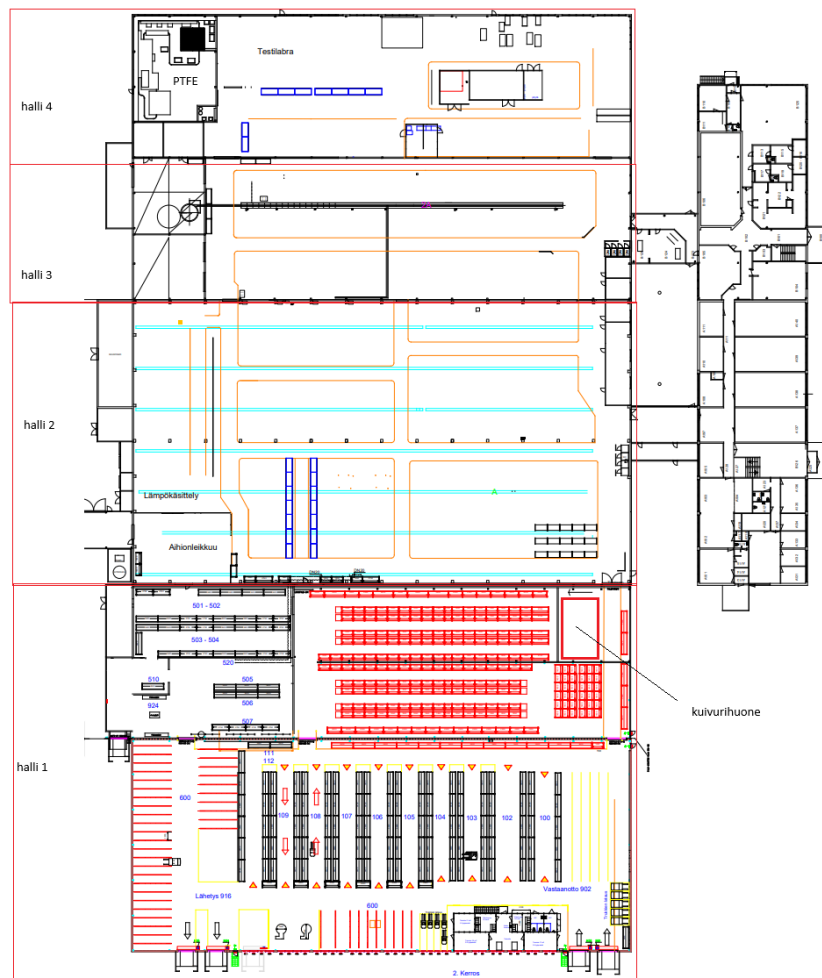
Taulukko 1 Hukkaenergiateknologian edut ja haitat.

Teknologia	Hukkalämmön lähde	COP-arvo / energiatehokkuus	hyödyt	haitat
Mekaaninen lämpöpumppu	< 10–100 °C	3–6 COP	<ul style="list-style-type: none"> - kaupallista tekniikkaa - tehokas matalissa ylijäämälämmöissä 	<ul style="list-style-type: none"> - Sähkön hinnan vaikutus kannattavuuteen - Vaatii riittävän tasaisen ylijäämälämmön lähteen
Absorptio-lämpöpumppu	60–200 °C	1,5–1,8 COP	<ul style="list-style-type: none"> - Laaja säädettävyys - Käyttömahdollisuus myös jäähdyttämiseen - Alhainen sähkön kulutus - Vähäinen huolto 	<ul style="list-style-type: none"> - Alhainen COP-arvo alhaisissa lämpötiloissa - Investointikustannukset hyötyihin nähden
ORC-laitos	80–350 °C	10–98 % hyötysuhde	<ul style="list-style-type: none"> - kaupallista tekniikkaa - Säädettävyys ja helppo käyttöisyys - Laaja tehoalue - Pitkä käyttöikä - CHP mahdollisuus 	<ul style="list-style-type: none"> - Investointikustannukset hyötyihin nähden - Alle 10 % hyötysuhde matala lämpöisissä lämmöissä - Lämpönielun tarve

4 Hukkaenergian kartoitus tehtaalla

4.1 Itätehtaan esittely sekä hukkaenergia lähteet

Itätehdas on jaettu neljään eri halliin sekä sosiaali-tiloihin, jotka ovat kahdessa eri kerroksessa. Halli 1 toimii tehtaan varastoalueena sekä lähettämönä. Hallissa 1 on myös muoviosastoa palveleva kuivurihuone. Halli 2 on tuotantohalli, jossa on muovituskoneita sekä pakkaamo. Halli 3 on tehtaan hiontapuoli. Halli 4:ssä toimii tehtaan kunnossapito, testilaboratorio sekä PTFE-maalaamolinja. Kuvan 8 pohjapiirustuksesta on koneistot poistettu kokonaan ja hallit on eritelty punaisilla viivoilla. Pohjapiirustukseen on myös erikseen korostettu kuivurihuoneen sijainti 1 hallissa.



Kuva 8 Itäpuolen pohjakuva

4.1.1 Halli 1 (lähettämö ja kuivurihuone)

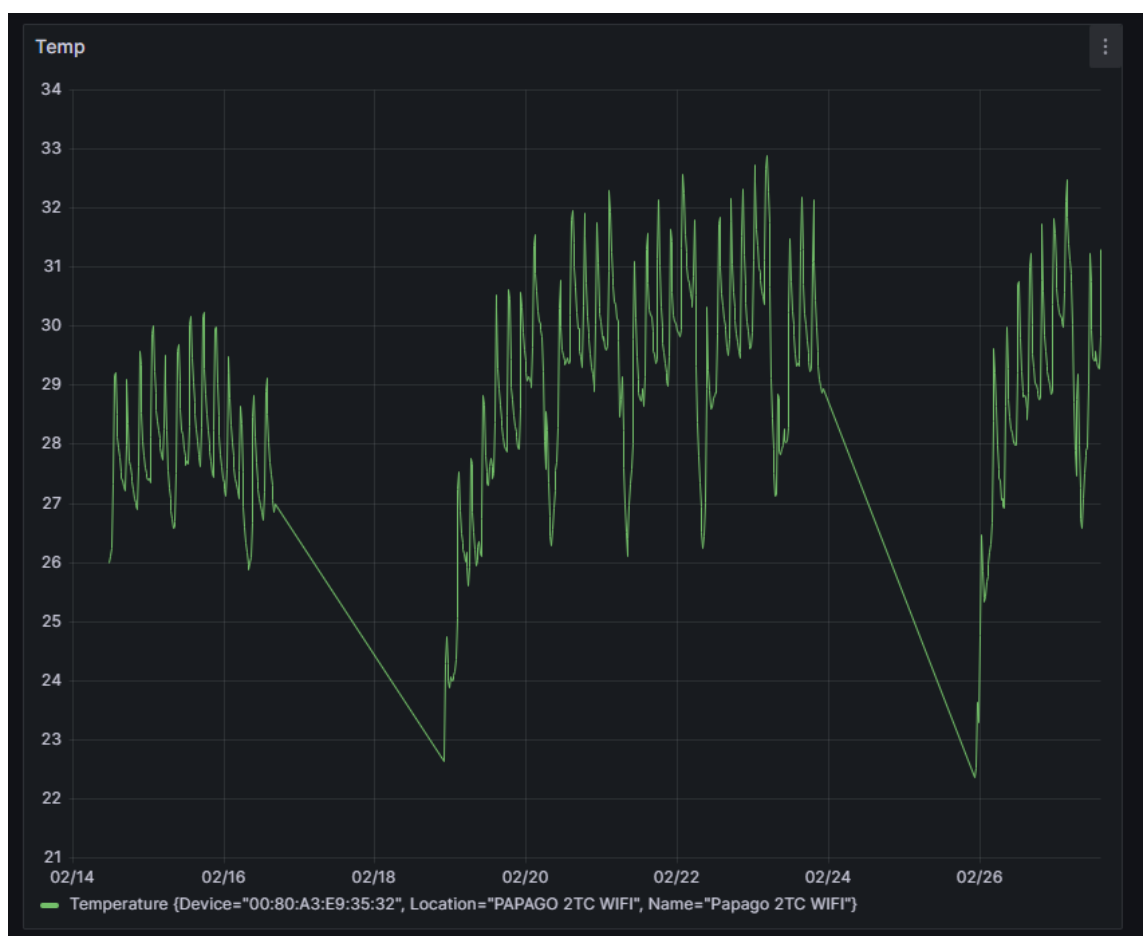
Hallissa 1 kuivurihuone sijaitsee erillisessä tilassa lähettämön ja muovilinja hallin välissä lähellä sosiaalitiloja. Kuivuritilaan nousevat metalliportaat ja tilat ovat toisessa kerroksessa muovitusosastolla. Kuivurit tuottavat tilaan yllämpää muovirakeiden kuivatusprosessissa. Huoneessa on kahdessa rivissä kuivureita. Ensimmäisessä rivissä on 4 kpl 7kW:n kuivuria sekä 2 kpl 10,5 kW:n kuivuria. Toisessa rivissä on 2 kpl 14kW:n kuivuria. Muovituskoneiden tehot saatiin kuvan 9 kuivureiden laitekilvistä. Kuivurihuoneen pohjapinta on noin 32m², ja se on noin 8 metriä korkea. Lähettämö vie suurimman osan hallin 1 pinta-alasta, ja tästä syystä muita merkittäviä lämmönlähteitä tilassa ei ole.



Kuva 9 Kuivurihuoneen 7kW kuivureita

Kuivurihuoneeseen tehtiin opinnäytetyön aikana laiteuudistus, joka vähensi kuivureiden puhaltamaa kuumaa ilmaa huomattavasti. Alun perin muovituskoneiden kuivurit puhalsivat tilaan kuumaa ilmaa eri kuivureiden ilmanpoistoluukuista. Tilan lämpötilamittauksia ei ehditty tehdä ennen uudistusta mutta arviolta tilan lämpötila laski useammalla asteella.

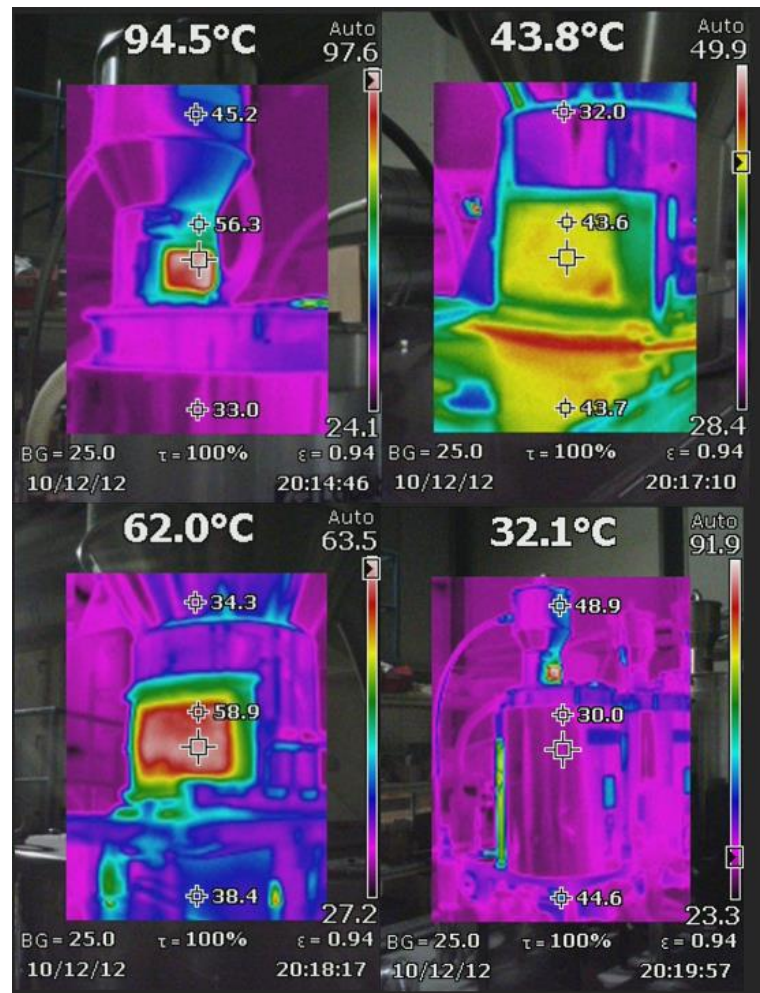
Kuvasta 10 voidaan todeta, että huoneessa vallitsee jatkuvasti noin 30 °C asteen lämpötila, jota voitaisiin hyödyntää. Lämpömittari oli asennettu huoneen seinälle noin 2 metrin korkeuteen.



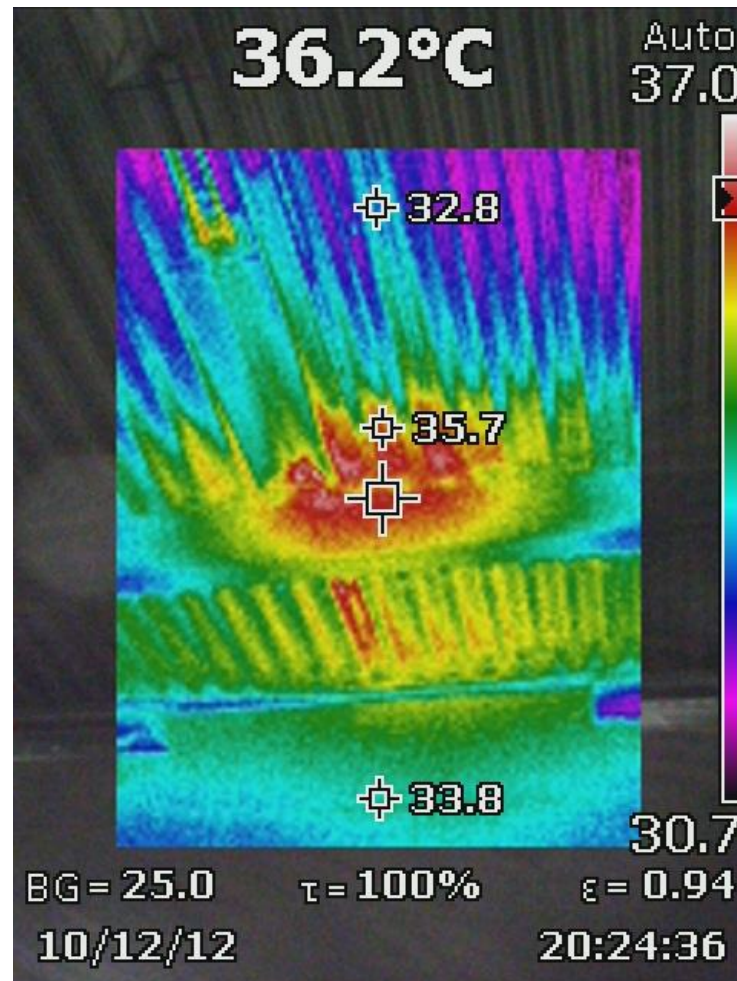
Kuva 10 Kuivurihuoneen huonelämpötila seuranta graafi

Lämpökameralla kuvattaessa tilaa todettiin, että selvää tiettyä lämmönlähdettä ei ole. Lämmönlähteitä oli useita eri laitteissa, ja osa lähteistä oli lämpöä, joka hohkasi laitteiden rakenteiden läpi kuva 11. Katon rajasta löydettiin erillinen kohta, jossa lämpötila oli selvästi korkeampi kuin muualla tilassa. Lämpimämpi kohta katossa oli uusitun jäähdytyslaitteiston kohdalla, joka on esitetty kuvassa 12. Lämpökamera mittauksissa käytettiin Fluken TIS45.

Puhaltavia virtauksia oli muutamia, mutta niidenkin virtaukset niin vähittäisiä, ettei selviä lukemia saatu mittarilla. Mittaukseen käytettiin Testo 405-V1 ilmavirtausmittaria.



Kuva 11 Kuivurihuoneen lämpökamerakuvia.



Kuva 12 Kuivurihuoneen katonrajan lämpötila

Kuivurihuoneen hukkalämpöä voitaisiin hyödyntää alustavasti sosiaali- ja toimistotilojen lämmitysverkostojen lämmityksessä. Kuivurihuoneessa on jo olemassa oleva putkisto, jota voitaisiin ainakin osin hyödyntää. Pienellä investoinnilla lämpöä voitaisiin talvisin siirtää siirtoilmana varastoon tai Itätehtaan muoviosastoa palvelevan ilmanvaihtokoneen kautta tehdashalliin. Kesäisin lämpöä voitaisiin hyödyntää lämpimänveden lämmityksessä sekä konttoreiden lämmityspiireissä. Haasteena on käyttöveden lämmityksen lämpötilataso noin 55–65 °C astetta. Tämä lämpötilataso voitaisiin saavuttaa sopivalla lämpöpumppu ratkaisulla.

Mahdollinen lämpöpumppu ratkaisu voisi olla ilmalämpöpumppu, joka hyödyntäisi kuivurihuoneen sisäilmaa. Lämpötila kuivuritalan katon rajassa oli noin 33 °C astetta. Lämpöpumppu tulisi käytävän kohdalle seinälle, mihin se olisi helppo asentaa ja huoltaa tarvittaessa nostimen avulla. Kuivurihuoneen muihin tiloihin ei pääse nostimella.

Ilmavesilämpöpumpun sekä lämmitysverkoston kytkemistä varten tulisi rakentaa kuivurihuoneesta kulkevat lämpölinjat lämmönjakohuoneeseen. Lämmönjakohuoneessa lämpölinjat kytkettäisiin sekoituskytkennällä kuumavesipiirin toimisto-osalle tulevaan ja lähtevään lämpölinjaan. Näin lämpö hyödynnettäisiin toimisto-osan kaikissa lämmitysverkoissa.

Lämpöpumppu voisi hyödyntää tarvittaessa osin ulkoilmaa, jotta ilmavesilämpöpumppu ei jäädyttäisi kuivurihuoneen sisäilmaa liikaa. Viikonloppuisin tuotannon ollessa pysähdyksissä, pumppu voisi hyödyntää täysin ulkoilmaa.

Ramboll oli tehnyt kuivurihuoneelle alustavan pumppuarvion, jonka mukaan ilmavesilämpöpumpun sopiva lämpötehon tuotto olisi arviolta 30-35kW. Lämpöpumpun avulla voitaisiin tuottaa 170 MWh/a mikä korvaisi noin 35 % toimisto-osaston kaukolämmön kulutuksesta. (495 MWh/a) (Ramboll, kohdekatselmusraportti)

Kuivurihuoneen lämpöpumppumitoitukseen haettiin apua lämpöpumppuvalmistajalta Nibe Energy Systems Oy:ltä. Nibe:llä on yli 40-vuoden kokemus pienomakotitalojen sekä suurten kiinteistöjen lämpöpumppujen ja lämpöpumppuvaraajien valmistajana. Nibe:n yhteishenkilönä toimi Niben tuotehallintapäällikkö.

Kuivurihuoneen mitoituksessa tulimme siihen lopputulokseen, että pumppuna toimisi ilmavesilämpöpumpun sijaan maalämpöpumppu. Toiminta periaate olisi käytännössä hyvin vastaava, mutta tekniikka helpommin toteutettavissa. Ajoittain maalämpöpumppu tuottaa niin paljon lämpöä, ettei kaikkea voida hyödyntää. Maalämpöpumpun etuna on sen dumpauspatteri, johon lämpö on helppo poistaa.

Maalämpöpumppu, on nimenä hieman harhaan johtava. Pumppu ei tarvitse porakaivoa toimiakseen Lämpöä hyödynnettäisiin edelleen huonetilasta eikä niin nimensä mukaisesti maasta. Maalämpöpumpun lämmönlähteenä voi siis käytännössä toimia mikä tahansa lämmönlähde, jos siihen on liitetty paineilmakompressori. Paineilmakompressori toimii imurina, joka imee tilan lämpimän ilman lämpöpumpun hyödynnettäväksi.

Mitoituksen kannalta oleellista oli, millä ilmamäärällä ja jäähtymällä pumppu mitoitus lasketaan. Mitoituksessa piti myös arvioida, että tilan jäähdytetty ilma lämpenee takaisin samalle asetetulle tasolle. Kuivurihuoneen tilavuudeksi laskettiin noin 1150 m³, jossa on laskettu mukaan huoneen laitteet. Tilan uudeksi huonelämpötilaksi määritettiin 17 °C astetta. Kuvassa 13. on kuivurihuone kokonaisuudessaan. Kuvassa oikealla on uusittu jäähdytyslaitteisto, jonka takana kuivurikoneet kahdessa rivissä.



Kuva 13 Kuivurihuoneen yleiskuva

4.1.2 Halli 2 ja 3 (tuotanto)

Halli 2:ssa sijaitsee tuotannon muovituskoneet sekä pakkaamo. Muovituskoneet ovat 2. hallin suurin lämmönlähde. Hallissa 3 sijaitsee tehtaan hiontapuoli. Hiontapuoli kierrättää tuotantoprosessissa hiontaemulsiota, minkä takia hallin lämpötila on varsinkin kesäisin trooppisen kostea ja lämmin. Molemmissa halleissa lämpöä muodostuu tasaisesti useasta eri lähteestä. Toisaalla ei ole tiettyä kohtaa, josta lämpöä otettaisiin talteen.

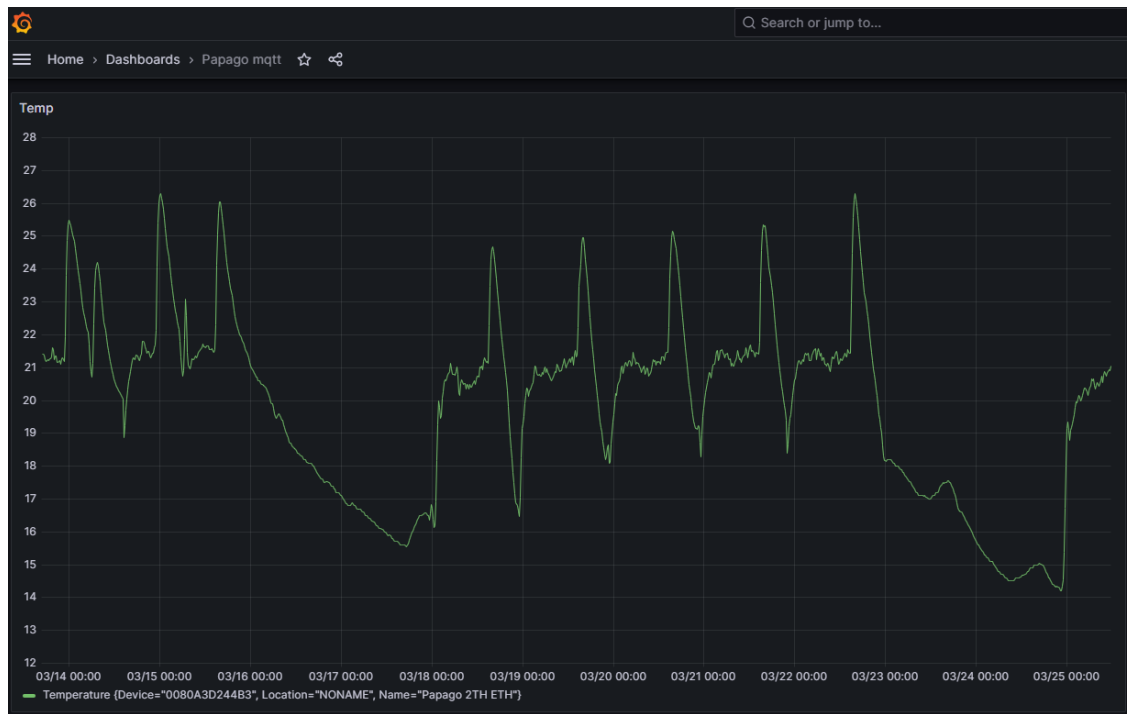
4.1.3 halli 4 (PTFE-linja sekä kunnossapito)

Tuotannon maalaamon eli PTFE-linja sijaitsee 4. hallin päädyssä. Maalaamon lämpöuuni hohkaa huomattavasti lämpöä mikä nostaa huoneen lämpötilaa huomattavasti muihin tiloihin nähden. Uuniin on suunniteltu peruskunnostus tiivisteiden osalta ja PTFE tullaan korvaamaan lähitulevaisuudessa, sillä sen käyttöä ollaan rajoittamassa EU-tasolla. Uudistuksen vaikutuksista maalaamon lämpötiloihin ei vielä osata sanoa. Tällä hetkellä lämpöä karkaa tiloihin uunin suulta mikä on suurin syy tilojen korkeaan lämpötilaan. Lämpötila uunin suun yläreunassa ylittää 100 °C asteen rajan. Tilat ovat rullaovella erotettu muusta tehdastilasta ja suurimman osan ajasta suljettu.

Yhtenä vaihtoehtona lämpöä voitaisiin kerätä suoraan uunin ovelta poistoilmahuuvan avulla. Tilana PTFE-linja on hyvin samanlainen kuin kuivurihuone. Kuvassa 14 nähdään maalaamon huonelämpötila graafi. Lämpötila huoneessa nousee ajoittain 26 °C asteeseen. Huomioitavaa on, että mittauksen on tehty talviaikana. Mittausten aikana maalaamo ei myöskään ollut täydessä toiminnassa vaan pyöri pienemmissä vuoroissa. Kesäisin huonelämpötila nousee pahimmillaan yli 30 °C asteeseen. Maalaamon työntekijät pitävät helletaukoja kuumimpina aikoina.

Samankaltainen maalämpöpumppuratkaisu toimisi todennäköisesti maalaamon tiloissa. Erona kuivurihuoneeseen on, että tilassa työskennellään ja alin huonelämpötila tulee myös asettumaan sen mukaisesti. Tämä vaikuttaa myös

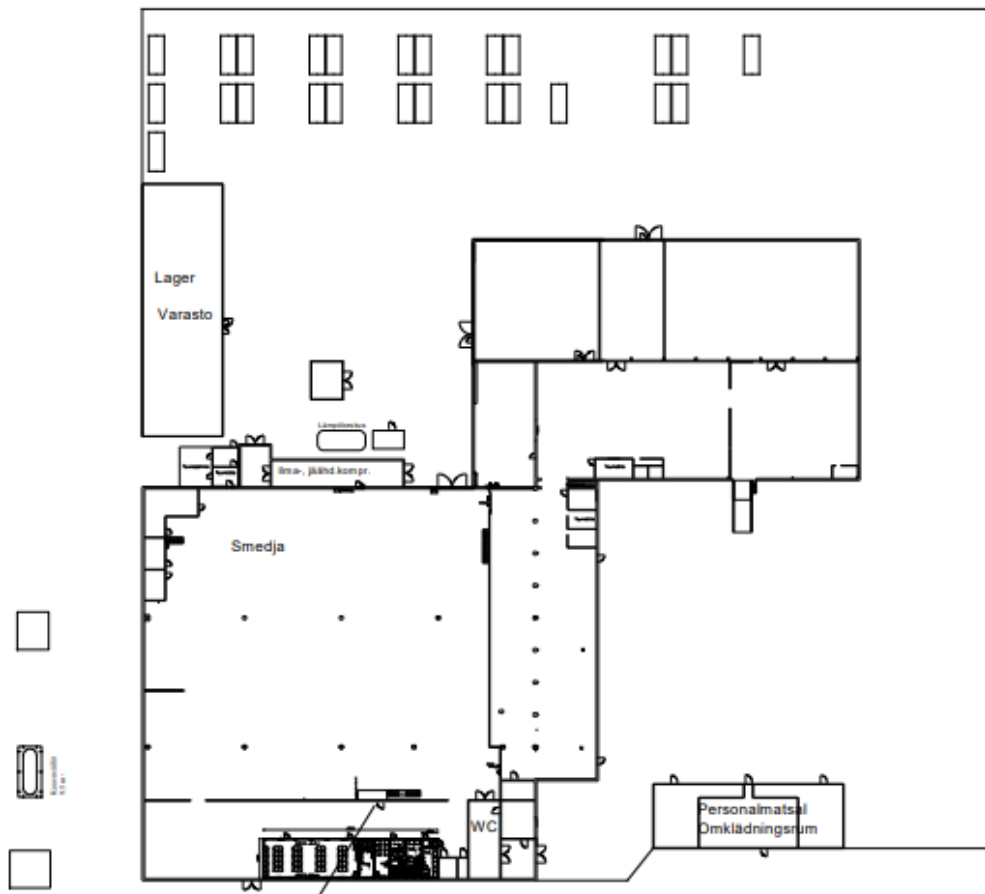
siihen, ettei tilaa haluta varustaa turhan isolla päätelaitteella, jotta ei aiheuteta tilaan liian isoja ilmavirtauksia. Maalaamolta on turhan pitkä matka rakentaa putkisto sosiaalitoihin ja lämmönjakohuoneeseen. Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia voitaisiin käyttää ainakin alustavasti maalaamon pesulinjan veden esilämmittämiseen.



Kuva 14 Maalaamolinjan huonelämpötila graafi

4.2 Länsitehtaan esittely

Länsitehtaan puoli toimii tehdaskokonaisuuden pajana, jossa tehdään terien taonta sekä karkaisu. Sarlin-päästösähköunit ovat yksi merkittävin lämmönlähde länsipuolella. Uuneja käytetään terien karkaisuun, minkä takia lämpötila uuneissa yltää yli 400 °C asteeseen tulipesässä. Uuneista tulleet tulikuumat terät jätetään myös karkaisun jälkeen viilentymään tehtaan sisälle niille tarkoitettuun alueelle. Terät hohkaavat kuumaa lämpöä useamman tunnin ennen niiden jatkoprosessointia. Tämäkin lämpö olisi hyödynnettävissä sopivalla ratkaisulla.



Kuva 15 Länsipuolen pohjakuva

Talvella hallin oma lämmöntuotanto on vähäistä tuotannon oman ”höngän” ansiosta. Sama lämpö vaikuttaa myös kesäisin ja tuotantohallin lämpötila nousee suhteellisen korkeaksi. Kesäisin pajalla työskentelevät pitävät nopeita vaihtovuoroja tuotannossa kuumuuden takia. Lämmönlähteitä on useita, ja sen kerääminen lämmönlähteistä yksittäin haastavaa. Mahdollisuutena on, että lämpö kerättäisiin tehtaan katonrajasta.

Karkaisu-uunien savukaasu on länsipuolen suurin lämmönlähde. Tuotannosta muodostuu kuumaa likaista savukaasua, jota hyödyntämällä voitaisiin myös vähentää ympäristöpäästöjä. Kuuma savukaasu ohjataan poistoilmaputkia pitkin ulkoilmaan. Poistoilmaputket ovat osin väljät uunien yläpuolella. Putkistoon pääsee siis osin sisäilmaa mukaan, jotta putkien lämpötila ei nousisi liian korkeaksi.

Uuneista syntyvä kuuma ilma ei kuitenkaan nouse ylös piippuun asti luukkujen ollessa kiinni, jos uunit eivät ole ajossa vaan ns. valmiustilassa. Valmiustilassa uunien lämpötila nousee 400 °C asteeseen.

Kuvan 11 avulla selvitettiin länsitehtaan jäähdytyslaitteiden tehoja. Tehoarvot tarkistettiin vielä koneiden laitekilvistä. Länsitehtaan vedenjäähdytyskoneistona toimii Carrier 30HXCc155. Sen nimellissähköteho on 213 kW ja jäähdytysteho 547kW ja sen lauhdutuspiiriin on kytketty kaksi lämmönsiirintä tehoiltaa 200 kW ja 300 kW. Kone on yli 15 vuotta vanha ja teknisen käyttöikänsä loppupuolella. Länsitehtaalla toimii myös pääkoneikon rinnalla 10 vuotta vanhempi varakoneikkona, jonka nimellissähköteho on 88 kW ja jäähdytysteho noin 220kW.

Yksi ratkaisuvaihtoehto olisi, että jäähdytyskoneisto uusittaisiin ja kokonaisuuteen yhdistettäisiin isomman luokan lämpöpumppulaitos. Lämpöpumppulaitos tuottaisi jäähdytystä sekä lämpöä länsitehtaalalle ja ylijäävä lämpö syötettäisiin länsitehtaan liittymän kautta kaukolämpöverkkoon. Paikallinen aluelämpöverkko voisi tuottaa lämpöä myös itätehtaaseen. Ratkaisun kannalta kannattavinta olisi, että lauhdelämpö siirrettäisiin ensisijaisesti Fiskarsin kiinteistöjen lämmityskäyttöön, ja ylijäämä syötettäisiin

kaukolämpöverkoston. Varaaja tulisi Fiskarsin kiinteistön lämpöjärjestelmä piiriin. Ratkaistavaksi jää, miten Fiskarsin kiinteistö saa lämmön ensisijaisesti kiinteistön käyttöön ja ainoastaan ylijäämävesi siirtyisi priimattuna kaukolämpöverkkoon.

Lämpöpumppuratkaisussa haettiin apua Oilon yritykseltä. Alustavia suunnitelmia saatiin aikaiseksi ratkaisunmallin sekä pumppukoon osalta. Seuraavassa osiossa on esitelty merkittäviä tekijöitä ja huomioitavia asioita pumppuratkaisun kanssa.

Ensimmäisenä tulee selvittää Raaseporin energiatarve kaukolämmön syötön kannalta. Millä lämpötilalla Raaseporin energia on valmis vastaan ottamaan lämpöä ja mikä on lämmönsyötön tarve kesäisin. Huomioitavaa on, että Raaseporin energiaa ei lähestytty työn aikana, sillä Fiskars ei halunnut vielä tässä vaiheessa edetä asian kanssa eteenpäin.

Pumppuratkaisulle tulee myös selvittää tehtaan kriittinen jäähdysteho kesäisin. Tämän avulla voidaan mitoittaa pumppuratkaisun nestejäähdytys tarvittavan pieneksi, että se on riittävä.

Olemassa olevan jäähdytyskoneen meno- ja tuloveden lämpötilat tuli myös selvittää. Jäähdytyskoneen käydessä 100 % teholla menovesi oli 13 °C astetta ja tulovesi 18 °C astetta mistä saatiin lämpötila ero 5 °C astetta. Mainittavana asiana oli, että jäähdytyskoneen käydessä pienemmällä teholla oli lämpötilaero pienempi. noin 3°C astetta, menoveden ollessa 12 °C astetta ja tuloveden 15°C astetta.

Lopullisessa pumppuratkaisussa olisi kaksi lämpöpumppua kytkettynä rinnakkain. Näin varmistettaisiin pumpun toiminta, vaikka toinen pumppu pettäisi. Alustava mitoitus pumppujen yhteistehoksi olisi lämmöntuotannon kannalta noin 800 kW ja jäähdytyksen osalta noin 650 kW. Pumpun tehot kattaisivat olemassa olevan jäähdytyskoneikon tehot.

Vaihtoehtona paikalliselle aluelämpöverkolle on, että lämpöä ei hyödynnettäisi kiinteistössä lainkaan, vaan se priorisoitaisiin suoraan kaukolämpöön.

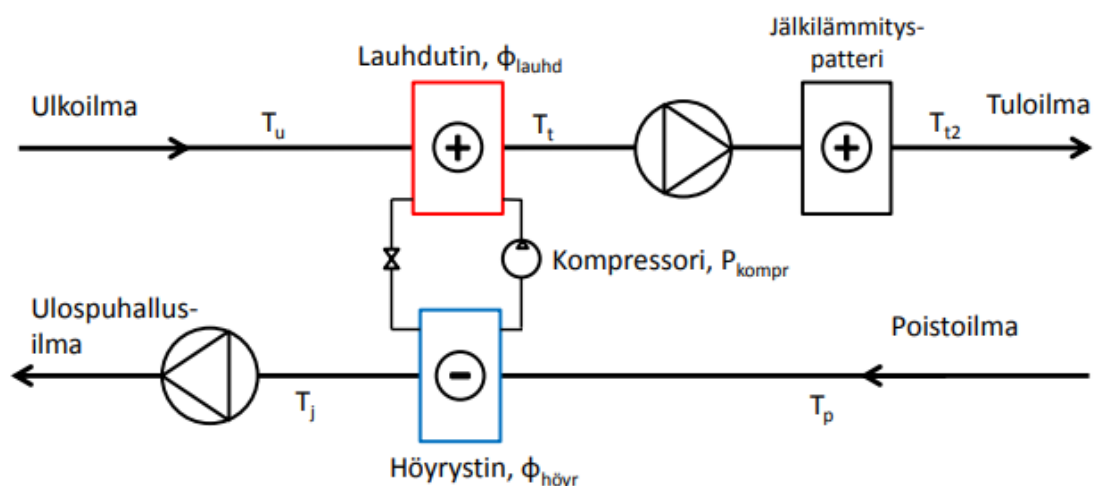
5 Valittujen ratkaisujen toimintaperiaatteet

Seuraavassa osiossa on esitetty eri tehtaan osa-alueiden mahdolliset ratkaisumallit hukkalämmön hyödyntämiseksi. Ohessa on mainittu tekniikka sen hyödyt ja miksi kyseiseen tekniikkaan on päädytty.

5.1 Itätehtaan toimintamalli ratkaisut

5.1.1 Halli 2 ja 3 poistoilmalämpöpumput

Tuotantohallien 2 ja 3 osalta lämmönlähteitä on useita. Sekä 2 hallin muovituslinjakoneiden, että hiontapuolen laitteisto tuottavat jatkuvasti lämpöä tehdastiloihin. Helppoa tapaa kerätä lämpö suoraan laitteista tai niiden läheisyydestä ei löydetty. Varmin tapa saada tilojen hukkalämpö talteen on kerätä se suoraan tilojen poistoilman kautta. Poistoilmastointiin asennettaisiin lämpöpumput, joiden avulla voitaisiin lämpöä siirtää myös tarvittaessa lämminvesivaraajalle sekä viilentää tuloilmaa. Yksinkertaisuudessaan poistoilmalämpöpumppu siirtää poistoilman lämpöä tuloilmaan. (17. PILP-opas 2018)



Kuva 17 Poistoilmalämpöpumpun toimintamallikuva (17. PILP-opas 2018)

5.1.2 Kuivurihuoneen maalämpöpumppuratkaisu

Kuivurihuoneen osalta päädyttiin maalämpöpumppu mallin NIBE F1355. Sähkölaitteiden lämpöhäviöitä tilaan laskettiin, mutta haasteena tuloksien luotettavuuden kannalta oli, että suurin osa lämmöstä johdettiin jäähdytyslaitteistoon. Lämpöhäviön määrän varmistamisella olisi voitu vielä harkita mahdollisesti astetta isompaa lämpöpumppua tilaan.

Lämpöpumppukokonaisuus maksaisi asennusfirman kautta 17217 €. F1355 on tehokas kaksoisinverterillä ohjattava suurten kiinteistöjen maalämpöpumppu. Lisäkustannuksia syntyy vielä ”dumpppauspatterista”, sekä paineilmakompressorista ja tarvittavista uusista putkistoista. Kahdella kompressorilla saadaan tarvittaessa samanaikaisen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuotto. Lämmintä menovettä voidaan tuottaa 65 °C asteisena. Maalämpöpumppuja voidaan yhdistää 9 kappaletta rinnakkain aina 540 kW asti. Pumpulla voitaisiin myös mahdollisesti halutessa viilentää muita lähellä olevia huonetiloja. Nibe tarjoaa pumppuihin 6 vuoden ilmaisen NIBETURVA:n mikä sisältää takuuajan ja ilmaisen lisävakuutuksen. (20. Nibe kiinteistölämpöpumput)

NIBE F1355		28	43*
Järjestelmän tehokkuusluokka huoneiden lämmityksessä: 35 / 55 °C ¹⁾		A+++/A+++	
Tuotteen tehokkuusluokka huoneiden lämmityksessä: 35 / 55 °C ²⁾		A+++/A+++	
SCOP _{EN 14825} keskilämmin ilmasto, 35 / 55 °C		5,0 / 4,0	5,0 / 4,0
SCOP _{EN 14825} kylmä ilmasto, 35 / 55 °C		5,4 / 4,2	5,3 / 4,1
Lämmitysteho	kW	4-28	6-43
Nimellislämmitysteho (P _{design}) 35 / 55 °C	kW	28	45/42
Lämmitysteho (P _H)	kW	4-28	6-43
Lämmitysteho (P _H) _{EN 14811} 0 / 35 nimellinen	kW	20,77	31,10
Äänitehotaso (L _{WA}) standardin EN 12102 mukainen, 0 / 35	dB (A)	47	
Nimellisjännite		400 V 3 N – 50 Hz	
Kylmäainemäärä (CO ₂ -ekvivalenttina)	tonnia	Ylempi kylmämoduuli: 3,55 Alempi kylmämoduuli: 3,90	Ylempi kylmämoduuli: 3,02 Alempi kylmämoduuli: 4,39
Korkeus/leveys/syvyys	mm	1800 / 600 / 620	
Paino	kg	335	351

Kuva 18 Nibe F1355 tekniset tiedot

5.1.3 PTFE-linjan lämpöpumppuratkaisu

Tehtaan maalaamon tiloihin lämpöpumppuratkaisu olisi myös mahdollinen. Mahdollinen pumppumitoitus tulee ajankohtaisemmaksi, kun maalaamon uudistukset on tehty. Maalaamon uunin peruskunnostuksella voi olla suuri vaikutus huonelämpötiloihin, joka vaikuttaa välittömästi pumppuhankkeen kannattavuuteen. Tilana maalaamo on hyvin samankaltainen kuin kuivurihuone eli todennäköisesti pumppuratkaisu olisi myös samaa kokoluokkaa.

Maalaamo on sijainniltaan kauempana lämmönjakohuoneesta, minkä takia lämpö tulisi priorisoida muualle. Alustavana käyttökohteena voisi olla PTFE-linja pesulinjaveden esilämmitys.

5.2 Länsitehtaan toimintamalli ratkaisut

5.2.1 Karkaisu-uunit - savukaasupesuri

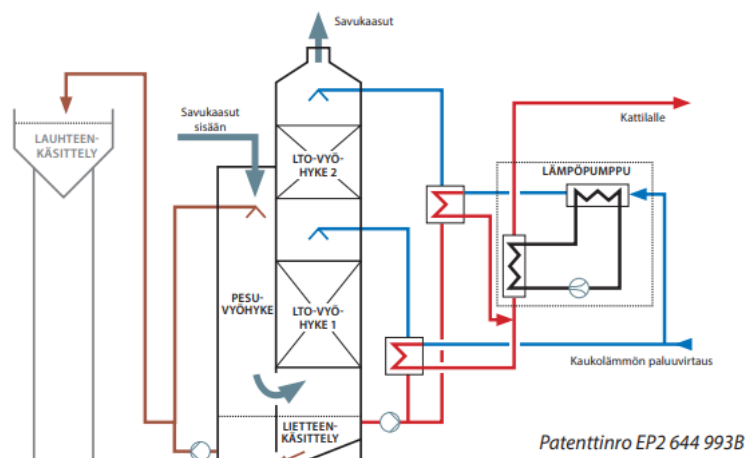
Länsitehtaan uunien kannalta olisi kaksi harkittavaa vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on, että uunien tuottamaa savukaasun lämpöä hyödynnettäisiin lämpöpumpun avulla. Länsitehtaan uunien putkisto tulisi uusiksi lämpöä kestävimpiin, jolloin ei olisi tarpeen enää haukata ylimääräistä ilmaan sisään putkeen. Näin putket olisivat ilmatiiviimmät ja lämpö siirtyisi pois tiloista paremmin. Uuden putkiston poistoilma olisi lämpötilaltaan korkeampi, mikä parantaisi lämpöpumpun lämpökerrointa. Putkiston savukaasujen lämpö kerättäisiin savukaasupesurin avulla. Kuvassa 18 on kaksi eri kytkentäesimerkkiä Caligo Industrian savukaasupesurin ja lämpöpumpun yhteistoiminnasta.

Kuvassa 19 on esitelty PHP-kytkentämalli (Parallel Heat Pum), missä lämpöpumppu on rinnankytketty. PHP-kytkentä mahdollistaa kaukolämmön paluulämpötilan syötön 65 °C:een asti. Kytkennässä ylemmän ja alemman lämmönottovyöhykkeen lämmönsiirtimet on kytketty rinnan, mikä mahdollistaa parhaan lämmöntalteenoton pienimmällä energiakulutuksella. Kytkentä

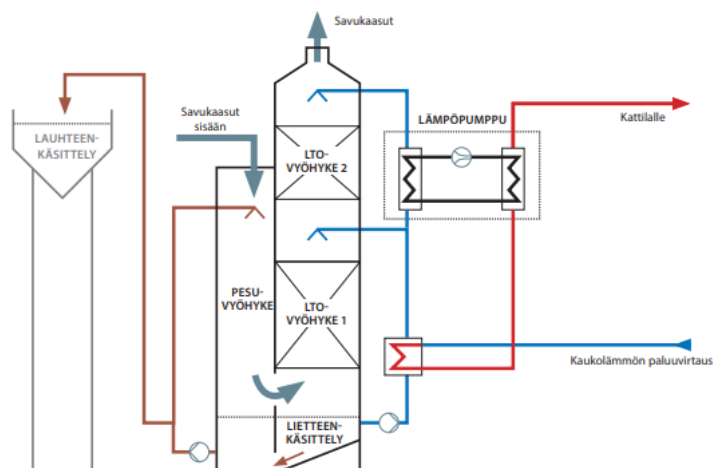
mahdollistaa myös parhaan lämpöpumpun mitoituksen optimoinnin ja tämän myötä lyhyemmän takaisinmaksuajan pesurin kokonaisinvestoinnille. PHP-kytkentämallin lämpöpumput toimivat tyypillisesti COP-arvoltaan välillä 7–9.

Vaihtoehtomallina toimii Caligo SHP-kytkentä (Serial Heat Pump, SHP), jossa ylemmän ja alemman lämmön talteenottovyöhykkeen lämmönsiirtimet on kytketty sarjaan. Kytkentämalli mahdollistaa kaukolämmön paluuvien syötön 80 °C:een asti

Caligo PHP-kytkentä kaukolämmön paluulämpötila 65°C:een asti



Caligo SHP-kytkentä kaukolämmön paluulämpötila 80°C:een asti



Kuva 19 Caligo Industrian esimerkki savukaasupesurista yhdistettynä lämpöpumppuun, PHP- ja SHP-kytkentä. (Caligo – savukaasupesujärjestelmä s.3)

Savukaasupesurin kannattavuuteen vaikuttaa savukaasun määrä, lämpötila sekä savukaasun kosteus. Fiskarsin Länsitehtaan uunit eivät ole jatkuvassa käytössä mikä tarkoittaa, ettei savukaasuja muodostu tasaisesti. Savukaasu on myös hyvin kuivaa. Savukaasupesurit ovat yleisempiä Suomessa haketeollisuuden lämpölaitoksissa sekä biomassalaitoksissa, jossa savukaasut ovat tasaisen jatkuvia ja korkeita kosteusarvolta.

Työn aikana oltiin yhteydessä Caligo Industrialiin, mutta arviot savukaasun määrästä ja lämpötilasta olivat niin epävarmoja veikkauksia, että asian kanssa ei edetty eteenpäin tässä vaiheessa. Länsitehtaan katolla tehtiin mittauksia savukaasuputkiston päästä uunien luukkujen ollessa kiinni. Lämpötilat eivät nousseet mittarissa merkitsevästi ja lisämittauksia ei enää tämän jälkeen tehty. Mittauksia hankaloitti tehtaan vaihteleva tuotanto sekä hankala pääsy katolle. (15. Caligo – savukaasupesujärjestelmä s.4)

5.2.2 Karkaisu-uunit – ORC-laitos

Toisena vaihtoehtona uunien osalta nähtäisiin mahdollisuus hyödyntää ORC-laitosta savukaasujenlämmöntalteenotossa. Länsitehtaan putkisto tulisi uusua, jotta lämpötila poistuisi tehtaasta suoraan ORC-laitokselle, jossa siitä muodostettaisiin sähköä. ORC-laitos toiminta alue on 80–350 °C, joka olisi optimi ratkaisun kannalta. Karkaisu-uunien savukaasun lämpötila arvio olisi noin 150–200 °C astetta. ORC-laitoksen kannalta haastavaa tulee myös olemaan saatavuus jatkuvalla lämpöenergialle. ORC-laitosten hyviä puolia on nopea ja laaja säädettävyys sekä helppo käynnisty ja sammutus. (1. Motiva, s. 7) On epävarmaa, voidaanko ORC-laitosta optimoida sopivaksi uunien käyttösykliin niin, että laitos pyörisi automaattisesti aina uunien ollessa toiminnassa.

Länsitehtaalla tulisi määrittää selvä ”jäähdytysalue”, johon tuotteet siirrettäisiin aina uunista jäähdytymään. Alueen yläpuolelle rakennettaisiin poistoilmahuuva, joka imisi tuotteiden hohkaavan lämmön poistoilmakanavaan ja mahdollisesti hyödyntää lämpöpumpussa.’

6 Johtopäätökset

Fiskarsin näkökulmasta tehtaalla on monia eri investointimahdollisuuksia. Investointeja on mahdollisuus toteuttaa pienemmässä muodossa itätehtaan puolella. Itätehtaan lämpöpumppuinvestoinnit olisivat kokoluokaltaan huomattavasti pienempiä länsitehtaaseen nähden. Taloudellisten hyötyjen lisäksi investoinnit parantaisivat tehtaan omavaraisuutta sekä vähentäisivät päästöjä. Motiivit investoinneille voidaan nähdä enemmän ympäristötavoite painotteisina, eikä taloudellisiin hyötyihin painottuvina.

Länsitehtaan investointien kannalta suuri tekijä on selvittää seuraavaksi, mikä on Raaseporin energian tarve kaukolämmöntuotannolle ja millä lämpötilalla he olisivat sitä valmiita vastaanottamaan lämpöä. Kaukolämpöyhtiön näkökulmasta yhteistyö lisäisi heidän varatehokapasiteettiansa sekä parantaisi kaukolämmön toimintavarmuutta. Tehdas on sijainniltaan poikkeuksellisen hyvällä paikalla kaukolämmönjakelun suhteen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli myös saada pumppumitoituksille konkreettisempia hinta-arvioita ja tätä kautta mahdollisia arvioita takaisimaksuajoille. Hinta-arvioiden jäädessä liian epävarmoiksi jätettiin takaisinmaksuajat kokonaan pois työstä. Investointien takaisinmaksu-aikaan tulee joka tapauksessa vaikuttamaan tulevaisuudessa sähkön hinta, huollot sekä mahdolliset laiteviat.

Työssä pyrittiin ennakoimaan ja huomioimaan eri vaikuttavia tekijöitä tulevaisuuden investointeja varten. Eri ratkaisumallivaihtoehtoja esiteltiin. Opinnäytetyön avulla Fiskars voi tehdä johtopäätöksiä, mihin suunta he haluavat keskittää tulevaisuudessa panokset hukkalämmönhyödyntämisen kanssa.

Lähteet

1. Motiva 2014, Tuotannon hukkalämpöhyödyksi. Viitattu 28.2.2023.
https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf
2. Motiva 2019, Esitelvitys ylijäämälämmön potentiaalia teollisuudessa. Viitattu 28.2.2023 [https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys - Ylijaamalammon potentiaali teollisuudessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Ylijaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf)
3. Energiateollisuus, Energiavuosi 2022 Kaukolämpö. Viitattu 2.3.2023 https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2022.pdf
4. FiskarsGroup Sustainability report 2022 Viitattu 2.3.2023 https://fiskarsgroup.com/wp-content/uploads/2023/02/FiskarsGroup_Sustainability_Report_2022-1.pdf
5. Energiateollisuus, Työ- ja elinkeinoministeriö, Teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntäminen kaukolämmityksessä Viitattu 6.3.2023 <https://docplayer.fi/2968184-Tyo-ja-elinkeinoministerio.html>
6. Caligo industrial, Ratkaisut teollisuuteen. Viitattu 22.3.2023 <https://www.caligoindustria.com/ratkaisumme/ratkaisut-teollisuuteen/>
7. Waste heat technologies: Categorization of waste heat utilization technologies 2019. Viitattu 2.4.2023 <https://www.waste-heat.eu/about-waste-heat/waste-heat-technologies>
9. Norcla Oy, ORC-teknologialla hukkalämmöstä sähköenergiaa. Viitattu 2.4.2023 <https://www.norcla.fi/orc.html>
9. Sarlin ORC-teknikkaan perustuvat lämmön hyötykäyttöjärjestelmät. Viitattu 3.4.2023 <https://www.sarlin.com/tuote/orc-teknikkaan-perustuvat-lammon-hyotykayttojarjestelmat/>
10. Motiva Lämpöä ilmassa, lämmitysjärjestelmät ilmalämpöpumput 6/2008 Viitattu 14.05.2023 <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>
11. VTT Energia 1998, Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä Viitattu 22.5.2023 <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>

12. Valtteri Pirttinen, Selvitys ilmaisenergian hyödyntämisteknologioista 2014. Viitattu 22.05.2023
<https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=4bedf672-c022-4b41-bc16-9f19ef7090f3>
13. Motiva Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen lämpöpumppu ja ORC-sovellukset
https://www.motiva.fi/files/13513/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu- ja_ORC-sovellukset.pdf
14. Sarlin, CHP, ORC ja turbiinitekniikan prosessit – energiatuotannon tutut termit innovaatioiden taustalla, viitattu 26.05.2023
<https://www.sarlin.com/chp-orc-ja-turbiinitekniikan-prosessit-energiantuotannon-termit/>
15. Caligo Industria – Caligo – savukaasupesujärjestelmä, viitattu 28.3.2024
<https://www.caligoindustria.com/wp-content/uploads/2023/08/Caligo-Scrubber-Brochure-2023.pdf>
17. PILP-opas 2018 - Poistoilmalämpöpumpun (PILP) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten, viitattu 26.5.2024
https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PILP-opas-2018-3A3AA968_B9E7_48FC_ACEB_7C4E7F0917D8-133697.pdf/2d81f5bb-4869-191f-dc98-f8ff7bb0cc69/PILP-opas-2018-3A3AA968_B9E7_48FC_ACEB_7C4E7F0917D8-133697.pdf?t=1603260246178
18. Panasonic, Mitä COP- ja SCOP-arvo tarkoittavat, viitattu 31.5.2024
https://www.aircon.panasonic.eu/FI_fi/happening/mika-on-cop-ja-scop-arvo/
19. Calefa, The COP of the high-temperature heat pump, viitattu 31.5.2024
<https://calefa.fi/en/hotlevel/>
20. Nibe kiinteistölämpöpumput viitattu 3.5.2024
<https://assetstore.nibe.se/hcms/v2.3/entity/document/849180/storage/ODQ5MTgwLzAvbWFz>

