



Kirjallisuuskatsaus:

Esimerkkejä teollisuuden sähköistymisen, korkean lämpötilan lämpöpumppujen ja hukkalämmön hyödyntämisen viimeaikaisesta kehityksestä

10/2026

Esipuhe

Sähköistamisellä, lämpöpumpuilla ja hukkalämpöjen hyödyntämisellä on keskeinen rooli teollisuuden energiatehokkuuden parantamisessa ja päästöjen vähentämisessä. Sähköistämistä tukeva teknologinen kehitys on nopeaa, mikä avaa samalla uusia liiketoimintamahdollisuuksia alan yrityksille.

Kirjallisuuskatsaus on tuotettu vuonna 2026 osana Elinkeinoelämän energiatehokkuusopimuksien toimeenpanon tukea. Katsaus havainnollistaa alan viimeaikaista nopeaa kehitystä ja tarjoaa taustatietoa Motivan vuonna 2027 käynnistyvälle yhteishankkeelle. Katsauksen esimerkit voivat auttaa suomalaisia teollisuusyrityksiä tunnistamaan uusia mahdollisuuksia tuotantonsa energiatehokkuuden parantamiseksi. Katsauksen on koonnut Motiva Energiaviraston mahdollistamana.

Katsaus nostaa esille esimerkkejä viime vuosina tapahtuneesta kehityksestä teollisuuden sähköistymistä tukevissa teknologioissa viimeaikaisten tutkimusten ja esimerkkitoteutusten pohjalta. Painopiste on korkean lämpötilan lämpöpumppujen kehityksen tarkastelussa. Katsaus täydentää vuonna 2024 Motivan julkaisemaa kirjallisuusselvitystä ”Sähköistämällä energiatehokkuutta teollisuudessa”, joka toteutettiin taustaselvityksenä teollisuuden sähköistämistä edistävään yhteishankkeeseen.

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Sisällysluettelo	4
1 Johdanto	6
2 Teollisuuden sähköistämisen haasteet ja mahdollisuudet	7
3 Korkean lämpötilan lämpöpumput	9
3.1 Kehitys vuosina 2025–2026	9
3.2 IEA:n dokumentoimia demonstraatiohankkeita	11
3.2.1 Suuri höyryä tuottava lämpöpumppu Delfortin paperitehtaalla Tervakoskella	12
3.2.2 Suurteholämpöpumpulla lämpöä suoraan höyryverkkoon: Everllence & Vicinity Energy – Charles River -lämpöpumppulaitos, Boston (USA)	12
3.2.3 Haidutusprosessin hukkalämmön hyötykäyttö Südzuckerin sokeritehtaalla Saksassa	12
3.2.4 Hukkalämmöstä höyryä tuottava MW-kokoluokan lämpöpumppu Tiense Suikerin sokeritehtaalle Belgiaan	13
3.2.5 Hukkalämmön hyötykäyttö lämpöpumpulla korvaamaan maakaasun peruskuormaa Royal FrieslandCampinan meijerissä Hollannissa	14
3.2.6 Kaukolämpö lämpöpumpun lämmönlähteenä kylläisen höyryn tuotannossa Axilone Metalin tehtaalla pakkaustuotteiden valmistuksessa Espanjassa	14
3.2.7 Hukkalämmöstä prosessihöyryä rehuntuotantoon Felleskjøpet Agri SA:n rehutehtaalle Norjassa	15
3.2.8 Happamien savukaasujen hukkalämmöstä lämpöpumpulla lämpöä kuivausjärjestelmälle hiilinegatiivisten tiilien valmistuksessa Vandersanden tehtaalla Belgiassa	15
3.2.9 Maakaasukattilan korvaaminen hukkalämmöllä tiilien kuivauksessa ja sähköuuni tiilien valmistuksessa Wienerbergerin tiilitehtaalla Itävallassa	16
3.2.10 Prosessilämpö ja -jäähdytys lämpöpumpuilla maakaasukattila korvaten viskin valmistuksessa - Ahascragh Distillery Irlannissa	17
3.2.11 Vierteen keittoprosessin hukkalämmön talteenotto lämpöpumpulla - Hepworthin panimo Irlannissa	18
3.2.12 Korkean lämpötilan lämpöpumpujen taloudellisuustarkastelu maitojauheen tuotannossa	19
3.2.13 Jäähdytysverkoston jäähdytyksestä lämpöä lämpöpumpulla spraykuivausprosessin esilämmitykseen maitojauhetehtaalla – Arla Foods, Svenstrup (Tanska)	19

3.2.14	Ulkoilmaa lämmönlähteenä käytävä lämpöpumpun ja MVR:n yhdistävä ratkaisu maakaasun korvaamiseksi höyryntuotannossa panimolla Coloradossa USA:ssa	20
3.3	Korkean lämpötilan lämpöpumppujen toteutuksia Suomessa	20
3.3.1	SSAB:n Hämeenlinnan tehtaan hukkalämpö hyötykäyttöön Loimuan kaukolämpöverkossa	21
3.3.2	UPM Korkeakosken sahan kuivaamon hukkalämmön hyötykäyttö	21
3.3.3	Mäkelä Alu hyödyntää hukkalämpöjä lämpöpumpun avulla puristuslinjasta, anodisointilaitoksesta ja valimosta	21
3.3.4	BEWI Finland Oy:n Muurlan solumuovitehtaan prosessin hukkalämpö hyödyksi	21
3.3.5	Snellman Pietarsaareissa kylmäkoneen hukkalämpöä korkealämpöiseen käyttöön	22
3.3.6	Orionin Espoon ja Turun tehtaiden prosessijäähdytyksen hukkalämpöä tehdaskiinteistöjen lämmitykseen	22
3.3.7	Kiilto Lempäälä – ylijäämälämpöä Lempäälän kaukolämpöverkkoon	22
4	Esimerkkejä kiinteän aineen ja korkean lämpötilan latenttilämpövarastojen kehityksestä viime vuosilta	23
4.1	Esimerkkejä kiinteän aineen lämpövarastoista	23
4.2	Esimerkkejä korkean lämpötilan latenttilämpövarastoista	25
5	RotoDynamic Heater (RDH) ja RotoDynamic Reactor (RDR) teknologioiden viime vuosien kehitys	26
5.1	Höyrykrakkaus osana muovien kierrätysteknologioiden sähköistämistä ELECTRO-hankkeessa	26
	Lähdeluettelo	28
	Liite 1. Korkean lämpötilan lämpöpumpputeknologiat	31

Sähköistyminen nähdään keinona vähentää teollisuuden kasvihuonekaasupäästöjä ja riippuvuutta fossiilisista polttoaineista, sekä parantaa energiatehokkuutta. Samalla esimerkiksi sähköpohjainen lämmitys mahdollistaa polttoprosessia tarkemman lämpötilansäädön ja nopeamman vasteen. Etuna voidaan nähdä myös polttamiseen liittyvän hapettavan ympäristön poistumisen. Nämä tekijät auttavat parantamaan tuotteen laatua, vähentämään laatuvariaatiota ja pienentämään materiaalien lämpörasitusta. [\[1\]](#)

Teollisuuden sähköistämisen kehitys on jatkunut ja kiihtynyt vuosina 2025–2026. Yleisenä kehityssuuntana sähköistyminen nähdään yhä enemmän osana laajempaa energiajärjestelmän muutosta, jossa energiatehokkuus, hukkalämpöjen hyödyntäminen, prosessien joustavuus, digitalisaatio ja uusiutuvan sähkön käyttö muodostavat toisiaan tukevan kokonaisuuden. Tätä kehitystä tukee myös Euroopan komission vuonna 2026 julkaisema Electrification Action Plan.

Erityisen voimakkaasti kehitys on kohdistunut prosessilämmön sähköistämiseen, jossa korkean lämpötilan lämpöpumput ja hukkalämpöjen tehokas hyödyntäminen, sekä sähkökattilat ovat nousseet keskeisiksi ratkaisuiksi. Teknologioiden kehitys korkean lämpötilan lämpöpumpuissa on edennyt vaiheeseen, jossa useilla sovellusalueilla painopiste on siirtymässä yksittäisistä demonstraatiohankkeista kohti kaupallista käyttöönottoa. [\[2\]](#)

Kirjallisuuskatsaus tarkastelee erityisesti korkean lämpöpumppujen viime vuosien kehitystä ja nostaa esille esimerkkejä teknologian käyttöönotosta. Lisäksi nostetaan esille esimerkkejä kiinteään aineen lämpövarastojen ja korkean lämpötilan latenttilämpövarastojen viimeaikaisista toteutuksista, mikä osaltaan tukee lämpöpumppujen hyötykäyttöä. Lyhyt katsaus tehdään myös viime vuosien kehityksestä RotoDynamic Heater (RDH) ja RotoDynamic Reactor (RDR) teknologioiden osalta. RDH on sähköinen prosessilämmitysteknologia, jolla on mahdollista saavuttaa hyvin korkea lämpötila ilman fossiilisten polttoaineiden polttamista. RDR on sähköinen höyrykrakkausteknologia, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita käyttävät krakkausunit.

2 Teollisuuden sähköistämisen haasteet ja mahdollisuudet

Balbea ym. [1] arvioivat vuonna 2025 julkaistussa tutkimuksessa keskeisiä prosessiteollisuuden sähköistämisen haasteita ja mahdollisuuksia. Tutkimus nostaa esille mm. seuraavat haasteet:

- Prosessien uudelleensuunnittelun tarve: Keskeisiä haasteita sähköistämisessä ovat prosessien lämpövirtojen hyödyntämisen muuttuminen, uusien sähköisten prosessien integrointi prosessiin, siirtyminen jatkuvasti muuttuvaan käyttöön uusiutuvan sähkön saatavuuden mukaan ja koko laitoksen energiaprosessien uudelleenoptimointi. Tutkimus korostaa, että tulevaisuuden prosessit on suunniteltava alusta alkaen joustaviksi eikä vain yhtä nimellistä käyttötilannetta varten. Olemassa olevissa laitoksissa polttamisen poistuminen aiheuttaa uusia muutostarpeita prosessiin, kun savukaasujen mukana saatava hukkalämpö häviää, höyryn tuotanto muuttuu ja nykyiset lämpövirtojen integrointiprosessit ja ohjausratkaisut eivät enää toimi.
- Suuret sähkötehon tarpeet: Monien prosessien lämpötehot ovat satoja megawatteja. Sähköistäminen edellyttää merkittävästi lisää sähköntuotantoa, sähköverkon vahvistamista, uusia siirtoyhteyksiä ja paikallista vähäpäästöistä sähköntuotantoa.
- Uusiutuvan sähkön vaihtelevuus: Sääriippuvaisen aurinko- ja tuulivoiman tuotanto kasvaa, minkä vuoksi tarvitaan joustavaa prosessikäyttöä, sähkö- ja lämpö- ja materiaaliavarastoja sekä kysyntäjoustoa. Prosessien tulisi kyetä muuttamaan tuotantoaan sähkön saatavuuden mukaan ilman, että tuotteiden toimitusvarmuus kärsii.
- Energian varastointi: Tutkimus korostaa lämpövarastojen merkitystä prosessien sähköistämisessä. Suuret korkealämpöiset lämpövarastot ja sähkövarastot edesauttavat sähköistämistä. Varastointiratkaisuja täytyy suunnitella prosessikohtaisesti.
- Taloudellinen kannattavuus: Monet sähköistysteknologiat ovat vielä varhaisessa kehitysvaiheessa. Haasteina ovat epävarmat investointikustannukset, vähäinen käytännön kokemus, puutteellinen kustannusdata ja sähkömarkkinoiden epävarmuus. Tutkimuksessa korostetaan demonstraatiohankkeiden ja teknistaloudellisten analyysien merkitystä investointien epävarmuuksien pienentämiseksi.
- Sähkömarkkinoiden ja teollisten tuotantoprosessien yhteensovittaminen: Haasteita ovat esimerkiksi tuotantosuunnitelmien yhteensovittaminen sähkömarkkinoiden kanssa, toimitusvarmuuden säilyttäminen sekä tuotannon ja sähkömarkkinoiden optimointi samanaikaisesti.
- Turvallisuus ja materiaalien kestävyys: Sähköistäminen tuo myös uusia turvallisuus- ja käyttöhaasteita kuten suurjännitelaitteiden käyttö, sähköisten lämmittimien korkeat pintalämpötilat, materiaalien pitkäaikaiskestävyys muuttuvissa käyttöolosuhteissa, laitteiden toiminta jatkuvasti vaihtelevilla kuormilla.

Prosessiteollisuudessa sähköistäminen tuo monia mahdollisuuksia, joista tutkimus nostaa esiin muun muassa seuraavat:

- Merkittävät päästövähennykset: Prosessien sähköistäminen voi käytännössä poistaa prosessilämmityksen polttamiseen liittyvät Scope 1 -päästöt jopa kokonaan riippuen sähkön vähäpäästöisyydestä. Sähkökemialliset prosessit voivat vähentää myös itse kemiallisista reaktioista syntyviä prosessipäästöjä muuttamalla koko valmistusreitit.
- Parempi energiatehokkuus: Sähköiset lämmitysratkaisut mahdollistavat lämmön tarkemman kohdentamisen prosessiin. Erityisesti lämpöpumput voivat hyödyntää aiemmin hyödyntämättä jäänyttä hukkalämpöä, jolloin kokonaisenergiankulutus pienenee.
- Parempi tuotteen laatu: Sähköinen lämmitys mahdollistaa toisinaan tarkemman lämpötilansäädön ja nopeamman vasteen kuin polttamiseen perustuva lämmitys. Tämän seurauksena: tuotteen laatu paranee, laatuvaihtelu vähenee, materiaalien lämpörasitukset pienenevät. Etuna on myös hapettumista aiheuttavan ympäristön (liekin) poistuminen.
- Yksinkertaisemmat ja pienemmät laitteistot: Sähköistetyt prosessit voivat joissain tapauksissa käyttää yksinkertaisempia laitteita, joissa on vähemmän liikkuvia osia. Samalla laitteiden koko ja investointikustannukset voivat pienentyä. Esimerkiksi sähkökattiloiden investointikustannusten arvioidaan olevan noin 40 % pienemmät kuin vastaavien fossiilikattiloiden.
- Paremmat mahdollisuudet prosessien optimointiin: Prosesseissa, joissa sivutuotteita tai jäännöskaasuja hyödynnetään lämmöntuotannossa, lämmöntuotanto kytkeytyy tuotantoprosessin toimintaan. Korvaamalla polttamiseen perustuva lämmöntuotanto sähköisellä lämmityksellä prosessilämmön tuotanto voidaan irrottaa varsinaisesta tuotantoprosessista. Tämä vähentää prosessien keskinäisiä riippuvuuksia ja tarjoaa uusia mahdollisuuksia prosessin ohjaukseen ja optimointiin.
- Kulutusjouston tuomat taloudelliset hyödyt sähkömarkkinoilla: Sikäli kuin sähköistetyillä tuotantolaitoksilla on mahdollisuus joustaa tuotantoaikatauluissaan, käytössään useita erilaisia energiaratkaisuja tai mahdollisuus hyödyntää tuote- tai energiavarastoja, ne voivat pienentää sähkökustannuksiaan ja luoda uusia tulonlähteitä osallistumalla kysyntäjousto- ja sähkömarkkinoille.

3 Korkean lämpötilan lämpöpumput

Ashabu ym. [3] arvioivat vuonna 2025 julkaistussa tutkimuksessaan monikriteerisen päätösanalyysin (MCDA) avulla teollisuuden Power-to-Heat-teknologioiden soveltuvuutta sähköistämiseen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen.

Tutkimuksen vertailussa huomioitiin kuusi arviointikriteeriä: teknologian kypsyysaste (TRL), sähköistämispotentiaali, hiilidioksidipäästöt tuotettua lämpöenergiaa kohden, energiatehokkuus, asennuksen monimutkaisuus sekä käyttöikä. Lisäksi tulosten luotettavuutta arvioitiin herkkyyksianalyysillä ja Monte Carlo -simuloinnilla.

Tutkimuksen mukaan korkealämpötilaiset lämpöpumput ja mekaaninen höyryn uudelleenpuristus (Mechanical Vapor Recompression, MVR) olivat johdonmukaisesti parhaiten suoriutuvat teknologiat kaikissa tarkastelluissa skenaarioissa. Sen sijaan plasmalämmitys sekä mikroaalto- ja radiotaajuuslämmitys sijoittuivat vertailun heikoimpiin vaihtoehtoihin nykyisillä teknologioilla ja taloudellisilla edellytyksillä.

3.1 Kehitys vuosina 2025–2026

IEA:n Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) on selvittänyt korkean lämpötilan lämpöpumpputeknologian kehitystä alaprojektissa 58 vuosina 2021–2023 ja viimeaikaista kehitystä huhtikuussa vuonna 2025 käynnistyneessä alaprojektissa 68 [4].

Keskeisimpiä kehitysaskelia korkean lämpötilan lämpöpumpuissa vuosina 2025–2026 ovat olleet seuraavat:

- Demonstraatiovaiheesta edetään kaupallistettuihin ratkaisuihin yhä korkeammissa lämpötiloissa ja tehoissa eli nousua TRL-asteikolla on selvästi tapahtunut.
- Matalammissa tehoissa ja korkean lämpötilan kategoriaan kuuluvissa lämpötiloissa kustomoiduista lämpöpumpuista siirrytään tehdasvalmisteisiin.
- HFC- ja HFO-kylmäaineista siirrytään luonnollisiin kylmäaineisiin. [4]

IEA:n HPT TCP projekti 68 esittelee sivuillaan laajasti lämpöpumppuvalmistajien uusimpia ratkaisuja eri lämpötilaluokissa ja luetteloiden samalla mm. kompressorityypin, tehon (MW), maksimilämpötilan, kylmäaineen ja kaupallistumisvaiheen (TRL). Suuritehoisissa yli 5 MW korkealämpöisissä lämpöpumpuissa kompressorityyppinä painottuvat turbokompressorit ja alle 5 MW kokoluokassa ruuvi- ja mäntäkompressorit. [4] IEA:n päivitetty kooste korkean lämpötilan lämpöpumppujen toimittajista teknologioineen on liitetty tämän katsauksen liitteenä 1 olevaan taulukkoon.

Yli 200 °C lämpöpumppujen teknologiaratkaisut ovat kasvaneet hyvin merkittävästi ja korkeimmat lämmöntuoton lämpötilat ovat nousseet kohti 300 °C. Tässä luokassa teknologisessa ratkaisussa on käytännössä aina hyödynnetty MVR teknologiaa. [5]

165–200 °C lämpötilahaarukassa ratkaisusta löytyy lämpöpumppuratkaisuja myös ilman MVR teknologiaa ja demonstraatiot ovat merkittävästi lisääntyneet. Vaikka ratkaisut ovat vielä pääosin demonstraatiovaiheessa ne ovat etenemässä varhaisen kaupallistamisen vaiheeseen, kun merkittäviä referenssitoteutuksia odotetaan valmistuvan vuosina 2026–2028. [5]

120–160 °C:n lämpötila-alueen tarjonta on monipuolistunut, kehittynyt TLR-tasolta 4–6 yleisesti tasolle 6–8 ja ratkaisut ovat siirtymässä laajempaan kaupalliseen käyttöön (TRL 9) standardoitujen moduulien ja teknologisesti kypsien järjestelmien muodossa. Teknologian laajamittaisen käyttöönoton odotetaan käynnistyvän jo vuonna 2026. [5]

Alle 130 °C lämpöpumpputoteutukset ovat jo pitkälti standarditoimituksia (Decarbonizing industrial process heating with HTHPs - From market to application). Yli 10 MW:n teholuokassa prosessikaasusovelluksiin kehitetyt keskipakokompressor- ja höyrypohjaiset teknologiat ovat kehittyneet ja hyötyvät mittakaavaeduista, mikä alentaa ominaisinvestointikustannuksia. [5]

Taulukossa 1 on esitetty teknologian kehitys arvioituna vuonna 2023 päättyneessä IEA:n HPT TC projekti 58:ssa.

Taulukko 1. Korkean lämpötilan lämpöpumpputeknologian kehitys eri lämpötehoilla ja lämpötilatasoilla. [6]

Lämpöteho	Lämpötila	Prototyypit	Demonstraatiot	Kaupallinen käyttöönotto	Vakiintunut ensisijaiseksi teknologiaksi
200 kW–10 MW	< 120 °C	2020–2022	2022–2024	2024–2026	2026–2027
	120–160 °C	2021–2023	2023–2025	2025–2027	2027–2029
	> 160 °C	2022–2024	2024–2026	2026–2028	2028–2030
> 10 MW	< 120 °C	Teknologiansiirto kaupallisiin projekteihin 2021–2023	2023–2025		2025–2026
	> 120 °C	Teknologiansiirto kaupallisiin projekteihin 2022–2024	2024–2027		2027–2029

Yhdistämällä korkean lämpötilan lämpöpumppu ja MVR-/MVC-prosessi mahdollistetaan hyvin korkea lämpötilan nousu, jonka avulla pystytään esimerkiksi hyödyntämään suhteellisen matalalämpöistä hukkalämpövirtaa korkealämpöiseen tarpeeseen. Tämä on laajentanut lämpöpumppujen soveltuvuutta erityisesti paperi-, elintarvike-, kemian- ja selluteollisuuden haihdutus-, kuivaus- ja höyryprosesseihin. [2]

Tiina Sollan vuonna 2025 valmistuneessa diplomityössä ”Kuumalämpöpumpun sekä kuumalämpöpumpun ja höyryn mekaanisen puristuksen COP-arvojen vertailu” saatiin valitussa tutkimusasetannassa tulokseksi, että korkean lämpötilan lämpöpumpun ja MVR:n yhdistäminen hybridiprosessiksi tuottaa korkeamman kokonaishyötysuhteen kuin suora lämpöpumpun käyttö. Korkein laskennallinen COP arvo lämpöpumpun ja MVR:n yhdistävälle prosessille oli 3,01, joka saavutettiin käyttämällä kylmäaineena syklopentaania. Tutkimuksessa hukkalämpövirran lämpötila oli 60 °C, höyrystimen lämpötila 50 °C ja lauhduttimen 110 °C (MVR-kytkentä) tai 160 °C. Prosessin lauhdutinteho oli noin 2 megawattia. [7]

Höyryä voidaan tuottaa myös lämpöpumppuprosessilla, jossa lämpöpumppu ei suoraan höyrystä vettä vaan veden painetta nostamalla se pysyy yli 100 asteen lämpötilassa nestemäi-

senä ja höyrystys tapahtuu painetta alentamalla erillisessä säiliössä (ns. flash-höyrystyminen). Tämän jälkeen höyryn painetta ja lämpötilaa nostetaan MVC-kompressorilla (Mechanical Vapor Compression) prosessin vaatimalle tasolle. [2]

Lämpöpumppujen kylmäaineissa on meneillään siirtymä kohti luonnollisia kylmäaineita. Siirtymän tavoitteena on vähentää kylmäaineiden kasvihuonekaasuvaikutuksia ja lopettaa ns. ikuisuuskemikaalien käyttö (PFAS-yhdisteet). Siirtymä tapahtuu F-kaasuasetuksen ja REACH-asetuksen rajoitusten myötä. Siirtymän ei yleisesti nähdä aiheuttavan suuria ongelmia korkean lämpötilan lämpöpumppujen kehitykselle. Luonnollisilla kylmäaineilla on myös parempia termodynaamisia ominaisuuksia kuin synteettisillä vaihtoehdoilla. Huomionarvoista on kuitenkin, että moni korkean lämpötilan lämpöpumpputeknologia käyttää vielä synteettisiä HFC- tai HFO-yhdisteitä.

3.2 IEA:n dokumentoimia demonstraatiohankkeita

Korkean lämpötilan lämpöpumppujen demonstraatiohankkeita on koottu laajasti IEA:n HTP TCP projekti 68:n sivuilla. Esiteltynä on 31 uutta kohdetta, jotka eivät ole esiteltynä vuonna 2023 päättyneessä projekti 58:ssa. Lisäksi on esiteltynä 11 hanketta projektista 58. [4]

Monet uusista demonstraatiosta sijoittuvat 120–200 °C:n lämpötila-alueelle ja 1–10 MW:n teholuokkaan. Korkeimmat raportoidut lämmöntuoton lämpötilat ovat nousseet kohti 300 °C:ta, ja suurimpien yksittäisten laitosten lämpöteho on jo 40 MW. Kasvava näyttö toimivista toteutuksista vähentää loppukäyttäjien teknisiä ja taloudellisia riskejä niin hankintapäätöksissä kuin laitteistojen käytössä. [5] Taulukossa 2 on esitetty demonstraatioiden jakautuminen eri teollisuuden sektoreille.

Taulukko 2. IEA:n HTP TCP Project 68:n julkaisemien demonstraatiohankkeiden jakautuminen eri teollisuuden sektoreille. [4]

Toimiala	Osuus	Kohteiden määrä
Elintarvikkeet, juomat ja rehu	33 %	14
Materiaalituotanto	19 %	8
Massa ja paperi	16 %	7
Kaukolämpö	12 %	5
Lääkkeet	5 %	2
Kemia ja öljynjalostus	5 %	2
Jätevedenkäsittely	5 %	2
Muut	7 %	3

Seuraavassa on esitelty valittuja demonstraatiohankkeita IEA:n projektin pohjalta. Esittelyt ovat tiivistelmiä HPT TCP projekti 68:n sivuilla julkaistuista esittelyistä, joista osaa on täydennetty tuoreimmilla tiedoilla.

3.2.1 **Suuri höyryä tuottava lämpöpumppu Delfortin paperitehtaalla Tervakoskella**

Maailman suurin höyryä tuottava lämpöpumppu otettiin käyttöön Delfortin Tervakosken paperitehtaalla alkuvuodesta 2026. Turbodenin valmistaman lämpöpumppujärjestelmän lämpöteho on 12.5 MW ja se tuottaa 20 t/h höyryä 3.4 bar paineessa. Prosessin COP-arvo on noin 2. Lämpöpumpun ja 50 MW:n sähkökattilan avulla paperitehdas irtautui höyryntuotannossa fossiilisista polttoaineista ja siirtyi sähköön ensimmäisenä paperitehtaana maailmassa. [\[8\]](#)

Prosessi yhdistää korkean lämpötilan lämpöpumpun ja MVR-kompressorin. Lämmönlähteenä toimii muuten hukkalämmöksi menevä lämpövirta, jonka lämpötila on 10-20 °C. Tuotetun höyryn lämpötila on 170 °C. Painetta (ja lämpötilaa) nostetaan loppuvaiheessa MVR-kompressorilla, jotta saavutetaan yhteensopivuus kuivatusprosessin kanssa. Keskeisimpiä saavutuksia projektissa oli ratkaisu, joka kykenee mukautumaan prosessin vaihteluun, nopeilla vasteajoilla ja tarkalla hallinnalla. [\[8\]](#)

3.2.2 **Suurteholämpöpumpulla lämpöä suoraan höyryverkkoon: Everllence & Vicinity Energy – Charles River -lämpöpumppulaitos, Boston (USA)**

Hanke käynnistyi vuonna 2025, ja laitoksella on tarkoitus korvata maakaasukattiloita hyödyntämällä Charles Riverin vettä uusiutuvana lämmönlähteenä. Tuotettu hiilivapaa höyry syötettäisiin suoraan olemassa olevaan höyrykaukolämpöverkkoon ilman merkittäviä muutoksia loppukäyttäjien järjestelmiin. Projektin arvioidaan valmistuvan vuonna 2028. Kyseessä olisi yksi ensimmäisistä höyryverkkoon suoraan lämpöä tuottavista suurtehoisista lämpöpumpuista (35–40 MW). Ratkaisu toimii esimerkkinä teollisuuden höyryverkkojen sähköistämisestä, joissa halutaan korvata fossiiliset kattilat ilman laajoja muutoksia höyryn jakelu- ja käyttöjärjestelmiin. [\[9\]](#)

Ratkaisussa on yhdistetty hyvin kehittyneellä turbokompressorilla (integrally geared radial compressor) toimiva korkean lämpötilan lämpöpumppu ja niin ikään turbokompressorilla toimiva MVR prosessi. Järjestelmä on suunniteltu tuottamaan höyryä noin 200 °C:n lämpötilassa 15 bar höyrykaukolämpöverkkoon. [\[9\]](#) Valmistajan 11/2025 julkaiseman tiedotteen mukaan teknologialla pystytään tuottamaan jopa 300 °C höyryä 50 bar paineessa [\[10\]](#). Ratkaisussa lämpöpumppuja käytetään yhdessä sähkökattiloiden ja lämpövarastointiteknologioiden kanssa, jotta hiilidioksidipäästöt koko prosessissa saadaan minimoitua [\[9\]](#).

Ratkaisun suunnittelussa hyödynnetään dynaamista prosessisimulaatiota, jotta järjestelmää voidaan säätää tehokkaasti muuttuvissa kuormitustilanteissa. Lisäksi järjestelmästä on rakennettu digitaalinen kaksonen, jonka avulla laitoksen käyttö voidaan optimoida jo ennen käyttöönottoa. [\[9\]](#) Digitaalisella kaksoella tarkoitetaan järjestelmän virtuaalista kopiota, joka toimii kerätyn datan, tekoälyn ja analytiikan avulla. Sillä voidaan mm. ennustaa vikoja, optimoida toimintaa ja testata muutoksia etukäteen ennen niiden tekemistä oikeassa maailmassa.

3.2.3 **Häidätyksen hukkalämmön hyötykäyttö Södzuckerin sokeritehtaalla Saksassa**

Södzuckerin Rainin sokeritehtaalle Saksaan asennettiin vuonna 2025 norjalaisen HEATEN AS:n korkealämpötilalämpöpumppujärjestelmä, joka ottaa talteen monivaiheisen haihdutusprosessin matalapaineisen höyryn lämpöä ja tuottaa siitä uudelleen prosessissa hyödynnettävää korkeampipaineista höyryä. [\[11\]](#)

Sokeritehtaan monivaiheisessa flash-haihdutuksessa prosessiveden lämpötila laskee vaiheittain. Viimeisestä vaiheesta poistuu noin 102 °C:n matalapaineista höyryä. Sen sijaan, että höyry lauhdutettaisiin ilman lämmön hyödyntämistä, se johdetaan lämpöpumpun lämmönvaihtimelle, missä höyryn lauhtumislämpö siirretään lämpöpumpun (höyry-höyry) suljettuun kylmäainekiertoon. Talteen otettu lämpöteho on 3,3 MW. [11]

Kylmäaine puristetaan lämpöpumpun mäntäkompressoreilla yli 130 °C:n lämpötilaan ja lauhtuttimessa kylmäaineen lämpö siirretään prosessista saatavaan lauhteeseen, joka höyrystetään noin 130 °C:n höyryksi ja palautetaan haihdutusprosessiin. Järjestelmä toimii kokonaan tehtaan höyryverkoston sisällä. [11]

Järjestelmän tekniset tiedot ja suoritusarvot mitoituspisteessä [11]:

- Valmistaja: Heaten GmbH
- kompressoriteknologia: mäntäkompressori
- kylmäaine: HFO/R1233zd(E)
- Käyttötunnit raportointihetkellä: <500 h
- lämmönlähde: 102 → 100 °C, höyry/lauhde
- lämpönielu: 128 → 130 °C, lauhde/höyry
- Talteen otettu/tuotettu lämpöteho: 3,3 MW / 4 MW
- COP = 6.

Hankkeen kustannus ja säästövaikutukset:

- Investointikustannus: 1,4 milj. eur
- Vuotuinen säästö: noin 550 000 eur
- Arvioidut vuotuiset CO₂-päästövähennykset: 2.660 t/a. [11]

Lämpöpumppu vähentää ulkoisen energian, kuten maakaasukattiloilla tuotettavan höyryn, tarvetta ja parantaa sokerintuotannon energiatehokkuutta. Esimerkissä erityisen kiinnostavaa on pieni, noin 28 °C:n lämpötilanosto 102 °C:n hukkahöyrystä noin 130 °C:n hyötyhöyryksi, minkä ansiosta mitoituspisteen COP on korkea, 6. Ratkaisu sähköistää osan höyryntuotannosta hyödyntämällä jo prosessissa olevaa lämpöenergiaa sen sijaan, että tarvittava lämpö tuotettaisiin kokonaan uudelleen esimerkiksi maakaasulla. Esittelyssä ilmoitetut tiedot ovat laitetoimittajan toimittamia. [11]

3.2.4 **Hukkalämmöstä höyryä tuottava MW-kokoluokan lämpöpumppu Tiense Sui-kerin sokeritehtaalle Belgiaan**

GEA toteutti sokeritehtaalle teollisen mittakaavan korkealämpötilalämpöpumpun, joka tuottaa prosessihöyryä hyödyntämällä tehtaan omaa hukkalämpöä. Demonstraatio valmistui vuonna 2025 osana EU:n Horizon Europe -ohjelmaa (SPIRIT-hanke), ja sen tavoitteena on osoittaa korkealämpötilalämpöpumppujen soveltuvuus energiantensiiviseen elintarviketeollisuuteen. [12]

Tehtaan prosessissa sokerijuurikkaista saatu sokeri liuotetaan veteen, minkä jälkeen vesi haihdutetaan useassa peräkkäisessä haihdutusvaiheessa, kunnes lopputuotteena saadaan kiinteitä sokerikiteitä. Lämpöpumppu hyödyntää sokerintuotannon haihdutusprosessissa syntyvää matalalämpöistä hukkalämpöä, joka nostetaan korkealämpöiseksi prosessihöyryksi. Lämpöpumpun avulla tuotetaan enimmillään noin 6 % sokeritehtaan höyryn kokonaislämmöntarpeesta. [12]

Järjestelmän keskeiset ominaisuudet ovat:

- lämmitysteho noin 4 MW
- lämmönlähteenä 75 °C alipainehöyry
- tuottaa prosessihöyryä 140 °C lämpötilaan asti
- kylmäaineena pentaani (R601)
- kompressorina ruuvikompressori
- integrointi olemassa olevaan höyry- ja haihdutusjärjestelmään ilman merkittäviä prosessimuutoksia.
- COP-arvo vaatii vielä validointia

[\[12\]](#)

Hankkeessa erityistä huomiota on kiinnitetty lämpöpumpun turvalliseen suunnitteluun ja käyttöön. Suunnittelussa on huomioitu useita ATEX-vaatimuksia, kuten useiden kaasunilmaisimien asentaminen, kehittynyt ilmanvaihtojärjestelmä sekä antistaattinen lattia konehuoneessa. [\[12\]](#)

3.2.5 **Hukkalämmön hyötykäyttö lämpöpumpulla korvaamaan maakaasun peruskuormaa Royal FrieslandCampinan meijerissä Hollannissa**

Royal FrieslandCampinan Maasdamin meijerissä otettiin vuonna 2024 käyttöön heliumia kylmäaineena käyttävä Olvondon HighLift-korkealämpötilalämpöpumppu osana tehtaan modernisointia. Heliumin ansiosta kylmäaineen höyrystymis- tai lauhtumislämpötilat eivät rajoita lämpöpumpun toimintaa. [\[13\]](#)

Lämpöpumppu korvaa maakaasukattilan tuottaman peruskuorman höyryntuotannossa ja hyödyntää tehtaan jäähdytysprosessien hukkalämpöä. Järjestelmän keskeiset tekniset ominaisuudet ovat:

- lämmönlähteinä prosessivesi (85 → 75 °C) sekä toinen vesivirta (31 → 26 °C),
- tuotettavana 4 bar:n prosessihöyry: 105 (vesi) → 155 °C (höyry),
- lämmitysteho 5,4 MW,
- kylmäaineena helium (R-704),
- kompressorina mäntäkompressori,
- COP noin 2 (häviöt huomioituna). [\[13\]](#)

IEA:n kohde-esittelyn mukaan yhden HighLift-lämpöpumpun laiteinvestointi on noin 800 000 euroa (ilman integraatiokustannuksia). Ratkaisulla arvioidaan saavutettavan:

- noin 2,5 GWh:n vuotuiset energiansäästöt (noin 48 % pienempi energiankulutus),
- noin 1 300 tonnin vuotuiset CO₂-päästövähennykset (88 % pienemmät CO₂-ekvivalenttipäästöt),
- lisäksi maakaasukattilalla tuotetun höyryn tarve poistuu peruskuormalta. [\[13\]](#)

3.2.6 **Kaukolämpö lämpöpumpun lämmönlähteenä kylläisen höyryn tuotannossa Axilone Metalin tehtaalla pakkaustuotteiden valmistuksessa Espanjassa**

Sant Pere de Torellón tehtaalla Kataloniassa valmistetaan metallisia korkkeja ja sulkimia kosmetiikka- ja luksustuotteiden pakkausteollisuudelle. Tehtaalle asennettiin vuonna 2025 kaksi Sustainable Process Heat GmbH:n ThermBooster-korkealämpötilalämpöpumppua, jotka tuottavat prosessissa tarvittavaa kylläistä höyryä ja mahdollistivat fossiilisia polttoaineita käyttävien katti-

laiden käytön korvaamisen. Höyryä käytetään erityisesti metallinkäsittely- ja anodisointikylpyjen lämmitykseen. [14]

Järjestelmä koostuu kahdesta 500 kW:n lämpöpumpusta. Lämmönlähteenä käytetään kauko-lämpöyhtiön biotermokattilan tuottamaa 92 °C:n kaukolämpövettä, joka jäähtyy lämpöpumpulla noin 72 °C:een. Lämpöpumput nostavat prosessilämmön 90 °C tasolta ja tuottavat noin 159 °C:n kylläistä höyryä 6 bar paineessa. [14]

Tekniset tiedot:

- 2 x 500 kW lämpöpumppuja, lämpöteho yht. 1 MW
- Mäntäkompressorit ja matalan GWP-arvon HFO R1336mzzZ -kylmäaine
- COP = 2,5 mitattu FAT testin (Factory Acceptance Testing) yhteydessä

[14]

3.2.7 Hukkalämmöstä prosessihöyryä rehuntuotantoon Felleskjøpet Agri SA:n rehutehtaalle Norjassa

Aneo Industry on asentanut Felleskjøpet Agri SA:n rehutehtaalle Trondheimiin 1,68 MW:n höyryä tuottavan lämpöpumppujärjestelmän. Vuonna 2024 asennettu järjestelmä tuottaa rehujen lämpöpelletointiin tuorehöyryä 2 tonnia tunnissa. Höyryä käytetään raaka-aineen kuumentamiseen ja sterilointiin ennen pellettien muotoilua. Lämpöpumppu korvaa normaalin tuotannon aikana sähkökattilan, mutta sähkökattilaa tarvitaan edelleen prosessin käynnistämiseen. [15]

Lämmönlähteenä käytetään pellettijäähdyttimestä poistuvaa kosteaa poistoilmaa, joka lämpötila on 60 °C:n ja suhteellinen kosteus 35 %. LTO-yksikkö ottaa poistoilmasta lämpöä talteen ja siirtää sen vesi-glykolipiiriin välityksellä lämpöpumpulle. Poistoilma jäähtyy noin 30 °C:een. [15]

Kaksivaiheinen lämpöpumppu (R717) käyttää sarjaan kytkettyjä ruuvi- ja mäntäkompressoreja. Se lämmittää 2,8 t/h vettä 4 °C:sta 75 °C:een ja tuottaa samalla 2 t/h matalapaineista höyryä. Syntynyt höyry puristetaan edelleen neljällä keskipakopuhaltimella (MVC-prosessi) enintään 2 bar:n paineeseen ja 140 °C:n lämpötilaan prosessin käyttöön. Järjestelmän:

- kokonaislämpöteho on enimmillään 1,68 MW,
- COP 3,1 ja
- Carnot-hyötysuhde 0,7. [15]

Käyttökokemukset ovat olleet myönteisiä. Lämpöpumppu on pystynyt tuottamaan tasalaatua höyryä, mikä on rehuntuotannossa olennaista. Vaihto sähkökattilan tuottamasta höyrystä lämpöpumpun höyryyn voidaan tehdä muutamassa minuutissa täydellä tuotantoteholla. [15]

Kohteen esimerkkilaskelmassa 7,5 GWh:n vuotuinen höyryntuotanto lämpöpumpulla johtaa noin 5 GWh:n energiansäästöön. Lisäksi ratkaisu pienentää tehtaan sähköliittymän tehontarvetta, koska lämpöpumppu korvaa huomattavasti enemmän sähkötehoa tarvitsevan sähkökattilan. Investointikustannuksia ei ilmoitettu toteutuksen pilottiluonteesta vuoksi. [15]

3.2.8 Happamien savukaasujen hukkalämmöstä lämpöpumpulla lämpöä kuivausjärjestelmälle hiilinegatiivisten tiilien valmistuksessa Vandersanden tehtaalla Belgiassa

Vandersandenin Lanklaarin tuotantolaitoksella Belgiassa otettiin vuonna 2024 käyttöön korkea-lämpötilalämpöpumppuun perustuva kuivausjärjestelmä, joka tukee tiilien valmistuksen CO₂-

päästöjen vähentämisessä. Tiilien valmistuksessa käytettävä Carbinox-mineraalimateriaali kuivataan ennen karbonointivaihetta, jossa materiaali sitoo hiilidioksidia pysyvästi tiilen rakenteeseen. [16]

Korkealämpötilalämpöpumppu yhdessä uuden hihna-/viirakuivurin (belt drying system) kanssa mahdollistaa kuivausprosessin sähköistämisen hukkalämpöä hyödyntäen ja korvaten maakaasun käytön. Kuivuri varmistaa Carbinox-materiaalin kosteuspitoisuuden tarkan säädön ennen sen syöttämistä karbonointikammioon. Tämä on olennaista hiilidioksidin optimaalisen sitoutumisen, materiaalin mekaanisen lujuuden ja mittapysyvyyden saavuttamiseksi. [16]

Kuivausjärjestelmä hyödyntää uunin happamien savukaasujen jäähtytyksessä talteen otettua lämpöä. Happamien savukaasujen aiheuttamat korroosioriskit hallitaan materiaalivalinnoilla ja kondensaation hallinnalla. Lämpöpumppu nostaa 74–102 °C:n lämpötilaisen vesikierron lämmön 120 °C:n kuumaksi vedeksi, jota käytetään hihna-/viirakuivurissa. [16]

Järjestelmän keskeiset tekniset ominaisuudet [16]:

- Lämmönlähde: happamien savukaasujen jäähtytysvesi (102 → 74 °C)
- Lämmönluvutus: paineistettu vesi (110 → 120 °C)
- Lämmitysteho: 0,84 MW
- Lämpökerroin COP: 4,2 (mitattu asennetusta järjestelmästä)
- Kylmäaine: R-1233zd(E)
- Kompressori: ruuvikompressori
- Käyttöaika: noin 8 000 h/vuosi

Prosessin energian käyttö muuttui käyttöönoton myötä seuraavasti:

- ennen muutosta: 8 300 MWh/v maakaasua ja 100 MWh/v sähköä,
- muutoksen jälkeen: 0 MWh/v maakaasua ja 1 688 MWh/v sähköä. [16]

Järjestelmällä saavutetaan noin 260 000 euron vuotuiset säästöt. Käyttökokemusten mukaan järjestelmä on toiminut vakaasti vaihtelevissa savukaasuolosuhteissa. Demonstraatio osoittaa samalla, että myös korroosiota aiheuttavien savukaasujen hukkalämpövirroista voidaan ottaa lämpöä talteen tehokkaasti ja luotettavasti. [16]

3.2.9 Maakaasukattilan korvaaminen hukkalämmöllä tiilien kuivauksessa ja sähköuuni tiilien valmistuksessa Wienerbergerin tiilitehtaalla Itävallassa

H2020-hanke DryFiciencyssä kehitettiin ja demonstroitiin korkean lämpötilan lämpöpumppuja, jotka tuottavat teollisiin kuivausprosesseihin jopa 160-asteista prosessilämpöä energiatehokkuuden parantamiseksi ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Hankkeen demonstraatio toteutettiin maailman suurimman tiilenvalmistajan Wienerbergerin tiilitehtaalla Uttendorfissa Itävallassa, jossa korkean lämpötilan lämpöpumppu integroitiin tiilien kuivausprosessiin vuonna 2019. [17]

Ensimmäisessä vaiheessa lämpöpumppu hyödyntää tiiliuunin kuumaa poistoilmaa ja kuivurin kosteaa poistoilmaa tuottaen kuivureille noin 90 °C:n kuumaa vettä. Tätä kuumaa vettä käytetään puolestaan lämmönlähteenä korkealämpötilalämpöpumpulle, joka tuottaa jopa 160 °C kuumaa ilmaa tunnelikuivurin viimeiseen vyöhykkeeseen, jossa tarvitaan korkeimmat kuivauslämpötilat. Näin järjestelmä korvaa kuivauksessa aiemmin käytetyn maakaasukattilan. [17]

Lämpöpumppujärjestelmän suoritusarvot ovat demonstraation esittelyn [17] mukaan:

- Järjestelmän mitoituspisteessä (121 °C):
 - lämmönlähde: 88 → 84 °C (vesi)
 - lämmönluvutus: 96 → 121 °C (vesi)

- lämmitysteho: 296 kW
- COP: 5,0
- 160 °C:n lämmöntuotannossa:
 - lämmönlähde: 91 → 88 °C
 - lämmönluvutus: 131 → 160 °C
 - lämmitysteho: 190 kW
 - COP: 2,2

IEA:n demonstraatioesittelyn laatimisen hetkellä lämpöpumpua oli käytetty yli 4 000 tunnin ajan erilaisissa käyttöolosuhteissa. Verrattuna vastaavan prosessilämmön tuottavaan maakaasupolttimeen järjestelmällä saavutettiin:

- loppuenergian kulutuksen väheneminen 2 200 MWh/v,
- hiilidioksidipäästöjen väheneminen 590 t/v,
- energiakustannusten säästö 60 500 €/v (120 °C:n mitoitusasteessa).

Lisäksi kuivurin viimeisen vyöhykkeen korkeampi ilman lämpötila paransi tiilien kuivauksen laatua ja lyhensi kuivausaikaa. [\[17\]](#)

Demonstraation aikana tunnistettiin useita korkean lämpötilan lämpöpumppujen kehittämiseen liittyviä haasteita, kuten kylmäaineen, voiteluaineen ja tiivistemateriaalien yhteensopivuus, mekaanisten värähtelyjen hallinta, järjestelmän integrointi prosessiin sekä käynnistys- ja ohjausjärjestelmien toiminta. Hankkeessa osoitettiin kuitenkin onnistuneesti, että korkeisiin lämpötiloihin soveltuvat kompressorit, kylmäaineet ja voiteluaineet mahdollistavat suljetun höyrypuristuslämpöpumpun luotettavan käytön teollisessa ympäristössä. [\[17\]](#)

Koko tehtaan tiilenvalmistus sähköistettiin myöhemmin Greenbricks-hankkeessa, joka valmistui vuonna 2024 ja normaaliin tuotantoon uudistettu tehdas pääsi vuonna 2025. [\[18\]](#) Korkealämpötilalämpöpumppuja lisättiin ja ne yhdistettiin maailman suurimpaan teollisen mitta-kaavan sähkökäyttöiseen tiiliuuniin ja sen lämmöntalteenottoon. Lisäksi tuotantoprosessia kehitettiin pidentämällä kuivuria 25 %, korvaamalla saviainesseoksen hiili ja paperikuidut paikallisen sahanpurun kaltaisilla vähäpäästöisemmällä lisäaineilla sekä ottamalla käyttöön automaattisia kuljetusajoneuvoja (AGV). [\[19\]](#) Eurelectricin artikkelin mukaan yhtiö suunnittelee jatkossa teknologian käyttöönottoa vähintään viidessä muussa tuotantolaitoksessa kolmessa eri maassa [\[20\]](#).

3.2.10 Prosessilämpö ja -jäähdytys lämpöpumpuilla maakaasukattila korvaten viskin valmistuksessa - Ahascragh Distillery Irlannissa

Ahascragh Distillery on ensimmäisiä tislamoja, jossa prosessilämpö tuotetaan kokonaan korkealämpöisillä lämpöpumpuilla ilman fossiilisia polttoaineita. Järjestelmä korvaa perinteisen maakaasukattilan ja tuottaa sekä prosessilämmön että prosessijäähdytyksen integroidulla energijärjestelmällä. Käytännön kokemus on osoittanut, että lämpöpumput tuottavat 1 MW lämpöä ja säästävät noin 40 % taloudellisesti verrattuna vastaaviin fossiilisen polttoaineen kattilaratkaisuun. Ratkaisu asennettiin vuonna 2023. [\[21\]](#)

Demonstraatioesityksen [21] mukaan tekniset ratkaisut ovat seuraavat:

- kolme Oilonin korkealämpöistä lämpöpumpua (2 × P450 ja 1 × P150)
- yksivaiheinen lämpöpumppuprosessi
- Lämmittää veden 115 °C:een (paineistettu vesi, ei faasimuutosta)
- lämmönlähteenä noin 60 °C:n prosessista talteen otettava hukkalämpö

- Lämmitysteho: 1 MW
- COP (lämmitys): 5
- Lämpöpumput tuottavat samanaikaisesti:
 - korkean lämpötilan prosessilämmön
 - keskilämpöisen lämmön
 - prosessijäähdytyksen
 - kylmän prosessiveden
- järjestelmään on integroitu lämpövarasto, joka tasaa kuormitusta ja parantaa lämpöpumppujen käyttöastetta.
- Avaimet käteen -investointikustannus: noin 1 Meur
- tuotetut säästöt: noin 330,000 eur/vuosi

3.2.11 **Vierteen keittoprosessin hukkalämmön talteenotto lämpöpumpulla - Hepworthin panimo Irlannissa**

Järjestelmä on otettu käyttöön Hepworthin panimolla vierteen keittoprosessissa vuonna 2025. Perinteisesti vierre keitetään syöttämällä esimerkiksi öljykattilassa tuotettua höyryä keittokattilassa olevaan lämmityskierukkaan, minkä jälkeen keiton aikana syntyvä vesihöyry johdetaan ilmakehään. Kohteessa tämä noin 100 °C höyry hyödynnetään sen sijaan Futuraheatin valmistaman korkean lämpötilan lämpöpumpun lämmönlähteenä.[\[22\]](#)

Suljetussa kierrossa toimiva järjestelmä, jossa käytetään yksivaiheista TurboClaw-kompressoria, nostaa kylmäaineen lämpötilaa 34 K. Höyryä tuotetaan suoraan höyrylauhduttimessa enintään 130 °C:n lämpötilassa ja noin 200–350 kW_{th} teholla, minkä jälkeen se johdetaan takaisin vierteen keittokattilaan. Näin muodostuu suljettu energiakierto, joka vähentää öljykattilassa tuotetun höyryn tarvetta.[\[22\]](#)

Lämpöpumppu integroitiin Hepworthin panimolla aluksi vain yhteen panimolinjaan. Sen kapasiteetti on kuitenkin riittävä palvelemaan kaikkia neljää panimolinjaa, koska vierteen keitto tapahtuu panos-prosessina eikä kaikki linjat tarvitse höyryä samanaikaisesti. Koko panimon kattava integrointi on suunniteltu toteutettavaksi vuonna 2026, jolloin hanke etenee konseptin toimivuuden osoittamisesta taloudellisesti kannattavan ratkaisun demonstrointiin.[\[22\]](#)

Ratkaisu demonstroi korkean hyötysuhteen prosessihöyryn tuotannon ratkaisun alle 1 MW kokoluokassa öljyttömällä turbokompressoriin perustuvalla ratkaisulla, jota käytetään matalammilla virtausnopeuksilla, mikä pienentää lämpöpumpun tuotanto, käyttö ja huoltokustannuksia. Ratkaisu tuo tähän kokoluokkaan kilpailijan ruuvi- tai mäntäkompressoreihin perustuville lämpöpumpuille. Ratkaisu soveltuu erityisesti teollisuuden prosesseihin, joissa tarvitaan noin 120–150 °C:n höyryä ja joissa syntyy hyödynnettävissä olevaa noin 80–100 °C:n hukkalämpöä.[\[22\]](#)

Vuonna 2026 julkaistujen tietojen mukaan demonstraatio osoitti erittäin hyvän suorituskyvyn:

- lämpöpumpun COP oli noin 6,
- energian kulutus väheni 85,8 % verrattuna öljykattilaan,
- hiilidioksidipäästöt pienenivät 91,2 %,
- energiakustannukset alenivat 65,3 %,
- järjestelmä tuotti tasaisesti 125 °C:n prosessihöyryä, joka täytti panimon prosessivaatimukset. [\[23\]](#)

3.2.12 Korkean lämpötilan lämpöpumpujen taloudellisuustarkastelu maitojauheen tuotannossa

Accenturen ja Eurelectricin vuonna 2025 julkaistussa tutkimuksessa The new industrial age - Tailored electrification pathways for Europe's industrial competitiveness arvioidaan tiettyjen sähköistämisen teknologioiden kustannuskilpailukykyä ja sen kehittymistä. Selvitys käsittelee yhtenä esimerkkinä Suomessakin relevanttia maitojauheen tuotannon sähköistämistä lämpöpumppuratkaisuilla Tanskassa ja Ranskassa. Selvitys arvioi, että maitojauheen tuotanto tulee olemaan molemmissa maissa jo ennen vuotta 2030 taloudellisesti kannattavampaa sähköistetyllä prosessilla (lämpöpumppu ja sähkökattila) kuin käyttäen prosessissa maakaasua. Suomessa maakaasua korvaavan sähköistämisen kannattavuutta parantaa sähköistämislle otollinen sähkö/kaasu hintasuhde. [\[24\]](#)

3.2.13 Jäähdytysverkoston jäähdytyksestä lämpöä lämpöpumpulla spraykuivausprosessin esilämmitykseen maitojauhetehtaalla – Arla Foods, Svenstrup (Tanska)

Maitojauheen valmistuksessa käytettävä spray-kuivaus on yksi meijeriteollisuuden energiain-tensiivisimmistä prosesseista. GEA toteutti vuonna 2024 Arla Foodsin Svenstrupin maitojauheita tuottavalla tehtaalla ensimmäisen teollisen spraykuivausprosessin, jossa transkriittinen CO₂-korkealämpötilalämpöpumppu on integroitu suoraan kuivausprosessiin. Demonstraatio vähentää maakaasun käyttöä hyödyntämällä hukkalämpöä lämpöpumpun lämmönlähteenä kuivausprosessin esilämmityksessä. [\[25\]](#)

Järjestelmä hyödyntää lämmönlähteenä laitoksen jäähdytysvesijärjestelmästä saatavaa matalalämpöistä hukkalämpöä, joka nostetaan lämpöpumpulla korkeampaan lämpötilaan prosessi-ilman esilämmitystä varten. Demonstraation esittelyn [\[25\]](#) mukaan järjestelmän keskeiset ominaisuudet ovat:

- kylmäaineena hiilidioksidi (R744)
- kompressorina mäntäkompressori
- lämmönlähde: vesi 5 → 3 °C
- lämmönsiirtoväliaine: paineistettu vesi 35 → 130 °C
- mitoituslämmitysteho 850 kW (nimellinen lämmitysteho 950 kW)
- samalla aikaansaatava jäähdytysteho 430 kW 3 °C:n lämpötilassa
- mitattu COP = 2,5
- käyttöaika yli 7 000 tuntia vuodessa

Lämpöpumpun tuottama lämpö siirretään vesi-ilma-lämmönvaihtimen kautta spraykuivurin prosessi-ilmaan, joka lämmitetään 120 °C:een. Prosessin alkuperäinen höyrykäyttöinen ilmanlämmitin jää käyttöön nostamaan ilman lämpötila lopulliseen kuivauslämpötilaan. Raportin mukaan lämpöpumpun ja höyrylämmityksen yhteiskäyttö on toiminut ilman häiriöitä lämpötilansäädössä tai ilmavirran hallinnassa. Samalla lämpöpumppu tuottaa 3 °C:n jäähdytystä laitoksen keskitettyyn jäähdytysvesiverkkoon. [\[25\]](#)

Arla tiedotti lokakuussa 2025 korkean lämpötilan lämpöpumppuprosessin hyvistä tuloksista ja ilmoitti selvittävänsä käyttöönoton mahdollisuuksia laajemmin Arlan tuotannossa. [\[26\]](#)

3.2.14 **Ulkoilmaa lämmönlähteenä käyttävä lämpöpumpun ja MVR:n yhdistävä ratkaisu maakaasun korvaamiseksi höyryntuotannossa panimolla Coloradossa USA:ssa**

AtmosZero toteutti vuonna 2025 New Belgium Brewingin panimolla Coloradossa demonstraation ulkoilmaa lämmönlähteenä käyttävästä korkealämpötilalämpöpumpusta, joka korvaa osan maakaasukattiloilla tuotetusta prosessihöyrystä. Lämpöpumppu mitoitettiin tuottamaan noin kolmannes panimon höyryntarpeesta, ja sen keskeisenä tavoitteena on vähentää höyryntuotannon hiilidioksidipäästöjä ilman muutoksia panimon tuotantoprosesseihin. [27]

Järjestelmä perustuu kaskadikytettyyn lämpöpumppuun, jossa käytetään öljyttömiä keskipakokompressoreita korkean hyötysuhteen saavuttamiseksi. Lämpöpumpun tuottama 150 °C:n höyry johdetaan MVR-prosessiin, jossa höyry puristetaan 165 °C:n lämpötilaan ja paine nostetaan 3,8 bar:sta 6,0 bar:iin ennen syöttöä laitoksen höyryverkkoon. [27]

Lämpöpumppu asennettiin rakennuksen ulkopuolelle, ja käyttöönotto edellytti ainoastaan sähkö-, syöttövesi- ja höyryliitännöiden tekemistä. Raportin mukaan ratkaisu ei vaatinut integrointia panimon prosesseihin eikä tuotantoseisokkia. Ennen toimitusta järjestelmä testattiin useiden kuukausien ajan valmistajan ulkotestauslaitteistolla, mikä nopeutti käyttöönottoa ja vähensi säätötarvetta kentällä. [27]

Kenttäkokeissa järjestelmä osoitti pystyvänsä reagoimaan nopeasti höyryntarpeen vaihteluihin. Lämpöpumppu toimii höyryjärjestelmän ensisijaisena lämmönlähteenä, kun taas maakaasukattilat kattavat kulutushuiput. Lämpöpumppu käynnistyy automaattisesti höyrylinjan (steam header) paineen laskiessa asetetun raja-arvon alapuolelle ja pysähtyy paineen noustessa ylärajan yläpuolelle. Ohjausstrategian onnistumisen kannalta ratkaisevaa on laitoksen nopea käynnistyminen: lämpimästä käynnistyksestä alle viidessä minuutissa ja kylmäkäynnistyksestä alle 15 minuutissa. [27]

Demonstraation esittely [27] nostaa esille ratkaisun keskeiset tekniset ominaisuudet:

- lämmönlähde: ulkoilma (–20...40 °C)
- tuotettu höyry: 150 °C → 165 °C (MVR:n jälkeen)
- lämmitysteho: 650 kW
- kylmäaineet: R513A ja R1233zd(E)
- kompressoritekniikka: öljytön keskipakokompressori
- lämmityskerroin COP 1,30–2,04 lämmönlähteen lämpötilasta riippuen (ulkoilma - 13...35°C ja 150°C höyry, arvot mitattu testilaitoksella ennen järjestelmän toimitusta)
- käyttöaikaa yli 1 000 tuntia (lokakuuhun 2025 mennessä)

Investoinnin arvioidut kustannukset ja säästö ovat seuraavat:

- investointikustannus noin 750 000 €,
- vuotuiset kustannussäästöt noin 170 000 €/vuosi verrattuna kaasukattilaan,
- arvioitu hiilidioksidipäästöjen vähenemä noin 1 300 tCO₂/vuosi. [27]

3.3 Korkean lämpötilan lämpöpumppujen toteutuksia Suomessa

Seuraavassa on esitetty IEA:n projektin dokumentoimia esimerkkejä täydentäviä korkean lämpötilan lämpöpumppujen toteutuksia teollisuudesta Suomessa.

3.3.1 **SSAB:n Hämeenlinnan tehtaan hukkalämpö hyötykäyttöön Loimuan kaukolämpöverkossa**

Loimua Oy:n rakentama lämpöpumppulaitos SSAB:n Hämeenlinnan tehdasalueella aloitti toiminnan alkuvuodesta 2026. Laitoksen lämpöteho on noin 10 MW ja sillä tuotetaan noin 70 GWh kaukolämpöä vuodessa. Hämeenlinnan tehtaan suljetussa jäähdytysvesijärjestelmässä kiertävä vesi jäähdyttää kaikkia sen tuotantolinjoja. Tästä syntyvä hukkalämpö otetaan talteen ja nostetaan noin 85 asteiseksi. Lämpöpumppulaitokselta on rakennettu noin 2,5 km pitkä putki Vana-jan voimalaitokselle, jossa lämpötilaa voidaan tarvittaessa vielä nostaa ennen kaukolämpöverkoon syöttämistä. [28]

3.3.2 **UPM Korkeakosken sahan kuivaamon hukkalämmön hyötykäyttö**

Korkeakosken sahalla kahden sahatavarakuivaamon 52–60 °C:n hukkalämpö otetaan talteen ja nostetaan Calefan noin 1 MW:n AmbiHeat-lämpöpumppulaitoksella yli 100 °C:n teollisuuslämmöksi. Lämpö palautetaan sahan omaan lämmöntuotantoon, jolloin hakkeen polttamista voidaan vähentää. Järjestelmä on ollut käytössä vuodesta 2023. [29]

3.3.3 **Mäkelä Alu hyödyntää hukkalämpöjä lämpöpumpun avulla puristuslinjasta, anodisointilaitoksesta ja valimosta**

Lämpöpumppujen hyödyntäminen käynnistyi yhteistyössä Calefan kanssa, kun Mäkelä Alu investoi vuonna 2016 uuteen alumiinipuristuslinjaan Luoma-ahon tehtaalle. Ensimmäisessä toteutuksessa yhdistyivät alumiinipuristuslinjan kompressiojäähdytys, vapaajäähdytys sekä lämpöpumppu. Vuonna 2017 käynnistyneen uuden alumiinipuristimen jäähdytyksestä voidaan hyödyntää 1MW lämpötehoa uusiokäyttöön ja samalla vähentää ostoenergian tarvetta. [30]

Seuraavassa vaiheessa Luoma-Ahon tehtaalla Calefan toimittama lämpöpumppuratkaisu korvasi anodisointilaitoksen vanhan runkovedellä ja höyrykeskuksella toteutetun jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän. Lämpöpumppujärjestelmää tehostaa tarvittaessa sähkökattila. Uusi prosessi on tuottanut mittavat päästövähennykset ja säästöjä energiakustannuksissa. Samalla on saatu merkittäviä parannuksia prosessitekniikkaan. Aikaisemmin linjaa jouduttiin pysäyttelemään lämpötilojen nousun vuoksi, mutta tehokkaan jäähdytyksen ansiosta ongelma on poistunut. [30]

Viimeisimpänä projektina Calefa on toteuttanut Mäkelä Alun alumiinivalimon yhteyteen ratkaisun, joka ottaa lämmön talteen valimon valun aikana syntyvistä jäähdytysvesistä. Talteen otettu lämpö hyödynnetään lämpöpumpun avulla kahden maalaamon lämmittämiseen korvaan nestekaasun käytön molempien maalaamoiden esikäsittelyprosessien lämmityksessä. [30]

Lisäksi Calefa on toteuttanut Kouvolaan Voikkaan toimipisteelle lämpöpumppulaitoksen, jonka avulla prosessivesien lämmitys onnistuu ilman maakaasun käyttöä, mikä vähentää hiilidioksidipäästöjä noin 204 tonnia vuodessa. [30]

3.3.4 **BEWI Finland Oy:n Muurlan solumuovitehtaan prosessin hukkalämpö hyödynsi**

BEWI Finland Oy:n solumuovitehtaalla prosessissa syntyvää noin 50–60 °C:n hukkalämpöä hyödynnetään Oilon ChillHeat P150 -lämpöpumpulla. Lämpöpumpulla tuotetaan lähes 100 °C:n lämpöä. Julkaistujen referenssitietojen mukaan lämmitysteho on 372 kW ja COP noin 3,2. Läm-

pöä hyödynnetään muun muassa raaka-aineen esikäsittelyssä ja höyrykattilan syöttöveden lämmityksessä. [\[31,32\]](#)

3.3.5 **Snellman Pietarsaarella kylmäkoneen hukkalämpöä korkealämpöiseen käyttöön**

Snellmanin Pietarsaaren tehtaalla Oilonin lämpöpumpuilla hyödynnetään kylmäkoneiden hukkalämpöä. Vuonna 2019 asennetut ChillHeat-lämpöpumput tuottavat noin 95 °C:n vettä. Korkeaa lämpötilaa hyödynnetään esimerkiksi työvälineiden sterilointiin, tuotantotilojen kuivaukseen pesujen jälkeen sekä muuhun prosessilämpöön. Ratkaisu vähentää korkealämpöisen höyryn tarvetta. [\[33\]](#)

3.3.6 **Orionin Espoon ja Turun tehtaiden prosessijäähdytyksen hukkalämpöä tehdaskiinteistöjen lämmitykseen**

Orionin teollisissa lämpöpumppuratkaisuissa yhdistyvät prosessijäähdytys ja hukkalämmön hyödyntäminen. Lämpöpumppulaitos tuottaa jäähdytyksen Orionin tuotantoprosessiin Espoon ja Turun tehtailla. Jäähdytyksestä syntyvä hukkalämpö hyödynnetään edelleen tehdaskiinteistöjen lämmityksessä. Jos prosessista saatavaa hukkalämpöä ei ole riittävästi, loppuenergia tuotetaan ulkoilman energiasta. Ratkaisun lämpötilatasoksi on esitetty Calefan sivuilla 85 °C ja COP arvoksi on esitetty 3,1. Lämmön lähteinä on mainittu 10 °C hukkalämpö ja -15 °C ulkoilma. Espoon tehtaalla viiden lämpöpumppumoduulin yhteisteho on 3 MW. [\[34,35,36\]](#)

3.3.7 **Kiilto Lempäälä – ylijäämälämpöä Lempäälän kaukolämpöverkkoon**

Kiillolla hyödynnetään liimanvalmistuksen prosessijäähdytyksen hukkalämpöä muun muassa käyttöveden ja tehdaskiinteistöjen lämmitykseen. Ylijäämälämpöä syntyy etenkin kesäaikaan yli tehtaan oman tarpeen. Ylijäämälämpöä hyödynnetään Calefan AmbiHeat lämpöpumppulaitoksen kautta Lempäälän kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöverkkoon liittyminen mahdollisti Kiilolle mahdollisuuden hyödyntää talviaikaan Lempäälän Lämmön tuottamaa kaukolämpöä hukkalämmön rinnalla. [\[37\]](#)

4 Esimerkkejä kiinteän aineen ja korkean lämpötilan latenttilämpövarastojen kehityksestä viime vuosilta

Uusiutuvan energian ja hukkalämmön varastointi tukee teollisuuden sähköistymistä mm.

- mahdollistamalla uusiutuvan sähkön tehokkaamman hyödyntämisen varastoimalla sähköä lämmöksi, kun sähköä on runsaasti ja edullisesti saatavilla,
- mahdollistamalla sähkön varastoinnin korkeankin lämpötilan lämmöksi ja edelleen esimerkiksi prosessihöyryksi suurellakin tehontarpeella, jolloin sähköistetty teollisuuden prosessi voi toimia tasaisemmin,
- parantamalla hukkalämmön ja prosessilämmön tarpeen ajallista kohtaantoa ja lisäämällä näin hukkalämmön hyödyntämistä,
- vähentämällä sähköverkon huipputehon tarvetta,
- vähentämällä sähkökattiloiden ja muiden sähköisten lämmityslaitteiden mitoitustarvetta, kun varasto kattaa kulutuspiikkejä,
- parantamalla toimitusvarmuutta, kun lämpövarasto toimii puskurina sähköverkon häiriöiden varalta.

Seuraavassa on esitelty joidenkin lämmön varastointiteknologioiden kaupallista vaihetta sekä toteutettuja demonstraatioita ja kaupallistettuja ratkaisuja.

4.1 Esimerkkejä kiinteän aineen lämpövarastoista

Energiaa varastoidaan kiinteään materiaaliin, kuten kiveen, soraan, metalleihin tai muihin korkeaa lämpötilaa kestäviin materiaaleihin kierrättämällä lämmönsiirtoainetta varastossa. Energia varastoituu materiaaliin lämpönä, josta se voidaan tarpeen mukaan hyödyntää joko lämpönä tai muuntaa sähköksi. Kiinteän aineen lämpövarastot soveltuvat korkeisiin käyttölämpötiloihin, tyypillisesti noin 600 °C:een asti. Teknologian TRL on jo saavuttanut tason 9. [38] Seuraavassa on nostettu esille joitain esimerkkejä käyttöönotetuista ratkaisuista.

Yhtenä esimerkkinä teknologiasta toimivat Elstörin kiinteän aineen lämpövarastot, joita on toteutettu kaupallisesti jo kuusi kappaletta. Uusin toteutus on Saarioisten Valkeakosken tehtaalla marraskuussa 2025 käyttöön otettu 20 MWh:n korkean lämpötilan lämpövarasto höyryn tuotantoon. Uusi laitteisto korvaa höyryntuotannossa maakaasun. Yksi 20 MWh:n lämpövarasto tuottaa noin 10 000 MWh höyryenergiaa vuodessa. Suorat hiilidioksidipäästöt vähenevät arviolta yli 2 300 tonnia CO₂ vuosittain. Varastojärjestelmällä on 3,2 MW latausteho, 4,0 MW purkuteho. Purkutehon ja varastokoon suhde on korkea. [39]

Polar Night Energy valmistaa korkean lämpötilan lämpövarastoja, joissa sähköllä tuotettu lämpö varastoidaan hiekkaan tai vastaavaan kiinteään materiaaliin. Teknologialla varastoitua lämpöä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämpöön ja teollisuuden prosesseihin. Loviisan Lämpö on ottanut kesällä 2025 käyttöön Pornaisissa kaukolämmön tuotantoon Polar Night Energyn hiekka akun, joka teho on 1 MW ja varastointikapasiteetti 100 MWh. Kesäkuussa 2026

julkaistun tiedotteen mukaan hiekka-akun avulla on saatu vähennettyä Pornaisten kaukolämpöverkon päästöjä 70% ja sitä on pystytty lataamaan noin 70–80 prosenttia sähkön spotmarkkinan keskihintaa halvemmalla. Polar Night Energy rakentaa hiekka-akkua kaukolämpöverkkoon myös Lahti Energialle Asikkalan Vääksyyn. Akun teho on 2 MW ja varastointikapasiteetti 250 MWh ja sen käyttöönoton on tarkoitus alkaa keväällä 2027. [\[40,41\]](#)

Aiemmin muun muassa BTES-ratkaisusta (Borehole Thermal Storage) tunnettu Heliostorage on lanseerannut maaliskuussa 2026 lämpövarastoratkaisun, jossa lämpö varastoidaan soraan. Varasto on suunniteltu tuottamaan kuumaa ilmaa tai vettä teollisiin prosesseihin ja rakennusten lämmitykseen. Varasto lämmitetään sähkövastuksilla ja olemassa olevista prosesseista syntyvää hukkalämpöä (kuuma ilma) voidaan hyödyntää lisälatauslähteenä. Varastomateriaalina toimiva sora voidaan lämmittää noin 400 °C:seen. Modulaarisen ratkaisun yhden moduulin lataus-/purkuteho on 400 kW ja lämpökapasiteetti 4 MWh. Ilmalle ulostulolämpötilaksi ilmoitetaan 350 °C ja vedelle 120 °C. [\[42\]](#)

Norjalainen ENERGYNEST on kehittänyt ThermalBattery-lämpövaraston, jossa lämpöenergia varastoidaan erityiseen HEATCRETE-betoniin. Lämpö siirretään betoniin ja siitä takaisin teollisuusprosessiin betonirakenteiden sisällä kiertävän lämmönsiirtoaineen avulla. Modulaarinen teknologia soveltuu erityisesti teollisuuden prosessilämmön varastointiin, hukkalämmön hyödyntämiseen sekä sähkön avulla tuotetun lämmön varastointiin. Yhtenä esimerkkinä toteutetuista hankkeista Yaran tehtaalla on otettu käyttöön vuonna 2023 noin 4 MWh:n ThermalBattery-lämpövarasto. Ratkaisun tarkoituksena on tasapainottaa tehtaan höyryverkkoa varastoimalla ylimääräisen korkeapaineisen höyryn lämpöä ja vapauttamalla sitä matalapaineisena höyrynä. Ratkaisu mahdollistaa höyryntuotannon ja kulutuksen ajallisen yhteensovittamisen sekä parantaa tehtaan energiatehokkuutta. [\[43\]](#)

Rondo Energy otti käyttöön Kaliforniassa vuonna 2025 100 MWh:n teollisen lämpövaraston, jossa aurinkosähköllä lämmitetään tiiliä yli 1 000 °C:n lämpötilaan. Varastoitua lämpöä hyödynnetään höyryn tuottamiseen lähialueen teollisuuslaitoksille. Järjestelmän hyötysuhde (sähkö-lämpö-höyry) on noin 97 %. Yhtiö on lisäksi asentanut 33 MWh:n pienemmän yksikön Thaimaahan, jossa varastoa käytetään hukkalämmön hyödyntämiseen sähkön tuotannossa. [\[44\]](#)

Rondo Energyn korkean lämpötilan lämpöenergian varastointiteknologiaa suunnitellaan käytettäväksi myös Heinekenin tehtaalla Portugalissa. Energia varastoon saadaan kahdesta uusiutuvasta lähteestä: uudesta 7 MW:n huipputehoisesta aurinkovoimalasta panimoalueella sekä sähköverkosta pitkäaikaisella uusiutuvan sähkön hankintasopimuksella. Lämpöakku varastoi uusiutuvan sähkön ja muuntaa sen höyryksi, jota käytetään panimon prosesseissa. Ratkaisu vähentää hiilidioksidipäästöjä ilman, että oluen valmistusprosessia tarvitsee muuttaa. Ratkaisu toteutetaan Heat as a Service -palvelumallilla, jossa EDP Comercial vastaa järjestelmän suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä, kun taas Rondo toimittaa lämpöakkuteknologian. [\[45\]](#)

Antora kehittää lämpöakkuteknologiaa, joka perustuu eristetyissä lämpöakkumoduuleissa oleviin hiililohkoihin, jotka kuumennetaan noin 2400 °C:n lämpötilaan. Tässä lämpötilassa hehkuva hiili säteilee voimakkaasti, ja säteilyenergia muunnetaan sähköksi TPV-kennojen (thermophotovoltaic cell) avulla. Tämän ansiosta lämpövarastosta voidaan tuottaa lämmön lisäksi myös sähköä. Yhtiö keräsi 150 miljoonaa Yhdysvaltain dollaria lämpöakkuteknologiansa kehittämiseen vuonna 2024. [\[46\]](#)

Latenttilämmön varastointi (Latent Heat Storage, LHS) perustuu siihen, että materiaali sitoo tai luovuttaa energiaa vakiolämpötilassa tapahtuvan olomuodon muutoksen yhteydessä. Useimmissa sovelluksissa hyödynnetään kiinteän ja nestemäisen olomuodon välistä muutosta, jossa lämpöä varastoidaan materiaalin sulaessa ja vapautetaan sen jäähmettyessä. IEA arvioi teknologia TRL-tason olevan luokassa 6-8 riippuen varaston lämpötilatasosta. [\[38\]](#)

MGA Thermal on käynnistänyt esisuunnitteluvaiheen 195 MWh ETES-varastosta (Electro-Thermal Energy Storage) Tronoxin laitoksella Australiassa. Hankkeen rakentamisen on tarkoitus alkaa vuonna 2027 ja laitoksen kaupallinen käyttö on määrä käynnistyä vuonna 2028, jolloin se toimittaa Tronoxin Kwinanan tuotantolaitokselle noin 20 tonnia uusiutuvaa höyryä tunnissa Heat as a Service -palvelusopimuksella. Mikäli teknologia otetaan käyttöön laajassa mittakavassa, sillä on mahdollisuus korvata fossiilisten polttoaineiden käyttö kokonaan. [\[47\]](#)

MGA Thermal ilmoitti huhtikuussa 2025 ottaneensa käyttöön maailman ensimmäisen höyryntuotantoon integroidun latenttilämpöön perustuvan ETES-varaston Australiassa. Kyseessä on täysimittaisesti toimiva demonstraatiolaitos. Järjestelmä varastoi uusiutuvalla sähköllä tuotettua lämpöä patentoituihin faasimuutosmateriaaleihin ja tuottaa siitä tarpeen mukaan teollisuuskelpoista tulistettua höyryä ympäri vuorokauden. Yhtiön mukaan latenttilämpövarastointi tarjoaa perinteisiin "sensible heat" lämpövarastoihin verrattuna jopa 2-3 kertaisen energiatiheyden, pienemmän tilantarpeen sekä paremman energiatehokkuuden. Demonstraatiolaitos varastoi 5 MWh lämpöenergiaa ja kykenee tuottamaan 500 kW lämpötehoa, mikä mahdollistaa jatkuvan höyryntuotannon 24 tunnin ajan. [\[48\]](#)

Eurooppalaisessa CHASE4HEAT hankkeessa (2025–2027) kehitetään teollisuuden prosessihöyryn tuotantoon soveltuvaa ratkaisua, jossa yhdistetään korkean lämpötilan lämpöpumppu ja latenttilämpövarasto. Hankkeessa demonstroidaan tutkimusympäristössä 100 kW:n lämpöpumpun ja 100 kWh:n latenttilämpövaraston yhdistelmää 150 °C:n lämpötilatasolla. Teknologian keskeisenä tavoitteena on mahdollistaa teollisuuden hukkalämmön tehokkaampi hyödyntäminen sekä erottaa lämmöntuotanto ja höyrynkulutus ajallisesti toisistaan. Lämpövarastosta saadaan seuraavia hyötyjä:

- Lämpöpumpun käyttöasteen parantaminen. Lämpövarasto mahdollistaa lämpöpumpun tasaisemman käytön, vaikka teollisuusprosessin lämmöntarve vaihtelisi.
- Prosessien lämmitystehohuippujen kattaminen. Erityisesti panosprosesseissa ja tuotannon käynnistystilanteissa lämmöntarve voi kasvaa hetkellisesti huomattavasti. Lämpövaraston avulla voidaan kattaa nämä tehohuiput ilman, että lämpöpumppu mitoitetaan suurten lyhytaikaisten lämmöntarpeiden mukaan.
- Sähkön hintavaihteluiden hyödyntäminen. Lämpövarasto mahdollistaa lämpöpumpun pysäyttämisen ilman, että prosessihöyryn toimitus häiriintyy esimerkiksi silloin, kun uusiutuvaa sähköä on niukasti ja sähkön hinta on korkea. [\[49\]](#)

5 RotoDynamic Heater (RDH) ja RotoDynamic Reactor (RDR) teknologioiden viime vuosien kehitys

Suomalaisen Coolbrook Oy:n kehittämä RotoDynamic Heater (RDH) on sähköinen prosessilämmitysteknologia, jolla on mahdollista saavuttaa 1700 °C:n lämpötila ilman fossiilisten polttoaineiden polttamista. RDH-prosessissa korkeaan lämpötilaan lämmitetyllä kaasulla korvataan fossiilisten polttoaineiden polttamista prosessilämmityksessä esimerkiksi teräksen, raudan, sementin ja kemikaalien teollisessa tuotannossa. [\[50\]](#)

Adani Cement ja Coolbrook ovat ilmoittaneet marraskuussa 2025 toimitussopimuksesta, joka koskee maailman ensimmäistä RotoDynamic Heater™ (RDH™) -teknologian kaupallista käyttöönottoa sementin vähähiilistämiseksi. Projekti toteutetaan Boyareddypallin integroidulla sementtitehtaalla Andhra Pradeshissa Intiassa. Kyseessä on Coolbrookin RDH™-teknologian ensimmäinen teollisen mittakaavan käyttöönotto. Teknologia vähentää päästöjä kalsinointivaiheessa, joka on sementintuotannon fossiilisten polttoaineiden käytön kannalta intensiivisin vaihe. Tuottamalla puhdasta lämpöä fossiilisille polttoaineille vaihtoehtoisten polttoaineiden kivaamiseen ja niiden lämpöarvon parantamiseen teknologia mahdollistaa fossiilisten polttoaineiden huomattavasti suuremman korvaamisen kestäville vaihtoehdoilla. Käyttöönoton odotetaan vähentävän hiilidioksidipäästöjä suoraan noin 60 000 tonnia vuodessa, ja vähennyspotentiaalin arvioidaan voivan kasvaa ajan myötä kymmenkertaiseksi. [\[51\]](#)

Coolbrookin RotoDynamic Reactor (RDR) on sähköinen höyrykrakkausteknologia, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita käyttävät krakkausuunit. Hiilidioksidipäästöttömällä sähköllä käytettynä teknologia mahdollistaa krakkauslämmön tuottamisen ilman hiilidioksidipäästöjä ja vähentää siten ratkaisevasti olefiinituotannon päästöjä. Perinteisessä höyrykrakkauksessa syöttöaineseos lämmitetään reaktiovyöhykkeen ulkopuolelta. RotoDynamic Reactorissa (RDR) roottorin nopeasti pyörivät lavat tuottavat tehokkaasti lämpöenergiaa seoksen lämmittämiseksi reaktiovyöhykkeen sisällä. [\[50\]](#)

RDR-teknologia on edennyt viime vuosina. Yhtiö tiedotti syyskuussa 2025, että yritys on ensimmäisenä maailmassa osoittanut pilottitehtaallaan, että kokonaan muovijätteestä valmistettu pyrolyysiöljy voidaan krakata suoraan RDR-reaktorissa siten että etyleenin ja propeenin saannot pysyvät korkeina ja prosessi toimii vakaasti. Saavutukset pohjaavat Coolbrookin aiemman onnistuneeseen pilottihankkeeseen Alankomaissa Brightlandsissa, jossa yhtiö osoitti pystyvänsä kuumentamaan uusiutuvalla sähköllä erilaisia kaasuja, kuten ilmaa, vesihöyryä, typpeä ja metaania, yli 1000 °C:n lämpötilaan. Coolbrook onnistui aiemmin pilottilaitoksella myös krakkaamaan naftaa saavuttaen perinteisiin krakkausuneihin verrattuna merkittävästi suuremmat saannot. [\[52\]](#)

5.1 Höyrykrakkaus osana muovien kierrätysteknologioiden sähköistämistä ELECTRO-hankkeessa

Sähköistämisessä nähdään potentiaalia myös muovien kierrätysteknologioissa, joissa monikerrosrakenteisten tuotteiden sisältämien eri muovilaatujen (polymeerien) talteenotto edellyttää energiantensiivisiä erotusprosesseja. Näissä erotusprosesseissa tarvittava lämpö tuotetaan toi-

sinaan fossiilisilla polttoaineilla. Erotusprosesseissa tarvittava lämpö voidaan tuottaa sähköllä tai käyttää erotukseen uusia sähköpohjaisia teknologioita.

EU:n Horizon Europe -ohjelman ELECTRO-hankkeessa (2022-2026) on kehitetty sähköistettyä kemiallisen kierrätyksen prosessia erityisesti monikerrosmuoveille sekä PE-, PP- ja PS-sekamuoveille, joita on vaikea kierrättää mekaanisesti. Ratkaisussa:

- muovijäte esikäsitellään uudella modulaarisella ekstruuderilla,
- varsinainen kemiallinen kierrätys tapahtuu sähköisesti lämmitettävässä katalyyttisessä pyrolyysireaktorissa,
- syntyvä pyrolyysiöljy hyödynnetään uusien polymeerien valmistuksessa RDR-teknologialla Coolbrookin -pilottilaitoksella. [\[53\]](#)

Lähdeluettelo

- [1] Baldea, M., Endler, E. E., Hale, E., Maravelias, C. T., Barolo, M., Harjunkoski, I., Mercangoz, M., Shah, S. L., Soroush, M., Young, B. R. & Zhang, Q. 2025. Transforming the Process Industries through Electrification: Challenges and Opportunities. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 64(34), s. 16466–16478. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5c01256>
- [2] Walmsley, T., Lincoln, B., Hoang, D., Kong, L. & Schlosser, F. 2026. High temperature heat pumps – Guidance for applications, integration, and assessment. Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA). Saatavissa: [julkaisun PDF](#).
- [3] Ashabi, A., Mostafa, M., Hryshchenko, A., Bruton, K. & O’Sullivan, D. T. J. 2025. Assessing power-to-heat technologies for industrial electrification: A multi-criteria decision analysis approach. *Energy Conversion and Management*: X, 25, artikkeli 100882. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100882>.
- [4] IEA:n Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies. Project 68 of industrial high temperature heat pumps (1.5.2025–30.4.2028). Projektin sivusto: <https://heatpumpingtechnologies.org/project68/>.
- [5] IEA HPT TCP. Project 68. Industrial High-Temperature Heat Pumps. Task 1 – Technologies. Yearly report 2025. Report no. HPT-PR68-2.
- [6] Zühlsdorf, B. & Andersen, M. P. 2026. Decarbonizing industrial process heating with HTHPs – From market to application. PDF-muotoinen esitys. Danish Technological Institute. IEA HPT TCP Project 68.
- [7] Solla, T. 2025. Kuumalämpöpumpun sekä kuumalämpöpumpun ja höyryn mekaanisen puristuksen COP-arvojen vertailu. Diplomityö, energiatekniikka. Lappeenranta–Lahden teknillinen yliopisto LUT.
- [8] IEA HPT TCP. 2025. *Steam generating heat pump for paper mill*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Lokakuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [9] IEA HPT TCP. Project 68. Task1. Demonstraatiohankkeen esittely: [Vicinity Energy Boston, US](#)
- [10] Everllencen [tiedote](#) 4.11.2025
- [11] IEA HPT TCP. 2025. *Decarbonation sugar production with Heatens high temperature heat pump*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [12] IEA HPT TCP. 2025. *Steam-producing pentane-based heat pump in megawatt scale*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Marraskuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [13] IEA HPT TCP. 2025. *Royal FrieslandCampina dairy, The Netherlands*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Syyskuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [14] IEA HPT TCP. 2025. *Saturated steam production at 6 bara for the packaging sector in Spain*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Syyskuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).

- [15] IEA HPT TCP. 2025. *Feed industry – ANEO – Case thermal pelleting*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Lokakuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [16] IEA HPT TCP. 2026. *Vandersanden disrupts the construction sector with carbon-absorbing brick*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Maaliskuu 2026. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [17] IEA HPT TCP. 2025. *DryFiciency – Industrial heat pump for a climate-neutral European industry*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Syyskuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [18] Wienerberger:n esittely GreenBricks -projektista [yrityksen sivustolla](#)
- [19] Wienerberger:n [tiedote 4.12.2024](#)
- [20] Eurelectricin [artikkeli 3.6.2026: Wienerberger GreenBricks shows how integrating an electric kiln with heat pumps can decarbonise heavy clay manufacturing at scale](#)
- [21] IEA HPT TCP. 2025. *Ahascragh Distillery Revolutionizes Whiskey Production with 100% Renewable Energy using High Temperature Heat Pumps installed by Astatine*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Marraskuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [22] IEA HPT TCP. 2026. *Futraheat ‘Greensteam’ High Temperature Heat Pump installation at Hepworth Brewery, UK*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Toukokuu 2026. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [23] Process and Control Today:n 14.1.2026 julkaisema [artikkeli demonstraatiosta](#)
- [24] Eurelectric, Accenture. 2025. [The new industrial age: Tailored electrification pathways for Europe’s industrial competitiveness](#)
- [25] IEA HPT TCP. 2025. *Integration of GEA AddCool® in an industrial spray dryer*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Lokakuu 2025. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [26] Arlan [tiedote 9.10.2025](#)
- [27] IEA HPT TCP. 2026. *An Air-Sourced Steam Generating Heat Pump at New Belgium Brewing*. Project 68: Industrial High-Temperature Heat Pumps, Task 1. Demonstraatiohankkeen esittely. Tammikuu 2026. Saatavissa: [PDF-muotoinen julkaisu](#).
- [28] Loimuan [tiedote 10.2.2026](#)
- [29] Calefan [referenssiesittely UPM:n Korkeakosken sahan toteutuksesta](#)
- [30] Calefan [referenssiesittely toteutuksesta Mäkelä Alu:lle](#)
- [31] Oilonin [referenssiesittely toteutuksesta BEWI Finlandin Muurlan tehtaalle](#)
- [32] Oilonin [tiedote 27.2.2020](#)
- [33] Oilonin [referenssiesittely toteutuksesta Snellmannin Pietarsaaren tehtaalle](#)
- [34] Calefan [referenssiesittely toteutuksesta Orionin Espoon tehtaalle](#)
- [35] Calefan [referenssiesittely Orionin Turun tehtaan toteutuksesta](#)
- [36] Calefan [HotLevel-lämpöpumpun esittely](#)
- [37] Calefan [referenssiesittely toteutuksesta Kiillon Lempäälän tehtaalla](#)
- [38] IEA. 2026. [ETP Clean Energy Technology Guide](#)
- [39] Elstor Oy:n [tiedote](#)
- [40] Polar Night Energyn tiedote [11.6.2026](#)
- [41] Polar Night Energyn tiedote [8.6.2026](#)

- [42] Heliostorage Oy:n [internet sivut](#)
- [43] ENERGYNEST AS:n [internet-sivut](#)
- [44] Rondo Energyn [tiedote 16.10.2025](#)
- [45] HEINEKEN:n [tiedote 3.11.2025](#)
- [46] Antora Energy Inc:n [tiedote 22.2.2024](#)
- [47] MGA Thermal:n [tiedote 27.5.2026](#)
- [48] MGA Thermal [tiedote 29.4.2025](#)
- [49] CHASE4HEAT-hankkeen [internet-sivut](#)
- [50] Motiva. 2024. Kirjallisuusselvitys – Sähköistämällä energiatehokkuutta teollisuudessa
- [51] Coolbrook Oy:n [tiedote 12.11.2025](#)
- [52] Coolbrook Oy:n [tiedote 15.9.2025](#)
- [53] ELECTRO-hankkeen sivut: <https://electro-project.eu/>

Liite 1. Korkean lämpötilan lämpöpumpputeknologiat

Taulukko. Korkean lämpötilan lämpöpumppujen teknologiat. Taulukon tietojen lähde: IEA HTP TCP project 68:n internet-sivut

Lämpötilaluokka	Toimittaja	Malli / sarja	Kompressorityyppi	Työaine	Teho (MW)	Maks. (°C)	TRL
≤120 °C	COMBITHERM	HWW 2/9583I	Screw	R1233zd	0.3–3.3	120	9
≤120 °C	Fuji Electric	Steam Generation HP	Reciprocating	R245fa	0.03–0.3	120	9
≤120 °C	KOBELCO	SGH120	Screw	R245fa	0.37–1.85	120	9
≤120 °C	Mayekawa	Eco Sirocco	Reciprocating	R744	0.1	120	9
≤120 °C	HECK Kälte-technik	–	Piston, screw	HFOs, HFCs	0.025–1.5	120	7
≤120 °C	Mayekawa Europe	HS-compressor	Piston	R600	0.75	120	7
≤120 °C	Taeyang Electric	–	Turbocompressor (centrifugal)	R245fa	0.3–0.35	120	7
≤120 °C	AF Energy	–	Reciprocating, screw	R1234ze(E), R1233zd	0.02	120	6
≤120 °C	Emerson	Cascade HTHP	Reciprocating + Reciprocating	R245fa, R410A	0.03	120	6
≤120 °C	Fenagy	CO ₂ Heat Pump	Piston	R744	0.3–1.8	120	5–6
≤120 °C	Dutek	HT Heat Pump	Reciprocating, screw	R600a	0.025–1.2	110	9
≤120 °C	Johnson Controls – Sabroe	HyePAC	Piston	R717/R718	0.5–2.1	110	9
≤120 °C	YANMAR	HydrYa-HHP	Piston	Hydrocarbons	0.03–0.83	110	9
≤120 °C	Mayekawa	Eco Circuit 100	Reciprocating	R1234ze(E)	0.1	100	8–9
≤120 °C	TTI	–	Turbocompressor	R718, air	–	–	–
≤140 °C	Dutek	XT Heat Pump	Screw	R600	0.5–3	130	9
≤140 °C	GEA	CO ₂ Heat Pump	Reciprocating	R744	0.1–6	130	9
≤140 °C	Mitsubishi Heavy Industries	ETW-S	Turbocompressor (centrifugal)	R134a	0.627	130	9

≤140 °C	Ochsner	IWWDS 430 R4b	Screw	R1233zd	0.5	130	9
≤140 °C	Johnson Controls – Sabroe	HitemHP	Reciprocating	R600, R600a	0.3–1	125	9
≤140 °C	THERMODRAFT	–	Screw with vapor injection	HFOs, HFCs	0.1–1.5	125	7
≤140 °C	RANK	–	Screw	HFOs	≥0.5	125	6–9
≤160 °C	AGO Energie & Anlagen	Caldora	Piston, screw	R717/R718	1–10	160	8–9
≤160 °C	Siemens Energy	–	Turbocompressor	R1233zd(E), R1234ze(E)	8–70	160	5–9
≤160 °C	Everllence	Transcritical CO ₂	Turbocompressor (centrifugal)	R744	10–50	150	9
≤160 °C	Pars Makina	–	Rotary double-hinged arc vane	R1233zd(E)	0.025–0.125	150	6
≤160 °C	Mayekawa Europe	FC-compressor	Screw	R601	1	145	5
≤200 °C	Heaten	HeatBooster	Piston	Hydrocarbons, HFOs	0.8–50	200	9
≤200 °C	Olvondo	Reversed Stirling	Piston	R704	2.3	200	9
≤200 °C	ecop Technologies	Rotation Heat Pump	Centrifugal	Ecop Fluid 1	0.7	200	7–8
≤200 °C	Futraheat	Greensteam 330	Turbocompressor (centrifugal)	R1233zd	0.3–1.5	200	6
≤200 °C	Standard Fasel	–	Screw, piston, turbo	R718, R717	1–10	200	6–9
≤200 °C	WSE-Turbo	–	Turbocompressor (centrifugal)	R718	0.5–5	195	4–7
≤200 °C	Aneo Industry	–	Piston, screw (R717); screw, turbo (R718)	R717, R718	1–5	190	8–9
≤200 °C	AtmosZero	Boiler 2.0	Turbocompressor (centrifugal)	R1234ze(E), R515B, R1233zd(E)	≤1	185	8
≤200 °C	SPH Sustainable Process Heat	ThermBooster	Piston	Hydrocarbons, HFOs	0.3–2.5	180	8–9
≤200 °C	Upheat	–	Turbocompressor (centrifugal)	R601, R601a	1–4	180	3
≤200 °C	TLT-Turbo	–	Turbo (centrifugal)	R718, process vapours	n/a–5	180	n/a
≤200 °C	KOBELCO	MSRC160L	Screw	R718	0.8	175	9
≤200 °C	KOBELCO	SGH165	Screw + Screw	R245fa/R134a, R718	0.624	175	9

≤200 °C	GEA	Ammonia Steam Gener- ator	Piston, screw (R717); screw, tur- bo (R718)	R717, R718	1.2–10	175	8–9
≤200 °C	Solid Energy	–	Screw	Hydrocarbons	≥0.2	165	9
≤200 °C	SRM	STC300	Screw	R718	1–4	165	6
>200 °C	Everllence	High Temp VCC	Turbocompressor (centrifugal)	R290, R717, R600, R134a, R1233zd	10– 100	300	6–9
>200 °C	Karman Indus- tries	–	Turbocompressor (centrifugal)	R718, ethanol, mixed vapours	1–20	300	6
>200 °C	SynchroStor	Air Drying Heat Pump	Piston	R744, R728, argon	0.5– 1.5	275	4–6
>200 °C	Spilling	Steam Com- pressor	Piston	R718	1–15	250	9
>200 °C	Turboden	Large Heat Pump	Turbocompressor (centrifugal)	R600a, R245fa, R1233zd, R718	5–40	250	9
>200 °C	Enerin	HoegTemp UHT	Piston	R704	0.3–10	250	8
>200 °C	Lübberts Anla- gen- und Um- welttechnik	–	Turbocompressor, piston	R718	1.5–50	250	8–9
>200 °C	Airthium	–	Piston	R704, R728	0.1–5	250	4
>200 °C	Piller	Blowers, Compressors	Turbocompressor (centrifugal)	R718, vapours	>1	230	8–9
>200 °C	Heatlift	–	Turbocompressor (centrifugal)	R1233zd(E), R718, R600, cyclopentane	≥2	230	7–8
>200 °C	Tocircle Indus- tries	MVR-1200	Rotary positive dis- placement	R718	0.4– 2.5	230	7
>200 °C	Tocircle Indus- tries	MVR-400	Rotary positive dis- placement	R718	0.4– 2.5	230	7
>200 °C	Skyven	–	Screw, turbo (cen- trifugal)	R718	–73	215	7–8
>200 °C	EPCON	–	–	R718, process fluids	0.2– 100	210	9
>200 °C	Qpinch	–	–	R718, H3PO4 and derivatives	2–n/a	210	9

MOTIVA

Motiva Oy, Siltasaarenkatu 8–10 | 00530 HELSINKI | PUH. 09 6122 5000
motiva@motiva.fi | www.motiva.fi