



HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



REGIONAL
UNIVERSITY
NETWORK

EUROPEAN UNIVERSITY



Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Hukkalämpö- teknologiat

Sauli Lönni

Hukkalämmöt
hyötykäyttöön
Hukka



Sisältö

Matalan lämpötilan teknologiat ($<100^{\circ}\text{C}$)

Keskilämpötilan teknologiat ($100\text{--}300^{\circ}\text{C}$)

Korkean lämpötilan teknologiat ($> 300^{\circ}\text{C}$)

Sähkön tuotanto

Muut teknologiat



HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



Euroopan unionin
osarahoittama

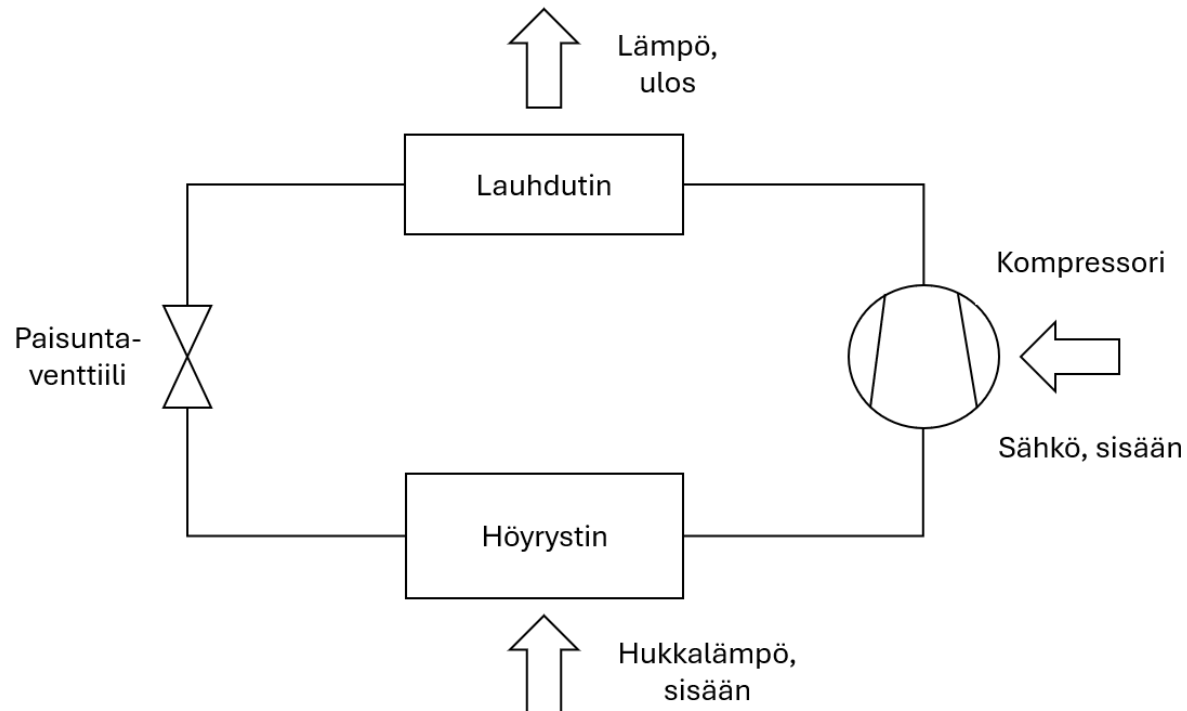


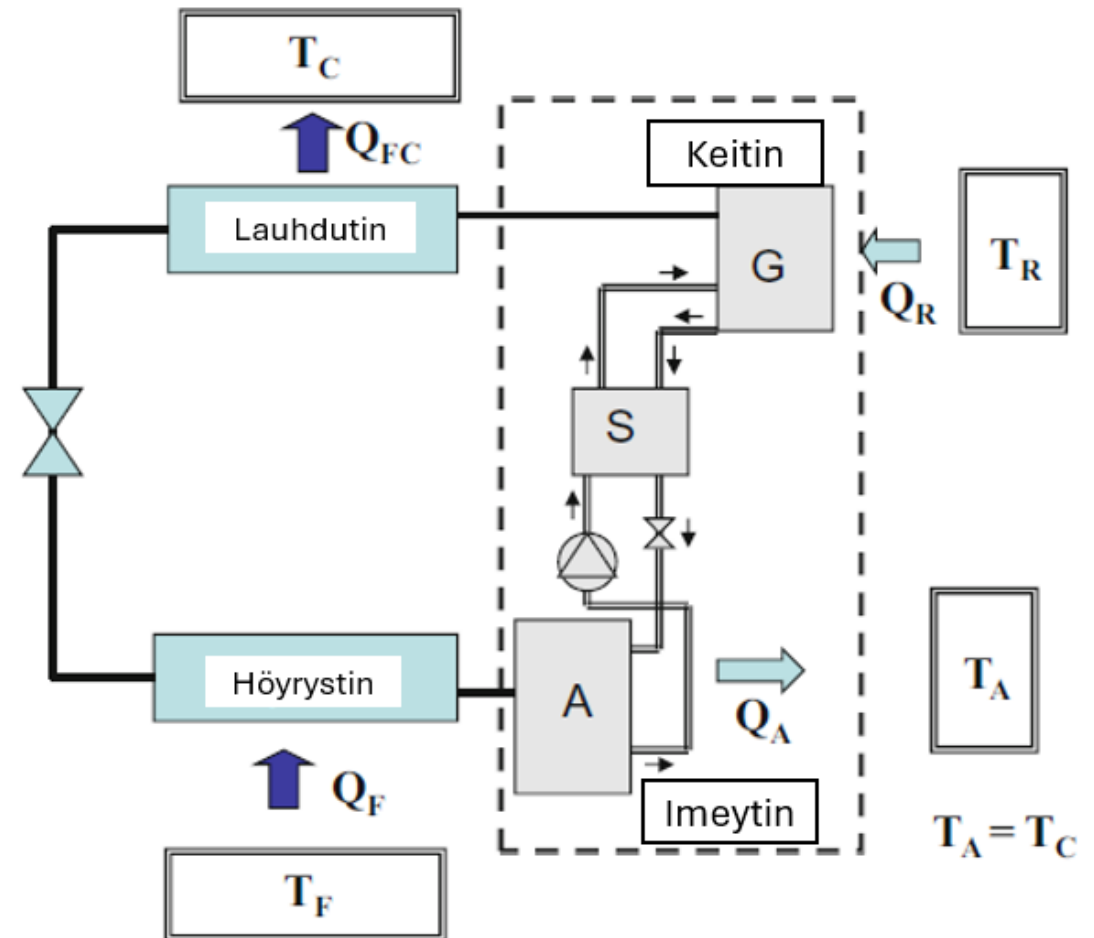
HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Matalan lämpötilan teknologiat ($<100^{\circ}\text{C}$)

Mekaaniset lämpöpumpput

- Mekaanisten lämpöpumppujen avulla korotetaan hukkalämmön lämpötilaa
- Pääkomponentit: Kompressori, paistuntaventtiili, lauhdutin ja höyrystin





Keskilämpötilan teknologiat (100-300°C)

Passiiviset ilman esilämmittimet (PAP)

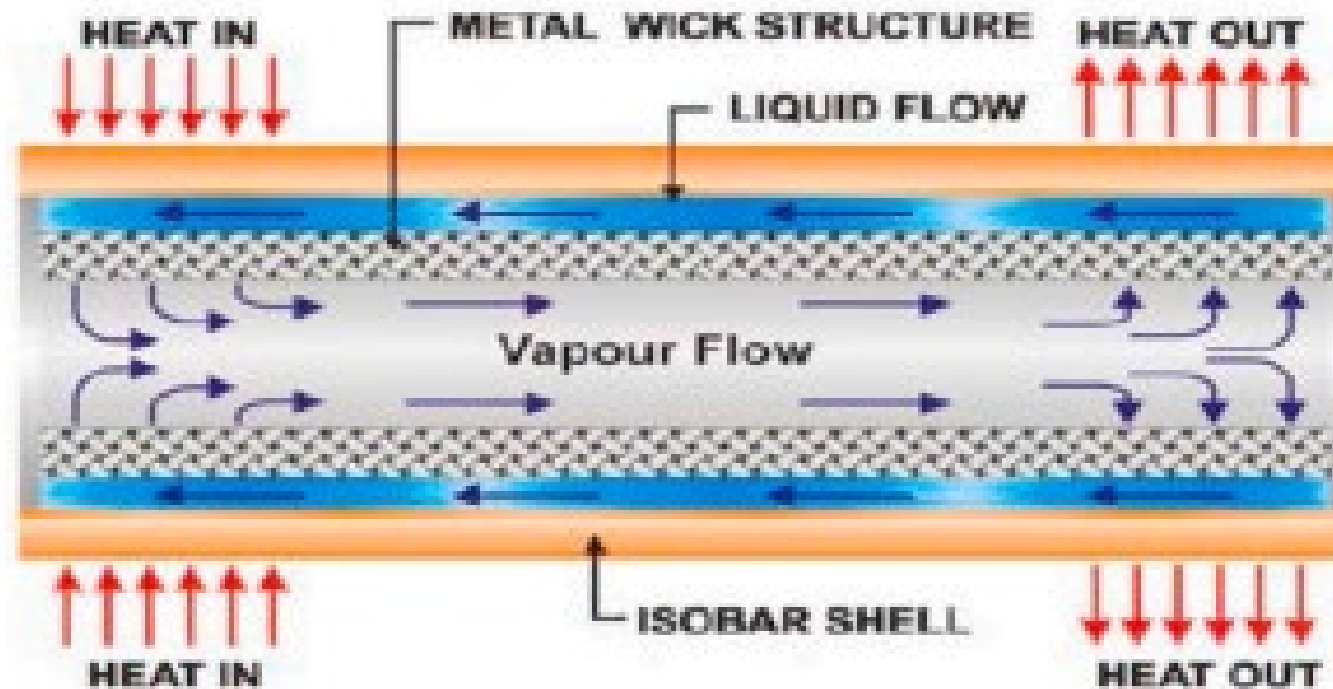
Lämpöputket

- Soveltuu hyvin likaisille lämmönlähteille
- Kiertävä aine yleensä vettä tai ammoniakkia
 - Lämpö johdetaan höyrystymisosaan
 - Höyry liikkuu adiabaattista siirto-osaa pitkin
 - Lauhdutinosaa luovuttaa lämmön lämpönieluun
 - Kiertoaine palaa höyrystimeen wick-rakennetta pitkin
- Ei liikkuvia osia → pitkä elinkaari

Levylämmönsiirtimet

- Kasataan rinnakkain monta lämmönsiirtolevyä → suuri lämmönsiirtopinta-ala
- Joka toisen levyjen välissä virtaa kylmä fluidi ja joka toisen kuuma fluidi → tehokas lämmönsiirto
- Herkkä likaantumiselle → heikentää lämmönsiirtotehoa

Lämpöputken rakenne



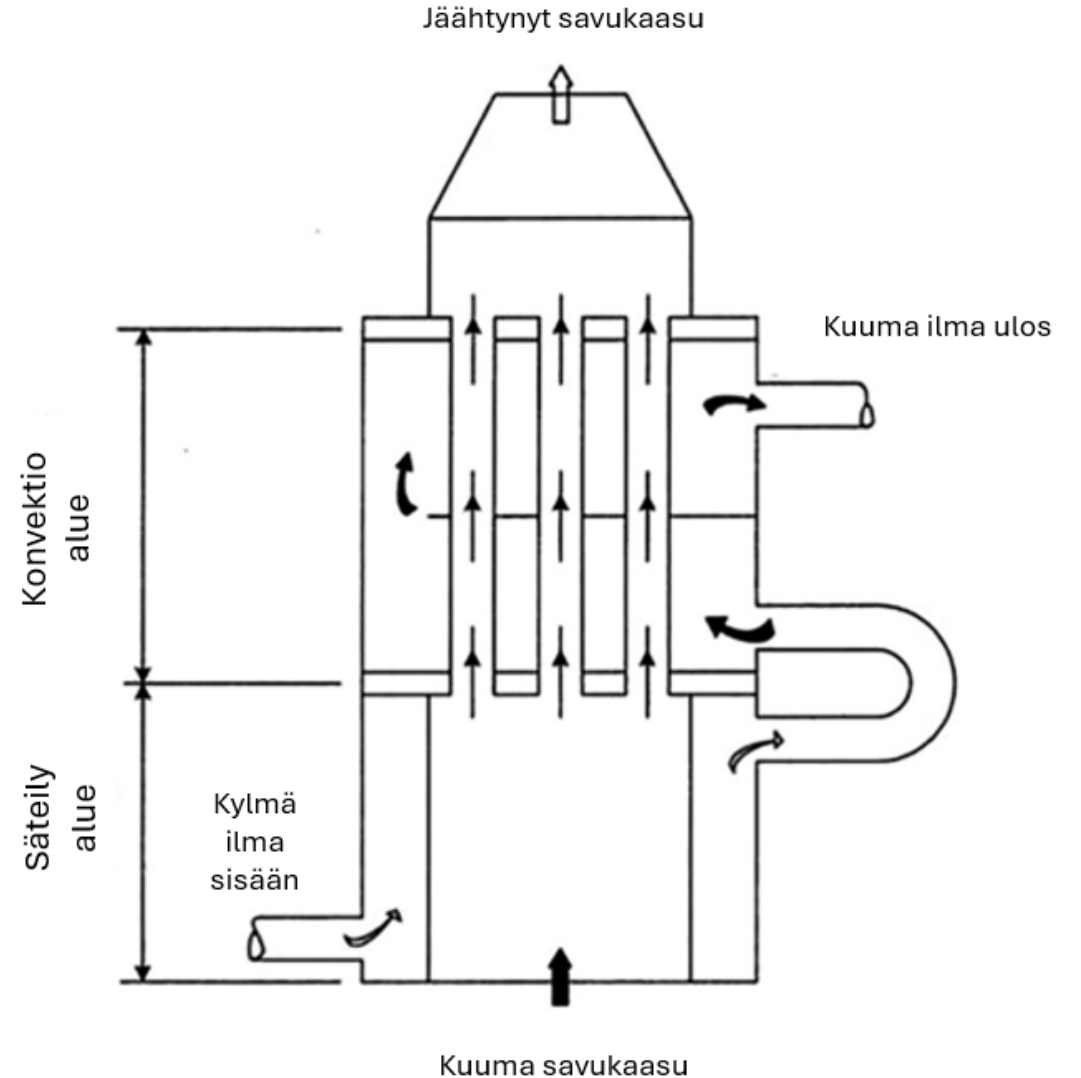
Ekonomaiserit

- Ripaputkilämmönsiirrin
 - Suuri lämmönsiirtopinta-ala
- Lämpö siirretään yleensä nesteeseen
- Yleinen mm. kattilatekniikassa, jossa savukaasujen avulla esilämmitetään syöttövettä

Korkean lämpötilan teknologiat ($>300^{\circ}\text{C}$)

Rekuperattorit

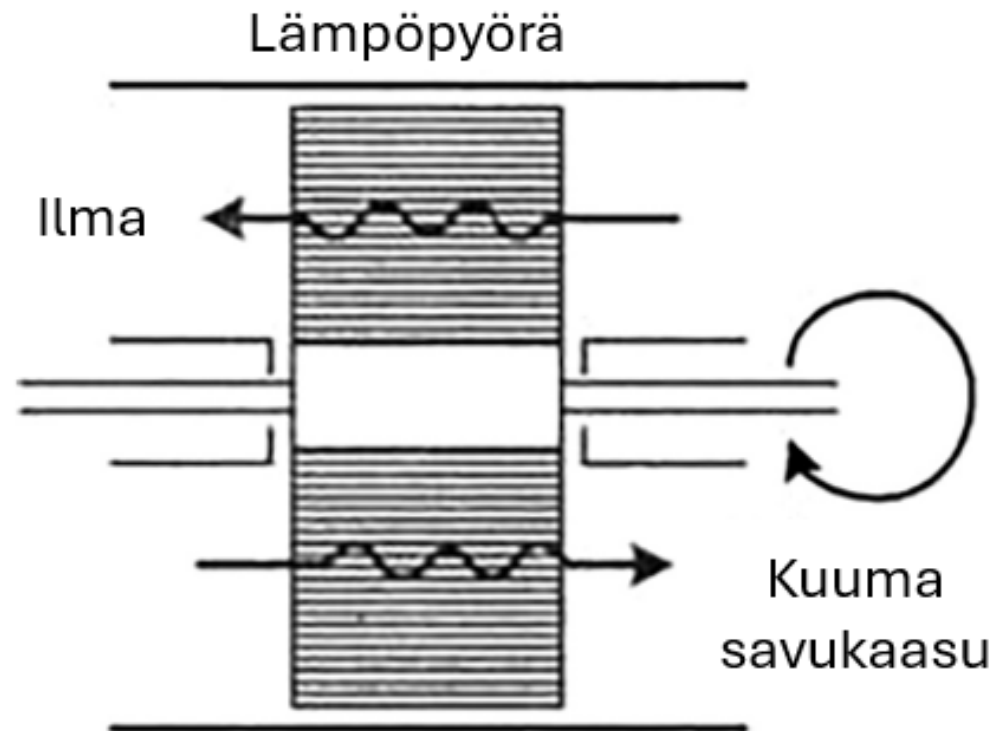
- Metallisia (matala lämpötila) tai keraamisia (korkea lämpötila)
- Hyödynnetään etenkin palamisilman esilämmittämisessä savukaasujen avulla
- Lämmönsiirtotapa säteily, konvektio tai niiden yhdistelmä



Regeneraattorit

- Lämmönsiirto tapahtuu väliaineen avulla
- Hyödynnetään etenkin lasiuuneissa ja teräksen sulatuksessa
- Tekniikassa käytetään kahta vuorotellen toimivaa kammiota, jossa toisen uunin ollessa toiminnassa, se esilämmittää poistuvien savukaasujen avulla toisen uunin kammiassa olevaa väliainetta
 - Väliaineen lämmettyä riittävälle tasolle kammioiden toiminta kääntyy toisinpäin
 - Väliaineen lämpöenergialla esilämmitetään uuniin syötettyä palamisilmaa
- Myös **lämpöpyörät** kuuluvat tähän tekniikkaan
 - Virtauksien sekoittumista ei pysty välttämään
 - Soveltuu paremmin matalille lämpötiloille

Lämpöpyörän toimintaperiaate



Regeneratiiviset ja rekuperatiiviset polttimet

- Toimintaperiaatteiltaan hyvin samankaltainen rekuperaattoreiden ja regenraattoreiden kanssa
- Rekuperatiiviset polttimet:
 - Polttimen sisään rakennettu lämmönsiirrin
 - Savukaasu kulkee polttimen läpi ja esilämmittää palamisilmaa
- Regeneratiiviset polttimet:
 - Polttimet toimivat pareittain vuorotellen
 - Savukaasut johdetaan tauolla olevan polttimen kotelon läpi, jossa se lämmittää väliainetta

Jätelämpökattilat

- Toimintaperiaate samankaltainen perinteisen voimalaitoksen kanssa
- Hyödynnetään kuumia savukaasuja polttoprosessin sijaan
- Soveltuu lämmön-, sähkön- ja höyryntuotantoon
- Yhteyteen voi liittää muita hukkalämpöteknologioita



HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



REGIONAL
UNIVERSITY
NETWORK
EUROPEAN UNIVERSITY



Euroopan unionin
osarahoittama



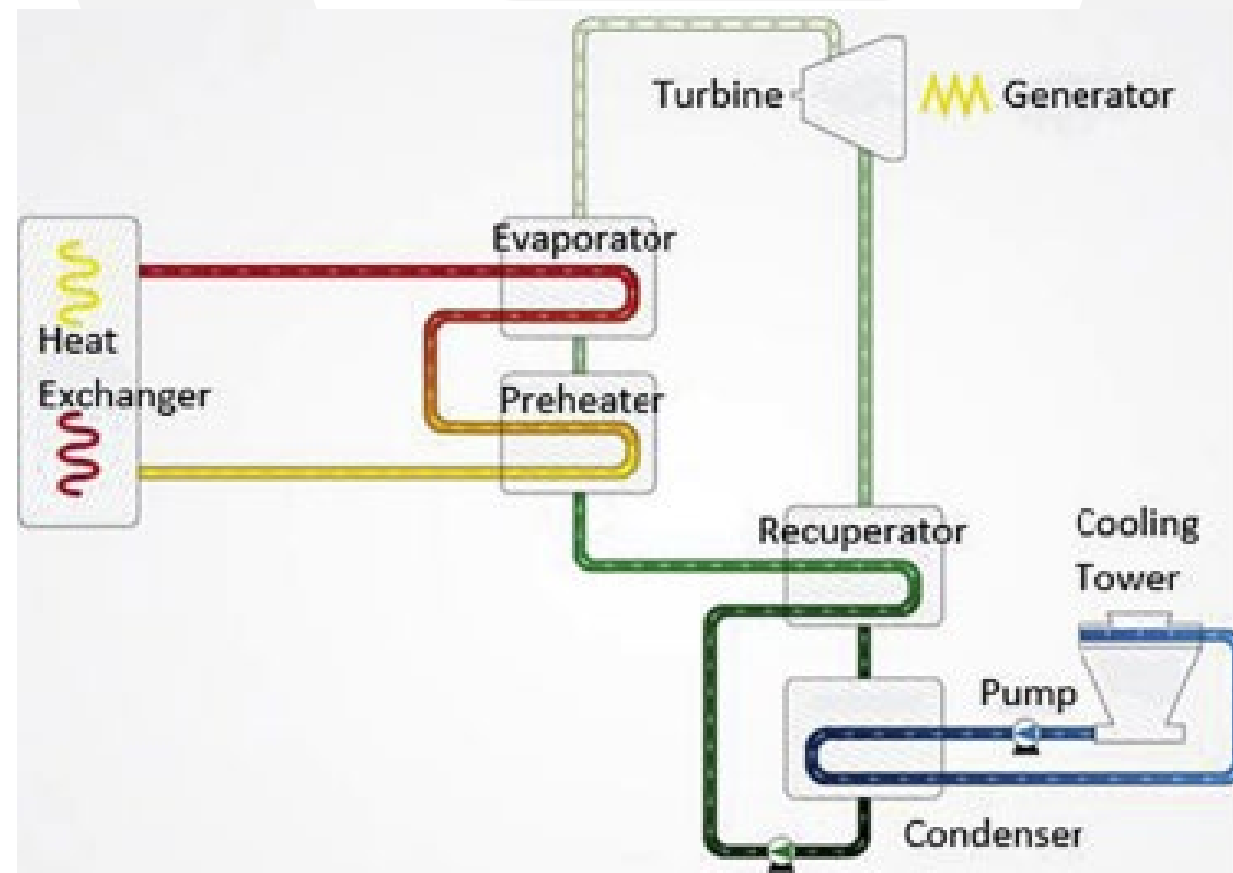
HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Sähkön tuotanto

ORC-prosessi

- Muistuttaa perinteistä voimalaitosprosessia
- Kiertoaineena orgaaninen aine veden ja höyryn sijaan
- Orgaaninen aine tulistuu paisuessaan, joten ei ole tarvetta suurelle tulistukselle
- Soveltuu matalille lämpötiloille ja matalille tehoille.

ORC-prosessikaavio



Kalina-prosessi

- Samankaltainen kuin ORC-prosessi
- Kiertoaineena veden ja ammoniakin sekoitus
- Aineen lämpötila nousee faasimuutoksen aikana
- Kilpailukykyisempi ORC-prosessiin verrattuna, kun lämpötila on yli 200°C

Lämpösähköiset generaattorit (TEG)

- Hyödynnetään kaikilla lämpötilatasoilla
- Perustuu Seebeck-ilmiöön ja lämpötilaeroon kappaleiden välillä
- Lämpötilaero synnyttää sähkövirran sarjaan kytkettyjen P- ja N-tyypin puolijohteiden välille. (Lämpösähköpari)



HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



REGIONAL
UNIVERSITY
NETWORK
EUROPEAN UNIVERSITY

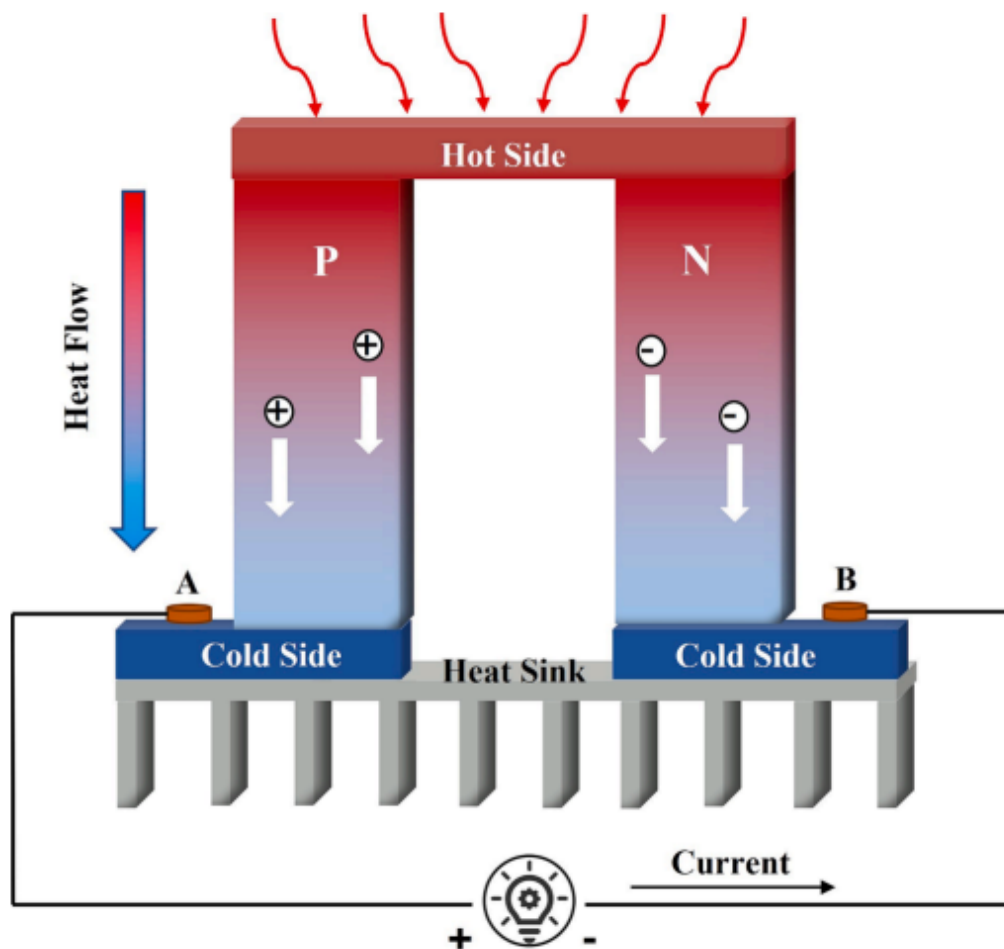


Euroopan unionin
osarahoittama



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Lämpösähköisen generaattin (TEG) toimintaperiaate





HAMK

Hämeen ammatti-
korkeakoulu



REGIONAL
UNIVERSITY
NETWORK
EUROPEAN UNIVERSITY



Euroopan unionin
osarahoittama



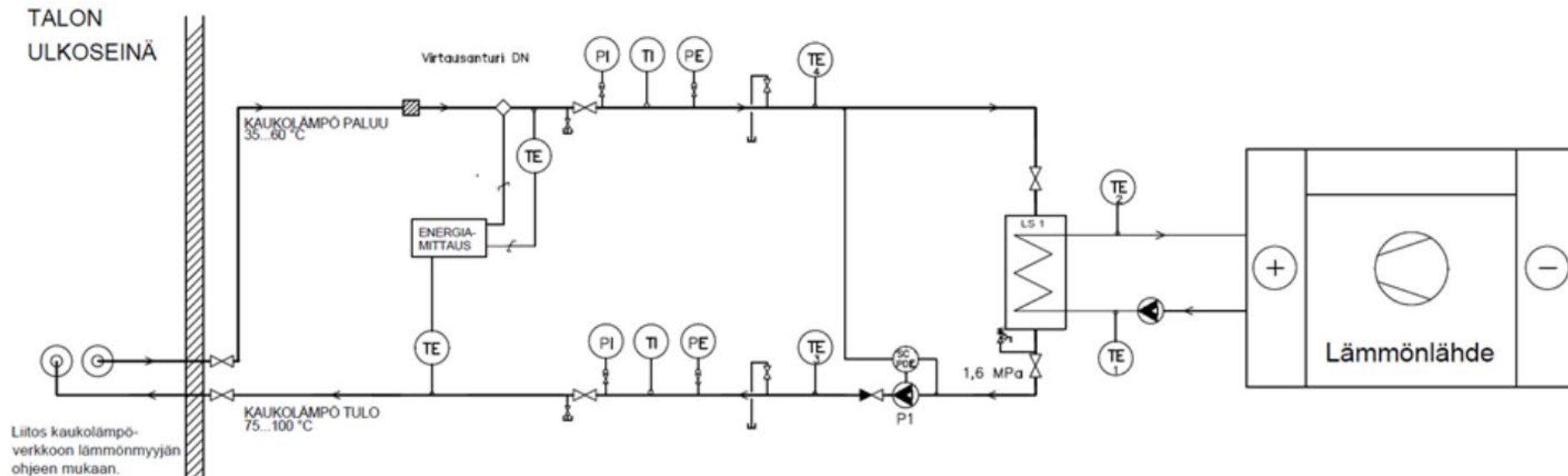
HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme

Muut teknologiat

Kaukolämpöverkkoon liittäminen

- Kutsutaan kaksisuuntaiseksi kaukolämmöksi. Mahdollisuus myydä lämpöä kaukolämpöverkkoon.
- Myynti lähtökohtaisesti menoputkeen, mutta yksittäistapauksissa mahdollisuus myynnistä paluuputkeen.
- Lämmityksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötila alennettiin 115 °C → 90 °C, jotta hukkalämpöä voisi hyödyntää laajemmin. (Laitteiden tekninen käyttöikä 20-25 vuotta)

Kaukolämpöverkkoon liittäminen



Lämmön varastointi

Tuntuvan lämmön varastointi

- Suosituin varastointimenetelmä
- Lämpö sidotaan nesteeseen tai kiinteään aineeseen muuttamalla sen lämpötilaa
- Tyypillisesti varastointiaineena käytetään vettä tai maaperää

Latenttilämpövarastointi

- Lämmön varastointi perustuu aineen faasimuutokseen
- Varastointiaineena käytetään jäätä, suolavesiliuoksia, hydraattisuoloja ja rasvahappoja
- Suuri energiatiheys
- Heikko lämmönjohtavuus → matala teho

Lämmön varastointi

Termokemiallinen varastointi

- Suuri energiatiheys
- Palautuvan aineen reaktio:
 - Energia sidotaan endotermisellä reaktiolla
 - Energia vapautetaan eksotermisellä reaktiolla
- Sorptio-prosessi:
 - Absorptio ja adsorptio

Kausivarastointi

- Suuria tuntuvan lämmön varastoja
- Varastoidaan lämpöä kesältä talvelle
- ATES (Aquifer thermal energy storage)
 - Varastointi pohjaveteen (Arlandan lentokenttä)
- BTES (Borehole thermal energy storage)
 - Varastointi porakaivoihin kallioperässä
- CTES (Rock Cavern thermal energy storage)
 - Varastointi vedellä täytettyihin vanhoihin luoliin ja kaivoksiin
- PTES (Pit thermal energy storage)
 - Varastointi vedellä täytettyihin altaisiin ja kaivantoihin
- TTES (Tank Thermal energy storage)
 - Varastointi maanalaisiin vahvitettuihin vesisäiliöihin

Suunnitellut kausivarastot

Hyvinkään lämpövoima

- Rakennetaan vanhaan soraomonttuun
- Vesiallas, jonka päällä kelluva kansi
- 380 000 m³
- Kapasiteetti 20 GWh, lataus- ja purkuteho 60 MW
- Tyhjänä lämpötila 40°C ja täytenä 90 °C
- Valmistuu 2026

Vantaan Energia, Varanto

- Louhitaan peruskallioon
- Yhteensä kolme isoa tunnelia täytetään vedellä
- 1 100 000 m³
- Kapasiteetti 90 GWh
- Lämpötila täytenä 140°C
 - Pohjaveden paine estää höyrystymisen
- Valmistuu 2028

Lähteet

- Bilstein Group. (2021). *The Sustainability Report for Bilstein Group companies*. <https://www.bilstein-gruppe.de/en/downloads-2/>
- Energiategollisuus ry. (2021). *Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021*. https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaistu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf
- Grassi, W. (2018). *Heat Pumps*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62199-9>
- He, J., Li, K., Jia, L., Zhu, Y., Zhang, H., & Linghu, J. (2024). Advances in the applications of thermoelectric generators. *Applied Thermal Engineering*, 236, 121813. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121813>
- Hyvinkään Lämpövoima Oy. (ei pvm.-a). Hyvinkään Lämpövoimalle 7,7 milj. Euron investointituki lämmön kausivarastohankkeeseen. *Hyvinkään Lämpövoima*. Noudettu 3. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://hlv.fi/ajankohtaista/hyvinkaan-lampovoimalle-77-milj-euron-investointituki-lammon-kausivarastohankkeeseen/>
- Hyvinkään Lämpövoima Oy. (ei pvm.-b). Kulomaen lämpövarastolle vesilupapäätös. *Hyvinkään Lämpövoima*. Noudettu 3. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://hlv.fi/ajankohtaista/kulomaen-lampovarastolle-vesilupapaatos/>
- Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 268–289. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017>
- Kolkka, E.-H. (2021). *Lämpöenergian varastointimenetelmien nykytilanne ja tulevaisuuden näkymiä* [Turun Ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021080916939>
- Ononogbo, C., Nwosu, E. C., Nwakuba, N. R., Nwaji, G. N., Nwufo, O. C., Chukwuezie, O. C., Chukwu, M. M., & Anyanwu, E. E. (2023). Opportunities of waste heat recovery from various sources: Review of technologies and implementation. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13590>
- Sirola, V.-P., & Tiitinen, M. (2018). *Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä*. <https://energia.fi/julkaisut/hukkalampojen-hyodyntaminen-kaukolampojarjestelmassa-tekniset-ohjeet/>
- Vantaan Energia. (2024). *Varanto eli lämmön kausivarasto*. <https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/hankkeet/varanto/>
- Wieland, C., Schiffelechner, C., Dawo, F., & Astolfi, M. (2023). The organic Rankine cycle power systems market: Recent developments and future perspectives. *Applied Thermal Engineering*, 224, 119980. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.119980>

Kiitos!

Hämeen ammattikorkeakoulu
www.hamk.fi