

Teknologiaselvitys

Hukkalämmöstä hyötyenergiaa



12.2.2020



 **PORI**



SATAKUNTALIITTO

Vipuvoimaa
EU:lta
2014-2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Sisällys

1.	Tausta ja tavoitteet.....	3
1.1.	Hukkalämmön hyödyntämisen ajurit	3
2.	Ajankohtaista.....	4
3.	Määritelmät	4
4.	Teknologiakartoitus.....	5
4.1.	Tietokantahaku	5
4.2.	Hakutulosten käsittely ja arviointi	6
4.3.	Sovelletut teknologiat.....	8
5.	Rajaukset ja arviointi	9
5.1.	Menetelmä	9
5.2.	Tulokset.....	11
5.2.1.	Uusimpia hukkalämpöteknologioita	12
5.2.2.	ORC-teknologia.....	13
5.2.3.	Lämpöpumput	13
6.	Johtopäätökset ja suositukset.....	15
LIITE 1.	TIETOKANTAHAUN KESKEISET TULOKSET	
LIITE 2.	TEOLLISUUSPUISTOISSA TOTEUTETTUIEN JA/TAI SUUNNITELTUIEN HUKKALÄMPÖJÄRJESTELMIEN YHTEENVETO	

Teknologiaselvitys

Hukkalämmöstä hyötyenergiaa

1. TAUSTA JA TAVOITTEET

Prizztech Oy on satakuntalainen kehittämisorganisaatio, jonka tavoitteena on elinkeinoelämän ja maakunnan kilpailukyvyyn parantaminen. Tämä selvitys on toteutettu osana Prizztech Oy:n hallinnoimaa ”Hukkalämmöstä hyötyenergiaa” -hanketta, jota rahoittavat Satakuntaliitto (EAKR) ja Porin kaupunki. Hankkeen yhtenä tavoitteena on kartoittaa parhaita teknologisia ratkaisuja ja menetelmiä hukkalämmön hyötykäytön edistämiseksi Satakunnan alueen teollisuusympäristöissä.

Työn tavoitteena on kustannustehokkaasti tuottaa lisätietoa parhaista hukkalämpöjen teknologisista ratkaisuista ja menetelmistä. Selvityksen painopiste on teknologioissa, jotka ovat nousseet esille ja/tai kehittyneet Motivan tuottaman julkaisun, ”Tuotannon hukkalämpö hyödyksi” vuodelta 2014, jälkeen.

Selvitys jakautuu kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa on kartoitettu aihealueen teknologiayrityksiä globaalisti. Toisessa vaiheessa on kartoitettu suomalaisissa teollisuuspuistoissa käytettyjä sekä valikoitujen suomalaisten yritysten käyttämiä sovelluksia ja teknologioita hukkalämpöjen hyödyntämisessä. Kolmannessa vaiheessa edeltävien vaiheiden selvitysten löydökset ovat rajattu ja tiivistetty.

Tämän raportin päävastuullinen tekijä on Ilkka Pihlainen, Boyard Oy:stä. Asiantuntijoina ovat toimineet Janne Hietaniemi, Solved Oy:stä ja Joonas Mussalo, Avanto Ventures Oy:stä.

1.1. HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISEN AJURIT

Hukkalämpöä on hyödynnetty energiatehokkuuden parantamiseksi vuosikymmeniä, mutta tultaessa 2020-luvulle on hukkalämmön hyödyntämiseen uusiakin ajureita kuten:

1. Poliittinen paine ja regulaatio vähähiilisyteen, vähähiiliseen teolliseen tuotantoon ja hiilivapaaseen kaukolämpöön
2. Taloudellisen kannattavuuden paraneminen muodostuen matalasta sähkön hinnasta ja tulevista mahdollisista verohuojennuksista koskien mm. lämpöpumppujen käyttämää sähköä
3. Kaukojäähdytyksen kysynnän kasvu
4. Teknologian kehittyminen erityisesti lämpöpumpputeknologioiden osalta
5. Energiapalveluyritysten (Adven, Calefa ja paikalliset kunnossapitoyhtiöt), energiayhtiöiden (Helen, Fortum jne.) ja teknologiatoimittajien proaktiivinen myyntityö
6. Suurien hukkalämpöresurssien omistajien uudelleen käynnistyvät energiaselvitykset osana teollisuusalakohtaisia ”vähähiilisyden tiekarttoja”.

2. AJANKOHTAISTA

Suomessa on vuonna 2019 tehty työ- ja elinkeinoministeriön johdolla laajalla yli 100 hengen energiatehokkuustyöryhmällä mittava työ, joka luo perustan Suomen energiatehokkuustekemiselle lähivuosille. Raporttia on kutsuttu jopa ”energiatehokkuuden Raamatuksi”. Yhtenä uutena ja merkittävänä toimenä työssä nostettiin esiin hukkalämpöjen systemaattinen hyödyntäminen. Toimenpide löytyy yksityiskohtaisemmin raportin liitteenä olleesta toimenpidekortista numero 11: Ylijäämälämmön laajamittainen hyödyntäminen.¹

Energiatehokkuustyöryhmä on teettänyt työlleen vuonna 2019 taustaraportin, jossa teollisuuden hukkalämpöjen tekniseksi potentiaaliksi arvioitiin 16 TWh/a. Viimevuosien aikana mm. Motiva-vetoisesti tehty pohjatyö on erinomainen lähtökohta sille, että Satakunnassa tehdään uusia hukkalämmön hyödyntämistoimenpiteitä. Niille on nyt ”tilausta” kuin myös uusia työkaluja käytettävissä ja julkista tukea saatavissa niin ”perustekemiseen” kuin innovatiivisiin pilotointeihinkin.

3. MÄÄRITELMÄT

Hukkalämpö (ylijäämälämpö, jätelämpö) on erilaisten prosessien tuottamaa energiaa, jota ei hyödynnetä ja se siirtyy ympäristöön. Hukkalämpöä syntyy useissa prosessien virroissa kuten

- Lauhde- ja jäähdytysvesi
- Jätevesi
- Lietteet
- Hönkähöyryt (kosteaa höyryä)
- Savukaasut
- Poistoilma ja -kaasut
- Tuotteiden ja laitteiden säteilylämpö ympäristöön
- Prosessien reaktiolämpö

Lämpöpumppu hyödyntää lämmönlähdettä tuottaen sähkön avulla joko lämpöä tai jäähdytystä. Lämpöpumppuja on useita eri tyyppisiä. Laitetyypin valinta riippuu lämmönlähteestä ja lämpötilasta sekä tuotettavasta energiasta.

ORC (Organic Rankine cycle) on teknologia, jolla hukkalämmöstä voidaan tuottaa sähköä. ORC:ssä kiertoaineena käytetään veden sijasta orgaanista ainetta, joka höyrystyy ja lauhtuu prosessissa vastaavalla tavalla kuin perinteisessä höyryvoimalaitosprosessissa.

Stirling-moottori tuottaa sähköä hukkalämmöstä. Moottorin kiertoaineena toimii kaasu, joka laajenee lämmön avulla ja tuottaa mekaanista energiaa perinteisellä sylinteri-mäntä-kampiakseli -kokoonpanolla.

¹ julkaisu: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161811>

Teollisuuspuisto on itsenäisten tuotantolaitosten, yritysten ja toimijoiden keskitymä, jotka hallitsevat omistustensa tai sopimustensa kautta alueitaan ja vastaavat lainsäädännön mukaisesti toiminnastaan ja sen turvallisuudesta. Teollisuuspuistossa toimii tuotantoyritysten lisäksi kumppanuusyhtiöitä, jotka tarjoavat erilaisia palveluja tuotannollista toimintaa harjoittaville yrityksille, kuten tuotantolaitosten huolto- ja kunnossapitopalvelut, jätehuolto- ja puhtaanapitopalvelut sekä veden toimitus, lämmönvälitys, tiestön ja pysäköintialueiden hoito, aluevartiointi jne.

Termosähköelementit (Thermo Electric Generator, TEG) ovat kahden eri metallin muodostama pari, joka muuttaa hukkalämmön sähköksi. Teknologia perustuu lämpösähköiseen ilmiöön (Seebeck-ilmiö), jossa lämpötilaero synnyttää sähköä.

4. TEKNOLOGIAKARTOITUS

4.1. TIETOKANTAHAKU

Tietokantahaun päätavoitteena oli löytää yrityksiä, joiden tarjoamat teknologiat ovat kypsiä sovellettaviksi Satakunnan teollisuusympäristöissä. Kypsin teknologian yleisenä vaatimuksena oli, että se on välittömästi toteutettavissa, todennettu toimivaksi ja jo hakuhetkellä kaupallisessa käytössä. Kaupallisesti valmiiden ratkaisujen luokittelemiseksi hyödynnettiin kriteeristöä, joka ilmaisee ratkaisun maturiteettia. Ensimmäinen näistä on asiakasreferenssit, eli tiedossa olevat, toteutetut ratkaisutoimitukset. Toiseksi, yrityksellä todennetaan olevan merkittävää liikevaihtoa, joka viittaa, ettei asiakasreferensseissä ole kyse vain pilotoinnista, tai kokeiluvaiheen ratkaisuksista. Kolmanneksi, yrityksen vastaanottaman riskirahoituksen (venture capital sijoitukset) katsotaan toimivan indikaattorina sekä yrityksen, että teknologian potentiaalista. Venture capital sijoittajat toteuttavat jokaiselle sijoitukselle 'due diligence' -prosessin, jossa yrityksen teknologiaa, henkilöstön osaamista, sekä kaupallista kyvykkyyttä arvioidaan syvällisesti. On kuitenkin huomioitava, ettei riskirahan vastaanottamista pidetty välttämättömänä kriteerinä. Hankkeen kannalta kiinnostavat yritykset ovat voineet saada alkupääomansa suoraan perustajilta, muilla rahoitusmuodoilla, tai kasvaa orgaanisesti.

Hanketta varten toteutettiin aihealueen ympäriltä globaali yrityshaku sekä teknologian kehittäjien, että lopullisten ratkaisutoimittajien osalta. Kartoitusta suoritettiin hyödyntäen Avannon tietokanta-aineistoa energiateknologisista innovaatioista. Tietokannat sisältävät huomattavan määrän kansainvälistä tietoa, mitä ei ole saatavilla yritysten internet-sivuilta. Samoin ne sisältävät tutkimus- ja pilotointivaiheen innovaatioita, joihin ei ole vielä edes perustettu yritystä. Hankkeessa hyödynnettiin pääsääntöisesti viittä eri tietokantaa:

- Traxcn
- Pitchbook
- CBInsights
- Gust
- Crunchbase

Varsinainen tietokantahaku toteutettiin hakusanojen avulla. Hakusanat koostettiin yhteisesti hankkeen asiantuntijoilta, sekä ennalta tiedettyjen yritysten tietokantakuvausten perusteella. Hankkeen aikana hakusanoja täydennettiin myös haun avulla löydettyjen yritysten kuvausten perusteella.

Huomiota kiinnitettiin myös tuotettavaan energiaan, erityisesti sähköön. Kokemuksen perusteella useimmiten hukkalämpöjen hyödyntämisen esteenä on lämmön kulutuskohteen puuttuminen. Sen sijaan sähköä tarvitaan kaikkialla ja ylijäämän voi tarvittaessa myydä verkkoon. Tietokantahaussa hyödynnettiin tutkimushankkeen tuloksien teknologioita. Käytetyt teknologiat ovat listattu seuraavassa taulukossa.

Taulukko 1. Lämmöstä sähköksi teknologiavaihtoehdot (lähde: T Sarah Broberg Viklund and Maria Johansson, Technologies for utilization of industrial excess heat: Potentials for energy recovery and CO2 emission reduction, 2014, Energy Conversion and Management, (77), 369-379.)

Table 2. Technologies for conversion of heat into electricity.

Technology	Electricity efficiency (η)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Medium of the excess heat source	Stage of development
Rankine cycle (traditional)	Condensing 0.47 ^a CHP 0.3 ^c	>240 ^b	Gas, steam	Commercial
ORC	0.05-0.2 ^d	30-480 ^d	Gas, liquid	Commercial
Kalina cycle	0.12-0.17 ^e	120-400 ^{f,g}	Gas, liquid	Commercial
CO ₂ transcritical power cycle	0.025-0.08 ^h	60-150 ^h	Gas, liquid	Development
TEG	0.01-0.05 ^{i,j}	150-600 ^{j,k}	Gas, liquid	Small-scale commercial
TPV	0.1-0.2 ^{l,m}	1000-1800 ^{l,m}	Radiation	Development
Stirling engine	0.13-0.36 ^{n,o,p,q}	100-700 ^{o,p,q,r}	Gas, liquid	Development ^s
PCM engine	0.025-0.09 ^j	25-95 ^t	Water	Demonstration

^a[78], ^b[48], ^c[79], ^d[80], ^e[81], ^f[82], ^g[83], ^h[55], ⁱ[84], ^j[6], ^k[85], ^l[67], ^m[65], ⁿ[70], ^o[86], ^p[87], ^q[88], ^r[72], ^sMature technology but not for heat recovery applications [70,72], ^t[76]

4.2. HAKUTULOSTEN KÄSITTELY JA ARVIOINTI

Kattavien tietokantahakujen tuloksena koostettiin ensimmäinen yrityslistaus, josta karsittiin ensimmäisenä hankkeen kannalta epäolennaiset yritykset. Jäljelle jääneet yritykset arvioitiin syvällisemmän tarkastelun perusteella kolmeen kategoriaan, joista koostettiin pitkälistaus (**ns. longlist**). Yritysten luokittelu toteutettiin hyödyntäen yllä esitettyä tietokantahaun kriteeristöä, ottaen huomioon myös yrityksen maantieteellisen sijainnin. Kategorisoinnin merkitys on seuraava:

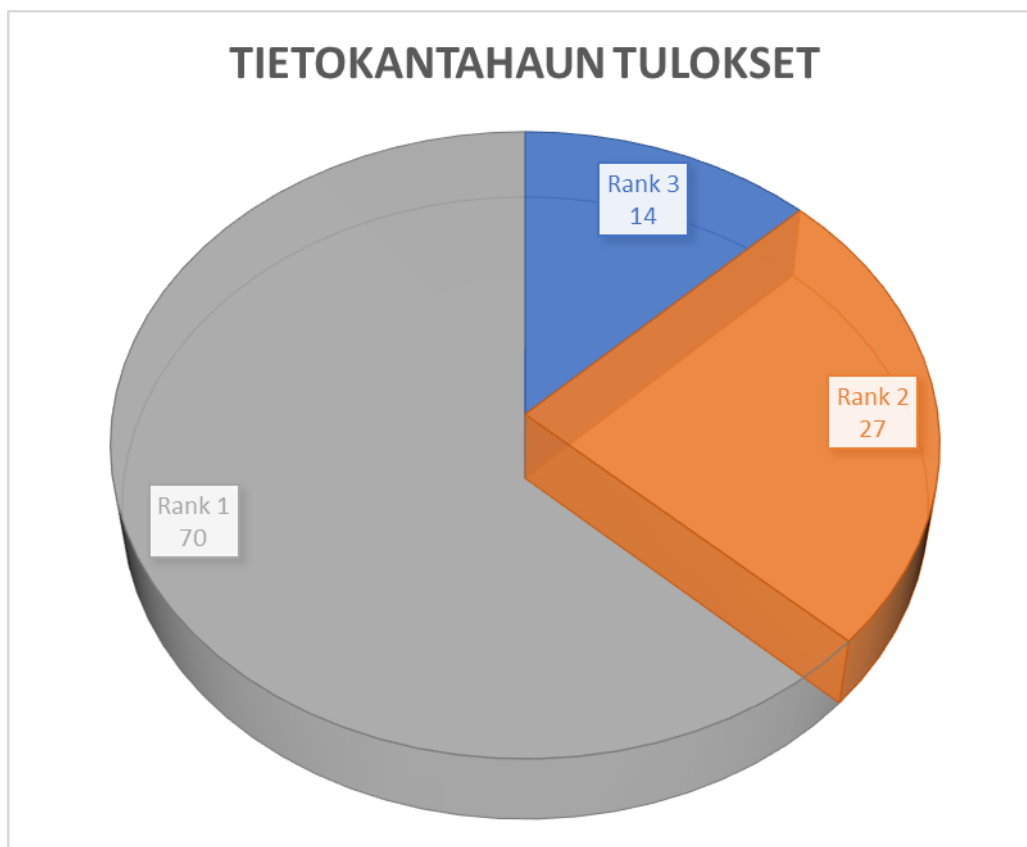
Rank 3: Yritys täyttää kaikki toivotut kriteerit, eli sillä on selkeästi valmis ratkaisu, olemassa olevia asiakkaita sekä merkittävää liikevaihtoa. Lisäksi yrityksellä odotetaan olevan sekä kiinnostusta, että kyvykkyyksiä toimittaa ratkaisuja Suomeen.

Rank 2: Yritys täyttää suurimman osan toivotuista kriteereistä. Muutamien kriteerien osalta sillä on kuitenkin havaittu puutteita. Tällöin kyse on esimerkiksi puutteista saatavilla olevasta tiedosta, asiakasreferensseistä tai yrityksen on katsottu olevan hieman liian pieni. Tai saatetaan epäillä, ettei yritys ole herkästi kiinnostunut toimittamaan ratkaisuja Suomeen, esimerkiksi maantieteellisen sijaintinsa vuoksi. Jos yrityksellä on ollut paljon puutteita kriteeristössä, sen eduksi on voitu kuitenkin katsoa esimerkiksi hankkeen kannalta kiinnostavat, tunnistettavat referenssit, sekä suuret riskipääoma rahoitukset.

Rank 1: Yrityksellä on useita puutteita asetetussa kriteeristössä. Yleisimmin kyse on siitä, että yritys on yhä hyvin alkuvaiheessa. Sillä ei ole esimerkiksi lainkaan liikevaihtoa eikä asiakasreferenssejä. Yrityksellä saattaa kuitenkin olla tulevaisuuden kannalta kiinnostava ratkaisu, jonka vuoksi yrityksen kehittymisen seuraaminen on arvokasta.

Tietokantahaun tulokset

Tietokantahakujen tuloksista koostettiin ensimmäisessä vaiheessa hieman yli 2000 yrityksen lista. Epäolennaisten yritysten karsimisen jälkeen yrityksiä kertyi longlistille yhteensä 111. Longlistille päätyneiden yritysten jakauma on seuraava:



Kuva 1. Tietokantahaun tulokset jaoteltuna kategorioittain

Longlistille koottujen yritysten keskimääräinen ikä on 14 ja mediaani 10 vuotta.

Hukkalämmön hyödyntämiseen keskittyneiden innovatiivisten yritysten maturaatio on melko hidasta. Tämä on teknologiavetoiselle toiminta-alueelle hyvin tyypillistä. Uudet innovaatiot syntyvät usein esimerkiksi yliopistolähtöisesti. Tällöin voi kestää vuosia, ennen kuin innovaatiosta perustetaan edes yritys. Myös yrityksen alkuvaihe on tyypillisesti pitkittynyt. Etenkin tilanteissa, joissa innovaatioiden ratkaisukohteet ovat suuria tehtaita, on vastapuolen vaatimuksena, että teknologian toimivuus on todennettu perusteellisesti asiaan kuuluvassa ympäristössä. Tämän seurauksena kasvuyritykset usein joutuvat olemaan vuosikausia alku- tai kokeiluvaiheessa ennen varsinaista kasvua.

Alkuvaiheessa olevien yritysten kokeilu- tai pilottikohteista on tavallisesti vähäisesti julkista informaatiota saatavilla. Kasvuyritysten toiveena olisi kuitenkin jakaa julkisesti tämänkaltaista tietoa, joten tahtotila hiljaisille kokeiluille syntyy potentiaalisten ostajien (esim. tehtaiden) puolelta. On mahdollista, että ostajana toimivat tahot pitävät hankkeita strategisesti tärkeinä, eivätkä halua esimerkiksi tiedon siirtymistä kilpailijoille. Vastapuolella toimivat tahot saattavat esimerkiksi hyödyntää kokeiluja omaan tutkimus- ja kehittämistoimintaansa. Tilanteen muuttumisesta on kuitenkin olemassa merkkejä, sillä esimerkiksi Stora Enso ja Fortum ovat biojalostuksen puolella tuoneet julkisuuteen useita maailman ensimmäisenä tehtyjä tehdasmittakkaan demonstraatiohankkeita.

Yleisesti katsoen, hukkalämmön hyödyntämiseen ympärillä toimiviin kasvuyrityksiin sijoitetaan melko maltillisesti venture capital rahoitusta. Aihe on erittäin teknologiavertainen, jonka vuoksi sijoittajilta vaaditaan vahvaa fokusta ja ymmärrystä energia-alasta, jotta due diligence voidaan tehdä kustannustehokkaasti. Geneerisemmät riskisijoittajat astuvat tyypillisesti mukaan vasta myöhemmässä vaiheessa, kun yrityksen teknologiaa lähdetään tuotteistamaan. Venture capital rahoituksen sijaan yrityksille myönnetään julkista tukirahaa, esimerkiksi Euroopassa EU:n Horizon 2020 ohjelmasta.

Tietokantahaun perusteella muodostetulla longlistilla on 50 kappaletta yrityksiä, jotka on perustettu 2010 jälkeen. Tämä asettaa odotuksia innovatiivisten yritysten määrän kasvuun myös jatkossa. Hukkalämmön hyödyntämisen kiinnostuksen kasvua näyttää todennäköiseltä, että aiheen ympärillä toimivien kasvuyritysten määrän kasvu tulee jatkossa yhä kiihtymään ja venture capital sijoittajien kiinnostus aiheeseen kasvamaan. Yhdessä nämä muutokset ruokkivat toinen toisiaan. Etenkin tuorempien yritysten joukossa on toimijoita, jotka ovat kehittäneet täysin uusia teknologioita, vanhempien järjestelmien jatkokehittämisen sijaan. Nuoria aihealueen yrityksiä löytyy suuri määrä ympäri Eurooppaa ja Yhdysvaltoja, jonka perusteella hukkalämpöjen hyödyntämisen liiketoiminta ei tulevaisuudessa kasva pelkästään Suomessa vaan laajemminkin.

4.3. SOVELLETUT TEKNOLOGIAT

Edellä tehtyä tietokantapohjaista kartoitusta on täydennetty suomalaisten teollisuuspuistojen sekä valittujen teollisuusyritysten parhaista käytännöistä jo toteutetuista ja/tai suunnitelluista hukkalämpöhankkeista. Kartoituksessa on selvitetty sekä tekniset ratkaisut että toteutukseen liittyviä seikkoja. Hukkalämpöjen hyödyntämistä on kartoitettu seuraavissa kohteissa:

- Kokkolan suurteollisuusalue
- Yara Siilinjärvi
- Porvoon Kilpilahti
- Karhulan (Kotka) teollisuuspuisto
- Alholmen Industrial Park (Pietarsaari)
- Äänekosken biotuotetehdas
- Vapo Oy
- SMA Mineral AB, Ruotsi

Edellä mainituissa teollisuuspuistoissa ja teollisuusyrityksillä ei ole löydetty olevan käytössä uusia teknologioita hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Hukkalämpöjen hyödyntämisessä ensiarvoista on ydinprosessin/-tuotannon häiriötön toiminta. Tällöin uudet vielä luotettavuudeltaan epävarmat ratkaisut ovat poissuljettuja.

Teollisuuspuistojen käyttämät hukkalämpöteknologiat ovat koottuna taulukkoon liitteessä 2.

5. RAJAUKSET JA ARVIOINTI

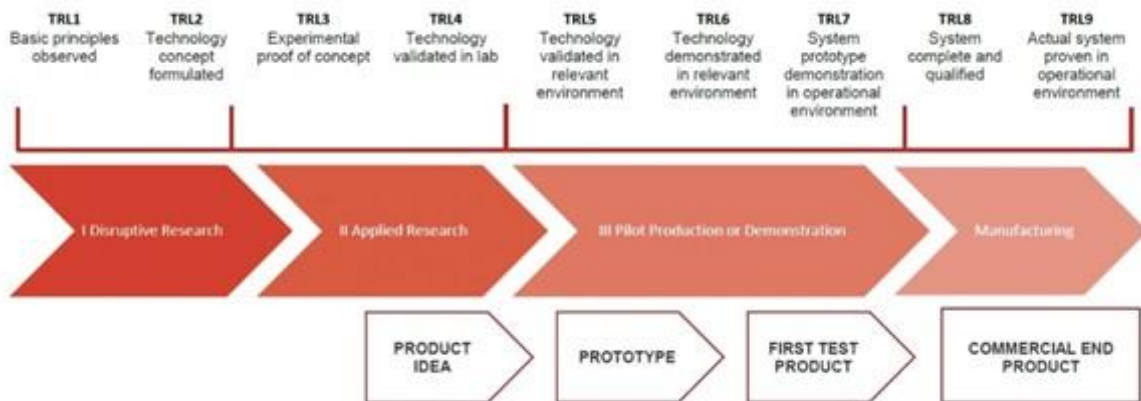
5.1. MENETELMÄ

Edellisissä vaiheissa löydettyjä innovaatioita, teknologioita ja menetelmiä on rajattu kriteeristöllä:

- vain teollisuuteen soveltuvat ratkaisut
- valmiit ratkaisut sellaisenaan sovellettaviksi
- vähintään pilotointivaiheen ratkaisu toteutettu
- teknologian valmiusaste vähintään TRL 6²

Teknologian valmiustaso (Technology Readiness Level, TRL) -asteikko on menetelmä, jolla arvioida eri teknologioiden kypsyyttä. TRL:n avulla voidaan vertailla eri teknologioita saman aihealueen kohdalla kuten tässä hukkalämpöjen hyödyntämisen. TRL-asteikko on 1 - 9, jossa TRL 9 on kypsä tekniikka. Seuraavassa kuvassa on havainnollistettu erot TRL arvojen välillä.

² käytössä EU:n rahoittamissa projekteissa Horisontti 2020 -puiteohjelmassa <https://enspire.science/trl-scale-horizon-2020-erc-explained/>



Kuva 2. Teknologian valmiusasteen asteikko, TRL (lähde: EU Horizon 2020)

Keskeisenä tavoitteena on listata yritykset, joilla on Satakuntaan sovellettavissa olevaa teknologiaa hukkalämpöjen hyödyntämiseen.

5.2. TULOKSET

Tuloksissa on arvioitu vain tietokantahaulla löytyneet uudet teknologiat. Teollisuuspuistoista ei löydetty uuden teknologian hankkeita.

Periaatteessa hukkalämmön talteenottoon on kolme lämmönkorjuutapaa:

1. Lämmönvaihdin
2. Säteilökerääjä
3. Lämpöpumput

Tunnistettuja uusia hukkalämpöteknologioita on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 2. Uudet hukkalämpöteknologiat

Teknologia	TRL-arvio Huomiot	Päämitoitusarvot	Toimittajat
Adsorptiojäähdytys	TRL 9 Koeteltua tekniikkaa	Kapasiteetti 30-300kW.	InvenSor
Kemiallinen lämpöpumppu	TRL 6 Pilotti käynnissä Borealiksen kanssa (sijaintia ei mainittu)	Min 75 °C lämpötila.	QPinch
Lämmönvaihdin + lämpöpumppu	TRL 9 Koeteltua tekniikkaa	Kostea ilma	Terraocalefa
ORC	TRL7...9 Koeteltua tekniikkaa, yhdistetty lämpöpumppu uutta	Lämmönlähde 60...350 °C Kylmälähde 0...30 °C	Triogen Climeon E-Rational Exergy Orcan Energy Ormat Rank Turboden Viking Heat Engines
Höyryruuvi	TRL 8 Toimituksia 23 UK:ssa, 1 Irlannissa ja 10 Keski- ja Etelä-Euroopassa.	Lämmönlähde 150...300 °C Höyry max ΔP 15 / 20 bar(g) 90...630 kWe 180 / 650 kWmec	Heliex Power
Termosähköelementti	TRL 6 Uutta teknologiaa, pilotti käynnissä	Lämmönlähde 700...1200 °C 1,5...2,5 kWe/m2 8...20 kWth/m2	RGS Development

Hukkalämmön nykyistä tehokkaampaan hyödyntämiseen keskeinen teknologia on tulevaisuudessakin erilaiset lämmönvaihtimet. Teknologiakehityksen mukanaan tuomia uusia mahdollisuuksia tarjoavat entisestään kehittyneemmät lämpöpumput sekä ORC-teknologia.

Selvityksemme tuo ilmi, että mekaanisten lämpöpumppujen teknologiakehitys avaa ihan uuden mahdollisuuden esimerkiksi päästöttömän kaukolämmön tuottamiseen. Lämpöpumpuilla päästään yli 100, jopa 130 asteen lämpötiloihin. Lisäksi absorptiolaitteiden kehitys mahdollistaa teollisuudessa jopa höyryn tuotannon, joka voi jopa "mullistaa" hukkalämpöjen hyödyntämisen. Näillä lämpöpumpuilla päästään jopa 165 °C lämpötiloihin. Höyryntuottamisen mahdollisuus voi laittaa ajattelemaan uusiksi kokonaisia prosessikytkentöjä. Tosin höyryntuotannossa maksimilämpötila on 125 astetta 1 bar(g) paineessa. Usein teollisuuden höyrynpaineet ovat 3...8 bar(g) tasolla, joten paineen lisääminen vaatii lisälaitteita.

Uuden teknologian mahdollistamien hukkalämpöjen hyödyntämiseen kehitetään uusia analyysimalleja ja Satakunnan teollisuusalueillakin voitaneen lämpöpumppujen avulla mm. vähentää primäärienergian tarvetta, tehostaa prosesseja ja tuottaa kaukolämpöä. Vuorokausitason lämpöakut ja jopa lämpöenergian kausivarastointi voivat myös olla uusia nousevia hukkalämmön hyödyntämistapoja. Myös hukkalämmön hyödyntäminen biopolttoaineen kuivaukseen voi toimia kausivaihteluiden tasaajana. Hukkalämmöllä kuivataan biopolttoainetta silloin, kun hukkalämpöä ja kosteaa polttoainetta on saatavilla ja vastaavasti kuivattua polttoainetta voidaan käyttää kovan lämmöntarpeen aikana "priimaukseen".³

Löydetyistä uusista teknologioista toinen valmiina käyttöön otettavissa Satakunnan teollisuudessa on ORC. Perusteena joustavuus laajalla lämpötila-alueella, useita eurooppalaisia toimittajia ja koeteltu tekniikka. ORC kannattavuutta kuitenkin heikentää suhteellisen vaatimaton n. 10% luokkaa oleva höytysuhde alle 100 asteen lämpötiloissa.

5.2.1. UUSIMPIA HUKKALÄMPÖTEKNOLOGIOITA

Selvityksen yhteydessä löytyi useita potentiaalisia teknologioita hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Nämä ovat vielä pilottivaiheessa, TRL 5 tai alle, ja siten eivät sovellu satakuntalaisille yrityksille vielä. Kuitenkin nämä ovat lähellä koeteltua tekniikkaa ja siten merkityksellisiä seurattavia. Uusia potentiaalisia hukkalämpöteknologioita ovat:

- erilaiset lämmönvaihdinsovellukset kuumille ja likaisille virroille
- ORC:n lämpötila-alueen laajeneminen molempiin suuntiin sekä teholuokan kasvu
- Stirling-moottorit
- Termosähköelementtitoimittajien lukumäärä kasvaa
- Kuumasta kylmään chillerit, joissa voi tehdä jätelämmöstä kylmää

Korkealämpöisellä (>350 °C) ylijäämälämmöllä voidaan tehdä sähköä tavallisella höyryvoimaprozessilla, mutta tätä alemmilla lämpötiloilla sähköntuotannon vaihtoehtoja ovat mm.

³ Esimerkiksi SF Tec Oy on kehittänyt innovatiivisia kuivureita, jotka voivat hyödyntää hukkalämpöjä biopolttoaineen ja lietteiden kuivaukseen.

- ORC-prosessi
- Termosähköelementit
- Matalalämpö-Stirling moottori.

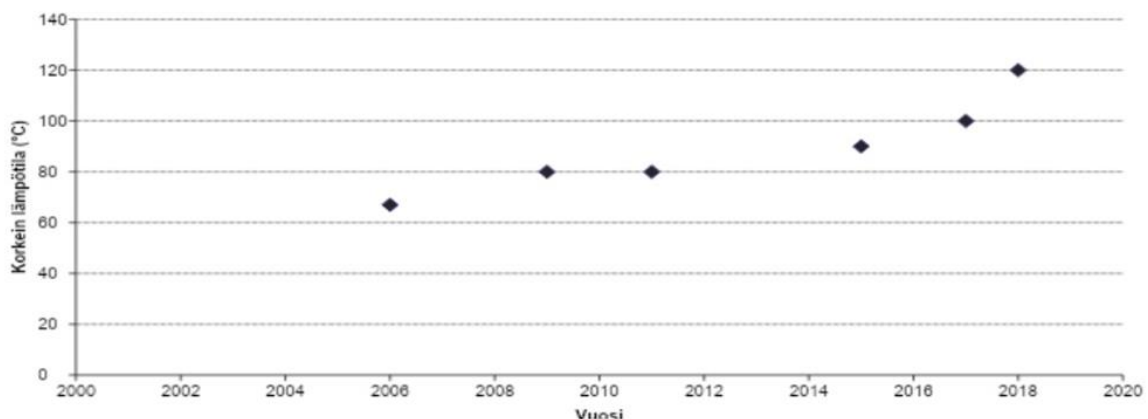
5.2.2. ORC-TEKNOLOGIA

ORC-teknologialla voidaan tuottaa hukkalämmöstä sähköä. Suomessa on toteutettu ORC-teknologialla kaasumoottorin pakokaasuista talteenotto HSY:n Ämmässuon ja Viikinmäen laitoksilla. Näistä Ämmässuon laitos on investoitu yli 10 vuotta sitten, joten tämän investoinnin hintaa ei voi verrata tämän päivän hintoihin. Samoin Viikinmäen laitoksen investoinnin hinta on merkittävästi suurempi kuin nykyiset hinnat.

ORC-yksikön (160 kWe) hinta on tiedusteltu laitetoimittajalta. Laitteiston investointi on noin 500 000 € ja sen käyttökulut vaihtelevat 15...30 000 €/a välillä. Oletettavasti ORC-teknologialle voi saada energiatukea. Arvion mukaan tukitaso voisi olla 26 %. Huomioiden tuen, poistot ja korot niin tuotetun sähkön hinta asettuu 62...78 €/MWh välille. Laskelmassa on oletettu hukkalämmön olevan ilmaista ja laitteiston huipunkäyttöaika 6 000 h/a. Suuremmilla yksiköillä sähköntuotannon hinta jää alhaisemmaksi.

5.2.3. LÄMPÖPUMPUT

Lämpöpumput ovat kehittyneet merkittävästi viimeisten vuosien aikana ja ne ovatkin jo koeteltua teknologiaa. Teknologian kehityksen takia näitä on syytä tarkastella hieman tarkemmin. Merkittävin tekijä lämpöpumppujen yleistymisessä teollisuudessa on niiden kyky tuottaa korkeampaa lämpötilaa. Tuotettu lämpötila on kaksinkertaistunut viimeisen 12 vuoden aikana.



Kuva 3. Oilon Oy:n teollisuuslämpöpumppujen korkeimman tuotetun lämpötilan kehitys (Lähde Smart Energy Transition, Martti Kukkola, 2019)

Lämpöpumput ovat nousseet vaihtoehdoksi kaukolämmön tuotantoon 2000-luvulla. Kaukolämpöä tuotetaan hukkalämmöistä seuraavissa kohteissa

- puhdistettu jätevesi
 - Helsingissä Katri Valan lämpöpumppuasema tuottaa lämpöä 105 MW ja jäähdytystä 70 MW teholla. ⁴
 - Espoo
 - Turku
 - Göteborg
 - Oslo
- savukaasut
 - Riihimäki
 - Akaa
- datakeskuksen jäähdytysvesi tai -ilma
 - Mäntsälässä 35 asteisesta konesalin jäähdytysilmasta otetaan hukkalämpöä talteen 6 MW teholla
 - Trondheim

Selvityksessä saatiin viitteitä siitä, että muillakin paikkakunnilla on otettu tai ollaan ottamassa lämpöpumppuja käyttöön kaukolämmityksessä. Verrattaessa vuosien 2016 ja 2018 kansallisia kaukolämpötilastoja voidaan nähdä, että ”Lämmön talteenotto tai lämpöpumpun tuotanto” kaukolämmön tuotannossa nousi 2 vuoden jaksolla 14 % ja ”Lämpöpumppujen lämmöntuotantoon käyttämä sähkö” kulutus nousi kahdessa vuodessa 6%. Vuosina 2019-2023 voisi arvioida, että lämpöpumppujen hyödyntämiseen kaukolämmön tuotannossa voidaan arvioida nopeutuvan entisestään. Ajureina toimivat nopean teknologisen kehityksen lisäksi vähähiiliseen kaukolämpöön siirtyminen ja lämpöpumppujen käyttämän sähkön verovapautus.

Teknologiatoimittajia lämmön tuotantoon lämpöpumpuilla ovat esimerkiksi Friotherm, Carrier, Johnson Control ja Oilon.

Lämpöpumppujen kehityksen lisäksi näiden kokonaisratkaisuisissa merkittäviä muutostekijöitä ovat:

- teollisten lämpöpumppujen teknologinen kehitys
- syvien ja keskisyvien maalämpökaivojen läpimurto
- edullinen tuulivoima
- sähköveron muutos
- metsien hiilinielujen merkityksen korostuminen (vs. biomassan polttaminen)

⁴ <https://www.helen.fi/en/company/energy/energy-production/power-plants/katri-vala-heating-and-cooling-plant>

6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Teollisen hukkalämmön hyödyntämistä kaukolämpöön ja sen kannattavuutta rajoittaa se, että teollisesta prosessista on tarjolla hukkalämpöä prosessin ehdoilla. Prosessin primäärituote ei ole hukkalämpö. Prosessiteollisuuden ylijäämälämmöt ovat usein käytettävissä, mutta esimerkiksi monilla tehtailla joulunaikaan pidettävän huoltoseisakin aikana eivät ole. Näin ollen hukkalämpö voi vaatia rinnalleen varajärjestelmän.

Energiatehokkainta on, kun hukkalämpöä syntyy mahdollisimman vähän. On kuitenkin väistämätöntä, että hukkalämpöä aina syntyy jonkin verran. Riippuen mm. energiamääristä ja lämpötilatasoista, hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia kannattaa yleensä tarkastella seuraavassa järjestyksessä:

1. Miksi hukkalämpö syntyy, voidaanko sen syntymistä vähentää
2. Hyödynnetään hukkalämpö lämpönä prosessiin / energiantuotantoon tehtaalla
3. Muunnetaan sähköksi tai käyttöhyödykkeisiin tai esilämmitykseen (sisältäen kuivaus ja väliaineen regenerointi)
4. Hyödyntäminen omien rakennusten lämmitykseen
5. Teollinen yhteistyö alueellisesti / integraatio
6. Hyödyntäminen kaukolämmöksi
7. Lämmön (kausi)varastointi



Kuva 4. Hukkalämpöjen hyödyntämisen mahdollinen tarkastelujärjestys

Selvityksemme synnyttää näkemyksen, että ensinnäkin Suomessa valtiotasolla tul-laan lähivuosina "kääntämään jokainen kivi" hukkalämpöjen ottamiseksi hyötykäyt-töön, ja korvaamaan primäärienergian polttamista ja sen kautta CO₂-päästöjen syn-nyttämistä . Lisäksi toiminnanharjoittajien tasolla on nyt nähtävissä, että Suomen teollisuuspuistot ovat nyt entistä systemaattisemmin miettimässä miten

hukkalämmöt saadaan hyötykäyttöön esimerkiksi kaukolämpöön. Provosoivimmissa väitteissä on väläytelty mahdollisuuksia tuoda kaukolämpöä Kemiin rakennettavalta sellutehtaalta Ouluun ja myös "ikuisuuskyseminen" tuoda Helsinkiin kaukolämpöä Porvoosta on jälleen tarkastelun alla. Uuden teknologian mahdollisuudet yhdistettynä aiempaa suurempaan paineeseen päästöttömyyteen tulee hyödyntämään teollisuuden hukkalämpöjä useita terawattitunteja, luoden Suomessa jopa kymmenien miljoonien eurojen energiatehokkuusmarkkinan.

Tietokantahaun perusteella todetaan kaksi merkittävää johtopäätöstä Satakunnan alueen teollisuusyrityksille. Ensimmäiseksi, hukkalämmön hyödyntämisen merkitys tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Uusien, hukkalämmön hyödyntämiseen keskittyneiden teknologiayritysten määrä on kasvussa. Etenkin tuoreempien yritysten joukossa on toimijoita, jotka ovat kehittäneet täysin uusia teknologioita, vanhempien järjestelmien jatkokehittämisen sijaan. Näiden teknologioiden potentiaaliset hyödyasteet mahdollistavat sekä aiempien, että täysin uusien hukkalämpölähteiden hyödyntämisen kustannustehokkaasti. Toiseksi, tämä muutos tulee tapahtumaan vasta lähitulevaisuudessa. Teknologioiden valmiusasteen kehittyminen vie vuosia, johtuen teknologioiden hitaasta maturaatiosta. Teknologiapotentiaalin täytyessä nämä ratkaisut tulevat kuitenkin mahdollistamaan aiempaa suurempia kustannussäästöjä teollisuusyrityksille. Vahvistaen kilpailukenttää hukkalämmön hyödyntämisessä niin teknologiayritysten, kuin teollisuusyritysten keskuudessa.

Hukkalämpö on merkittävä askel kohti kiertotaloutta, resurssitehokkuutta sekä hiilineutraalia yhteiskuntaa. Teknis-taloudelliset edellytykset ovat olemassa.

Suosittelemme Satakunnan teollisuudelle seuraavia toimenpiteitä:

- kokonaisvaltaiset teollisuusaluekohtaiset hukkalämpöselvitykset sisältäen hukkalämpöjen uudet teknologiset hyödyntämismahdollisuudet samoin kuin tiiviimpi lämpöintegrointi ympäröivään yhdyskuntaan (vähintään kaukolämpö ja lämmön kausivarastointi) sekä uuden hallituksen verolinjaukset koskien lämpöpumppujen käyttämää sähköä.
- teknologiakokeilut uusimpien lämpöpumpputeknologioiden ja ORC osalta
- tutkimushankkeet, joissa hukkalämpö kytketään yhteiskunnan sähköistymiseen ja kysyntäjouktoon
- erilliselvitys hukkalämpöjen hyödyntämisestä biopolttoaineiden, yhdyskuntalietteiden tai metalliteollisuuden lietteiden kuivaamiseen
- hukkalämpöpotentiaalin hyödyntämisen innovatiiviset hankintamallit, kuten hukkalämmön ESCO-hankkeet ja/tai (yhteis)kilpailutukset ja/tai "reverse pitching". Voidaanko hukkalämmön hyödyntämiseksi järjestää huutokauppa vastaavaan tapaan kuin uusiutuvan energian lisäämiseksi on tehty?

Ensimmäisinä toimenpiteinä hukkalämpöjen hyödyntämisessä on syytä selvittää seuraavia:

- lämmön lähde
- kulutuskohde
- konseptisuunnitelma eli teknologiavaihtoehtojen mallinnus ja mitoitus

- kannattavuuslaskenta
-

Liite 1.

Taulukko 3. Tietokantahaun keskeiset tulokset.

Yritys	Verkkosivu	Maa	Perustettu	Teknologia	TRL-arvio Huomiot	Lyhyt kuvaus	Referenssit	Työntekijä lukum.
InvenSor	https://invensor.com/en	Saksa	2006	Adsorption chiller	TRL 9 Useita toimituksia 2010-luvulla	Yrityksen ratkaisu hyödyntää hukkalämpöä viilennystarkoituksiin. Asiakassegmentteinä etenkin CHP laitokset, data-centerit ja kaukolämpö. Kapasiteetti 30-300kW.	Useita	16
QPinch	https://www.qpinch.com/	Belgia	2012	Chemical heat pump	TRL 6 Pilotti rakenteilla/rakennettu Hollantiin. Tulokista ei tietoa	Yrityksen teknologia mahdollistaa yli 75 asteisen hukkalämmön hyödyntämisen MW-luokan projekteihin, yleensä höyryksi tai vedeksi. Suunnattu etenkin petrokemikaali-, ruoka- ja paperiteollisuudelle.	Muutamia	17
Terrao (Starklab SAS)	http://www.terrao-exchanger.com/en/	Ranska	2013	Heat Exchanger & Heat Pump	TRL 9	Yrityksellä on kaksi eri tuotetta, joista 'TerraoSave' on suunnattu etenkin teolliseen käyttöön. Ratkaisu on lämpöpumppu joka erottuu seuraavasti: "In TERRAO, different from traditional heat exchangers, the fumes mix directly with water in circulation. This process allows not only for energy reuse through thermal transfer but also for the retainment and subsequent treatment of pollutants, including dust, fine particles, CO2, NOX, metals, and acids in gaseous or solid form."	Yli 40 referenssikohdetta Ranskassa	21
Climeon	https://climeon.com/	Ruotsi	2011	ORC	TRL 8 Useana vuonna kasvanut liikevaihto indikoi useita referenssejä. Sivustolla listattu vain 2.	Yrityksen ratkaisu perustuu ORC:iin, mutta matalammilla painetasoilla. Mahdollistaa Climeonin ratkaisun käytön yhdistelmällä 70-120 asteista, ja 0-30 asteista vettä.	Kaksi (SSAB, Viking Line)	93
E-Rational	https://www.e-rational.net/applications/industrial-waste-heat	Belgia	1953	ORC	TRL 9 Lähes 30 referenssiä vuodesta 2011.	Yrityksen ORC ratkaisu soveltuu 85-170 asteisiin hukkalämpö virtoihin.	Useita	1000+ (Burke Porter Group)
Exergy	https://www.exergy-orc.com/	Italia	2011	ORC	TRL 9 Lukuisia teollisuuden referenssejä.	Yrityksen ORC ratkaisu on suunniteltu 80-350 asteisen hukkalämmön hyödyntämiseen. Yrityksellä yli 50 installaatiota tehtynä, joista 21 on hukkalämmön talteenotossa.	Useita	56
Orcan Energy	https://www.orcan-energy.com/en/	Saksa	2008	ORC	TRL 9 Yli 200 toimitettua yksikköä.	Yrityksen ORC ratkaisu suunniteltu 5-100kW käyttökohteisiin, yli 60 asteisiin hukkalämpö lähteisiin. Lupaavat hukkalämmön kustannukseksi n. 0,04 senttiä per kW.	Useita	48
Ormat	https://www.ormat.com/en/renewables/reg/main/	Yhdysvallat	1965	ORC	TRL 9 Useita toimituksia myös Euroopassa.	Suuri, julkisesti listattu yritys, jolla ratkaisuja hukkalämmön hyödyntämiseen. Ormatilla yli 70 patenttia ORC:in liittyen Yhdysvalloissa.	Useita	1000+
Rank (Expander Tech SL)	https://www.rank-orc.com/?idioma=eng	Espanja	2000	ORC	TRL 9 Lukuisia teollisuuden referenssejä.	Yrityksellä useita eri ORC ratkaisuja, jotka suunniteltu 90-210 asteisen hukkalämmön hyödyntämiseen. Teknologia suunnattu etenkin biomassassa, metalli, lasi, ruoka, paperi ja kemianteollisuuteen.	Useita	8
Turboden	https://www.turboden.com/	Italia	1980	ORC	TRL 9 Koeteltua tekniikkaa	Yrityksen ORC ratkaisuja on käytössä yli 380 laitoksessa, 45 maassa. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd osti yrityksen vuonna 2013.	Useita	191
Viking Heat Engines	http://vikingheatengines.com	Norja	2009	ORC & Industrial heat pump	TRL 7 Pilotoitu, mutta ei tietoa toimivuudesta.	Yrityksellä on kaksi eri tuotetta 'HeatBooster' (lämpöpumppu teollisuuteen) sekä 'CraftEngine' (ORC, yhteistyössä AVL Schrickin kanssa). HeatBooster muuttaa hukkalämpöä 165 asteeseen saakka.	Muutamia (Aselca, Valotech, Wienerberger) myös pilotti US Navy aluksella	18
Heliex Power	https://www.heliexpower.com/	Englanti	2010	Steam Screw Expanders	TRL 8 Useita toteutuskohteita.	Yrityksen tuote perustuu innovaatioon, jossa hukkalämpöä määrän höyryn muodossa pystytään hyödyntämään uudella tavalla.	Muutamia	26

RGS Development	http://www.rgsdevelopment.nl/	Hollanti	2000	Thermo Electric Generators	TRL 6 Ensimmäinen ref kohde käynnissä.	Yrityksen TEG teknologia on suunnattu 700-1200 asteisen hukkalämmön hyödyntämiseen sähköntuotannossa. Referensseistä löytyy Tata Steel, joka mielenkiintoinen. RGS:n patentoitu teknologia on juuri korkeiden lämpötilojen ympärillä.	Yksi	17
Calefa	http://www.calefa.fi/fi	Suomi	2013	Useita	---	Calefa toimii insinööritoimistona, joka hyödyntää muiden toimittajien ratkaisuja hukkalämmön hyödyntämiseen. Toteutettuja ratkaisuja yli 100 erilaisiin käyttötarkoituksiin. Yrityksen partnereina toimivat mm. SWEP, Grundfos, Turboden, World Energy ja Bitzer	Useita	12

Liite 2.

Seuraavassa taulukossa on kunkin kohteen toteutus- ja/tai kehityshankkeiden ominaispiirteitä.

Taulukko 4. Teollisuuspuistoissa toteutettujen ja/tai suunniteltujen hukkalämpöjärjestelmien yhteenveto. (luottamuksellinen)

	Kokkolan suurteollisuusalue	Yara Siilinjärvi	Porvoon lahti	Kilpi-	Karhulan (Kotka) teollisuuspuisto	Alholmen Industrial Park (Pietarsaari)	Äänekosken biotuotetehdas	Vapo Oy	SMA Mineral AB, Ruotsi
Päävastuullinen toteuttaja	KIP Services, Kokkolan Energia ja Boliden	Yara	Veolia, Borealis, Neste		Ei hukkalämpöjen toteutuksia	Ahlholmens Kraft, UPM ja Katternö Group	Metsä Group	Vapo	SMA
Teknologia-toimittaja	useita		useita		---		useita	useita	Ei tietoa
Käytetty teknologia	LTO-kattila	Levylämmönvaihtimet, prosessikytkentöjen muutokset	Lämmönvaihtimet, prosessien muutokset (energiatohokkuus)		Kaukolämpö kiinteistöjen lämmitykseen	Normaali lämmönvaihdinteknologia. Muualla samat toimijat hyödyntäneet lämpöpumppuja	12 toimijaa käyttää fiksusti energioita "ristiin"	Lämmönsiirtimet, lämpöpumput	Vesikiertoinen putkilämmönvaihdin
Hyödyntämislähde	Rikkihappoprosessi, sinkkipasuuna	Rikkihappoprosessi ja kaasut	Jäähdytys- ja kiertovedet		---	Selluprosessi	Selluprosessin sekundääri- lämmöt	Teollisuusprosessit ja -vedet, savukaasut	Rumpu-uunin vaippa
Hyödyntämis- kohde	Kaukolämpö, ollut myös biopolttoaineen kuivaus	Kaukolämpö yhdyskunnalle, esilämmitys, kuivaus	Lisäveden lämmitys, kaukolämpö yhdyskunnalle		---	Kaukolämpö	Ekosysteemin toimijat	Kaukolämpö	Kaukolämpö yhdyskunnalle
Tekniset ominaisuudet	Biopolttoaineen aumakuivaus		110...120 °C 30...40 MW		Normaali kaukolämpö		Normaali lämmönvaihdinteknologia	vaihtelee	300...350 °C
Hyödyt	LTO-kattiloilla tuotetaan höyryä ja rikkihappoprosessista kaukolämpöä	Ei häiriöitä ydinprosesseille, yhdyskunnan kaukolämmön tuotanto	Ei häiriöitä ydinprosesseille		Kiinteistöjen lämmitys			Edellytyksenä liiketaloudellinen kannattavuus	Ei häiriöitä ydinprosesseille, jäähdyttää prosessia, lämpö talteen
Haitat		Kaikkea hukkalämpöä ei voida hyödyntää joh-tuen KL-verkon kapasiteetista			Ei hukkalämpöjen talteenottoa		Hyödyntämisessä huomioitava, että hukkalämpöä saatavilla pääprosessin ehdoilla		Ei haittoja
Mitä tekisivät toisin / parantaisivat		Suurempi KL-kuorma yhdyskuntaan			---				
Muut kehityksessä olleet vaihtoehdot			Käynnissä selvitys kaukolämmön tuotannosta Helenille		Ei kehitteillä olevia hankkeita	Tarkastelussa koko integraatin hukkalämmöt	Käytössä energiaoptimointimalli, jonka perusteella tehdään kokonaisoptimointia		Ei näköpiirissä uusia ratkaisuja