5.11.2025 DATAKESKUSTEN HUKKALÄMPÖ-WEBINAARI

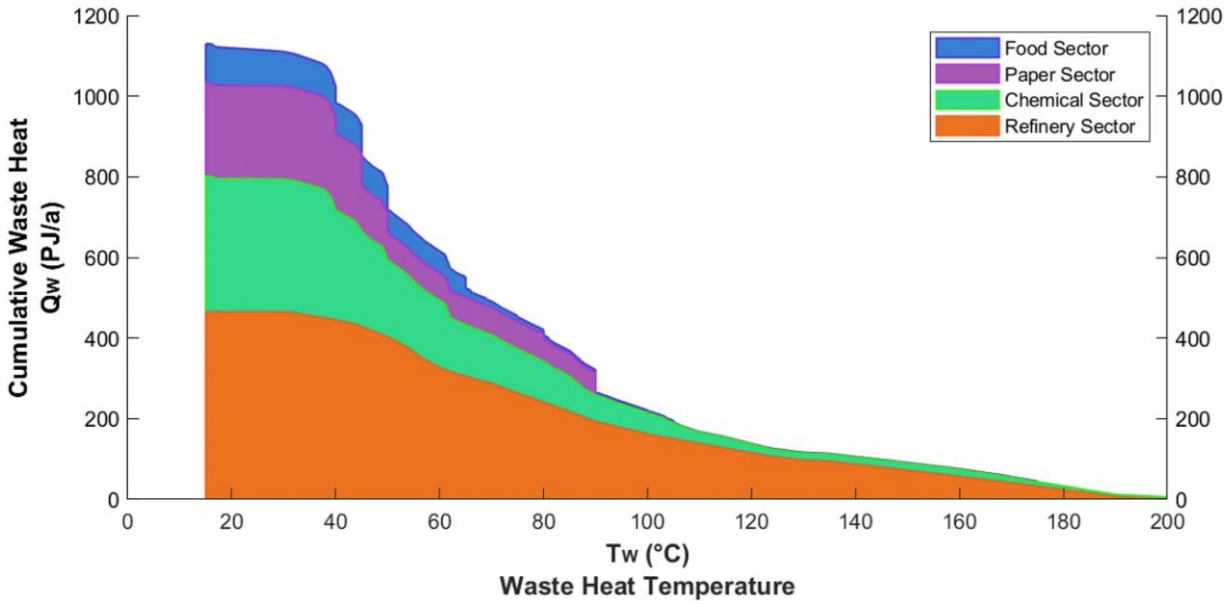
ORC-TEKNOLOGIAN KÄYTTÖ HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISESSÄ

ANTTI UUSITALO
ANTTI.UUSITALO@LUT.FI

ASSOCIATE PROFESSOR
LABORATORY OF FLUID DYNAMICS

JOHDANTO

- Hukkalämpövirtojen hyödyntämiselle on olemassa useita tapoja ja teknisiä vaihtoehtoja:
  - Suora hyödyntäminen lämmitystarkoituksiin
  - Lämpötilan korottaminen lämpöpumpuilla
  - Hukkalämmön muuntaminen sähköksi
  - Hukkalämmön hyödyntäminen jäähdytyksessä (absorptiojäähdytys)
- Hyödyntämisen haasteena on usein hukkalämmön matala lämpötilataso ja sopivan lämmönkäyttäjän etäisyys syntyvään hukkalämpöön.



Marina, A., Spoelstra, S., Zondag, H. A., & Wemmers, A. K. (2021). An estimation of the European industrial heat pump market potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *139*, 110545.

JOHDANTO

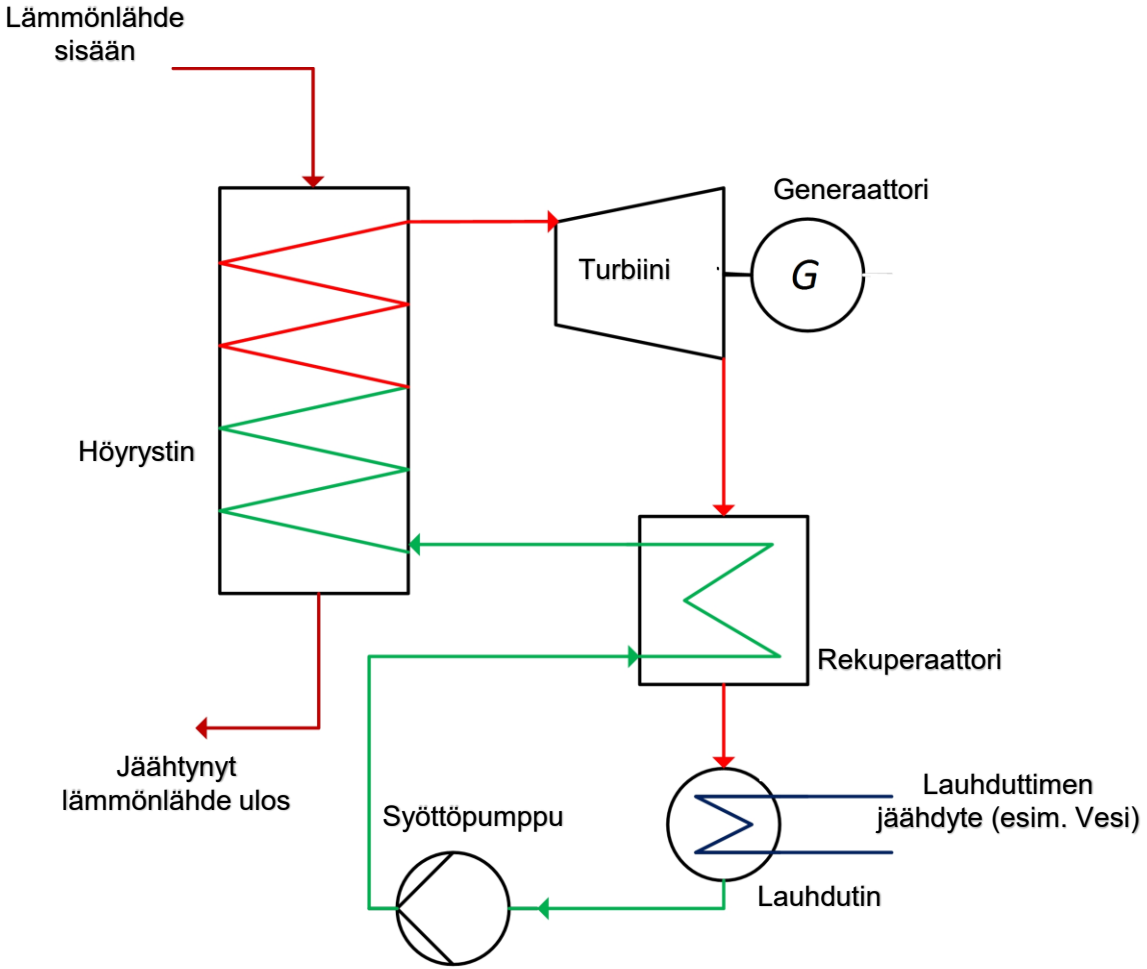
- Erilaisia teknologioita on kehitetty ja kehitetään hukkalämpövirtojen muuntamiseksi sähköksi.

- ORC-teknologia on kaupallisesti laajimmin käytettyä ja vakiintuneinta teknologiaa matalalämpöisten hukkalämpöjen hyödyntämisessä (muita tekniikoita mm. TEG ja Kalina-prosessit).

- ORC-prosessi toimii samalla periaatteella kuin vesihöyryvoimalat, mutta siinä käytetään veden sijasta jotain orgaanista työainetta. Prosessissa ja käytetyssä tekniikassa on myös paljon yhteistä lämpöpumppujen kanssa (kuin käänteinen lämpöpumppu).

- Laitteiston hyötysuhde riippuu hukkalämmön lämpötilasta, mutta myös käytettävän jäähdytteen lämpötilasta. Suuri lämpötilaero johtaa parempaan hyötysuhteeseen. Käyttämällä sopivaa työainetta hyvin matalalämpöistenkin lämpövirtojen (alle 100 ^{o}C) muuntaminen sähköksi on mahdollista.

ORC-VOIMALAN TOIMINTAPERIAATE JA PÄÄKOMPONENTIT



- Prosessissa työainetta kierrätetään suljetussa systeemissä (vihreä=nestettä, punainen=höyryä)
- Höyrystimessä lämmöllä höyrystetään prosessin työaine.
- Höyry paisuu turbiinissa matalaan paineeseen.
- Sisäisessä lämmönsiirtimessä (rekuperaattori) siirretään lämpöä höyryn ja nestemäisen kylmäaineen välillä.
- Lauhduttimessa matalapaineinen höyry lauhtuu takaisin nesteeksi.
- Nesteen painetta nostetaan syöttöpumpulla.

ORC-TEKNOLOGIAN KÄYTTÖKOHTEET

- Hukkalämmön talteenotto
- Biomassavoimalat (erityisesti 0.5 – 5 MW CHP laitokset)
- Geotermiset voimalat (usein suuria MW laitoksia)

- Kaupallisissa ORC-voimaloissa paljon erilaisia teknisiä ratkaisuja ja työaineita (tyypillinen teho muutamista kW useisiin MW)

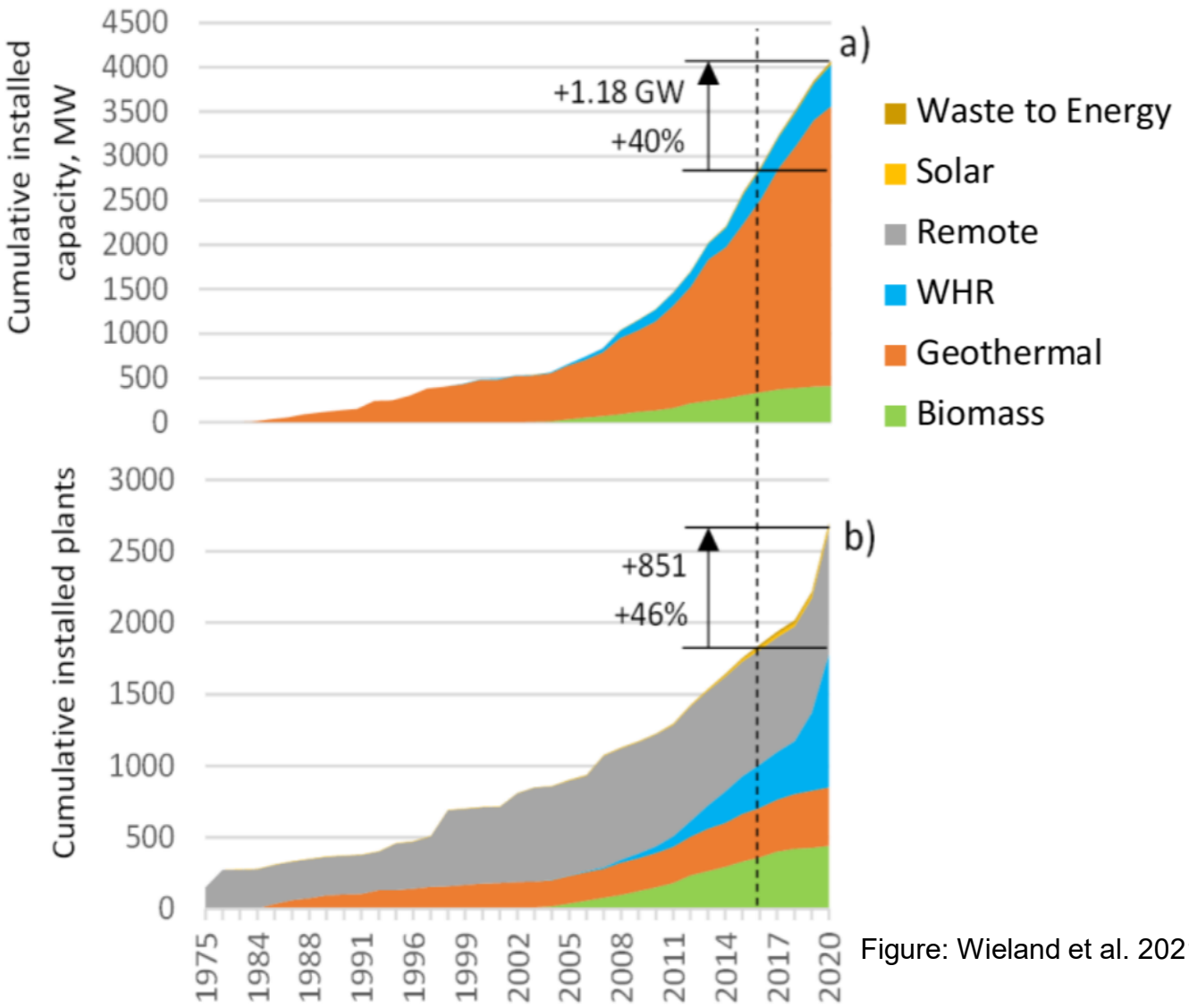
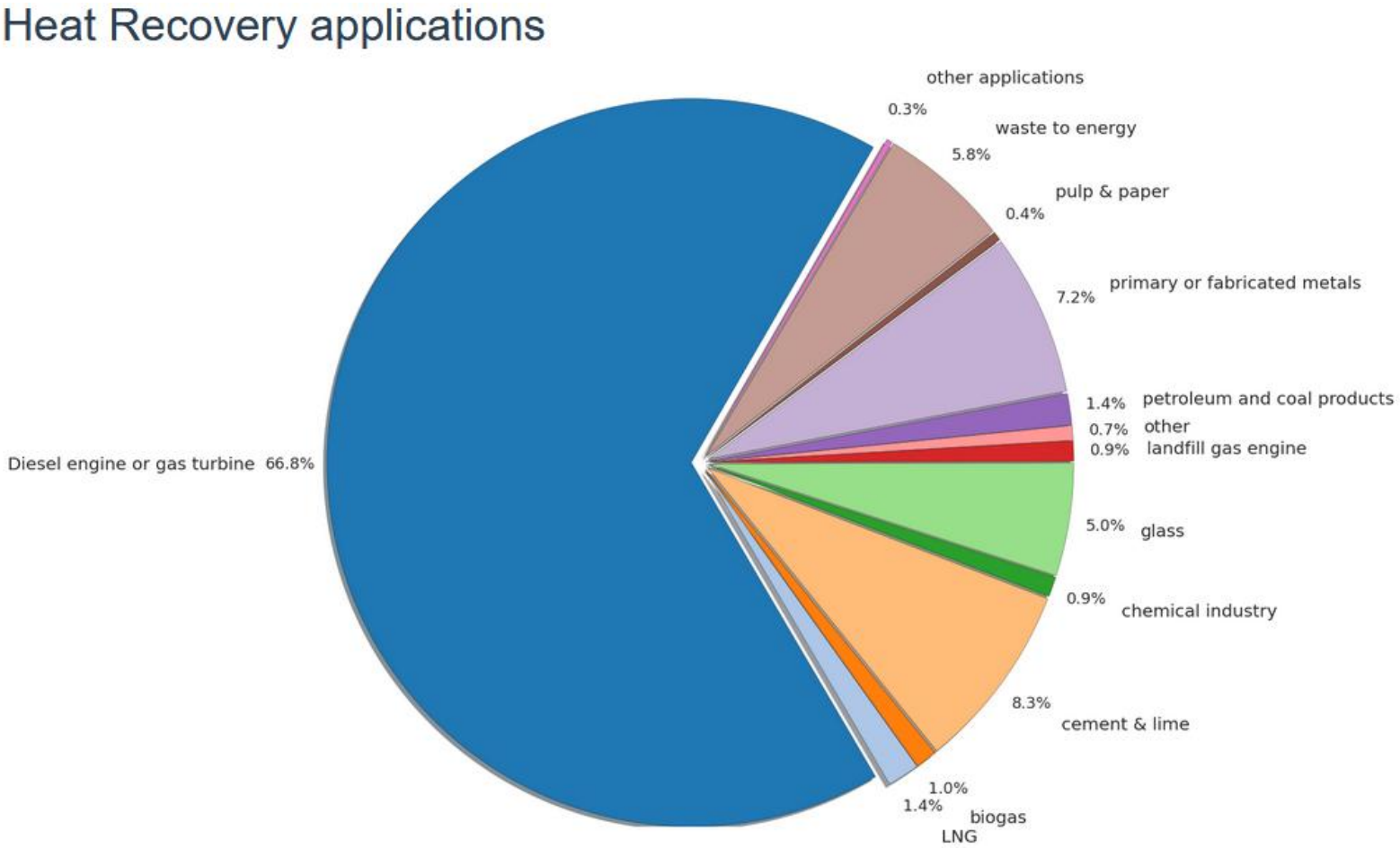


Figure: Wieland et al. 2021

ORC-PROSESSIEN KÄYTTÖ HUKKÄLÄMPÖSOVELLUKSISSA



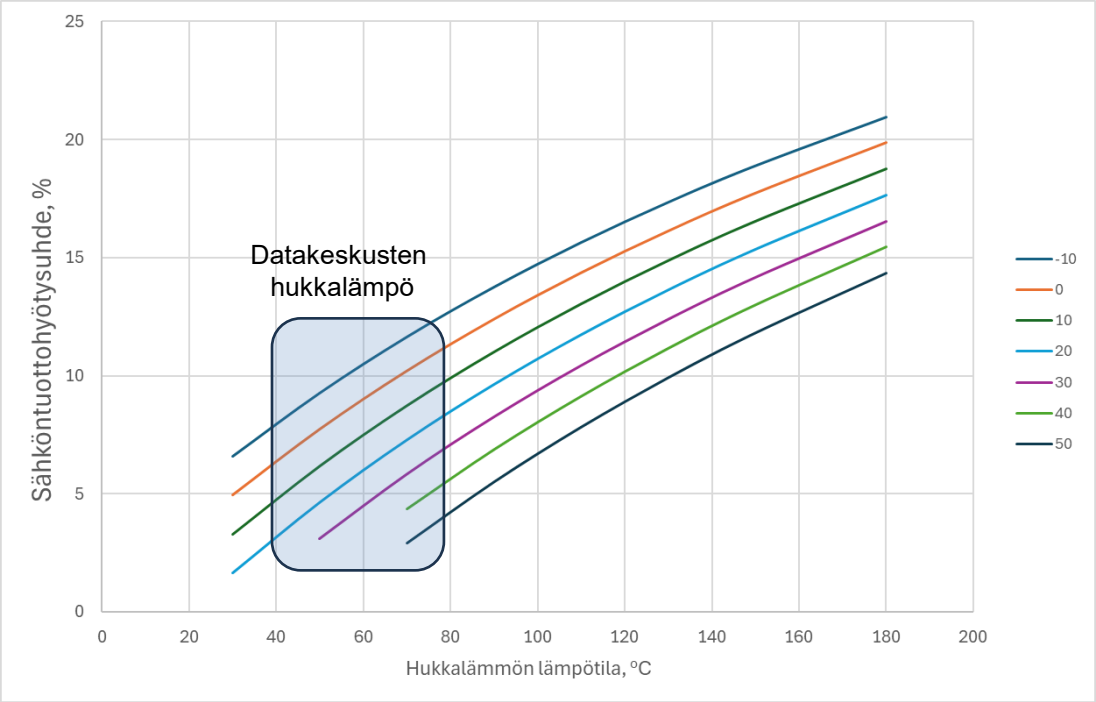
https://orc-world-map.org/

ORC-VOIMALOIDEN TYÖAINEET

- Kolmea päätyyppiä:
  - 1) Hiilivedyt: esim. pentaani, butaani, syklopentaani, tolueeni
  - 2) Fluoratut kylmäaineet: HFC, HFO ym. (pääasiassa samoja aineita kuin lämpöpumpuissa)
  - 3) Siloksaanit eli piiöljyt: MM, MDM.. (korkean lämpötilan sovellukset kuten kuuman hukkalämmön hyödyntäminen ja biomassavoimalat)
- Termodynaamisten ominaisuuksien ja tehokkuuden lisäksi ympäristöystävällisyys ja käyttöturvallisuus vaikuttavat sopivan aineen valintaan.

ORC-VOIMALOIDEN KANNATTAVUUS/KÄYTÖN HAASTEET

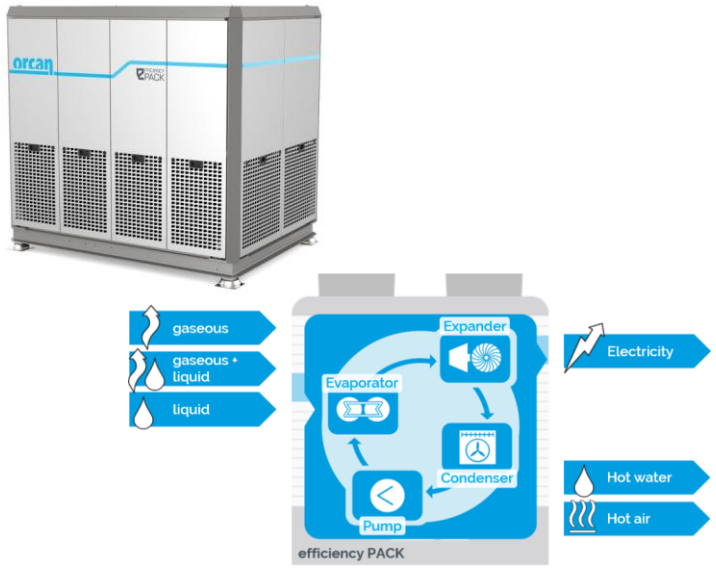
- Kiinnostava vaihtoehto erityisesti silloin kun hukkalämpöä ei voida hyödyntää lämpönä.
- Kannattava investointi edellyttää riittävän korkeaa sähkön hintaa ja laitteiston vuotuista käyttöaikaa. Ominaisinvestointihinta n. 1000-3000 €/kW_e.
- Sähköntuottohyötysuhde jää matalaksi varsinkin silloin kun hyödynnetään matalalämpöistä hukkalämpöä. Laitteistoja käytössä kuitenkin esim. geotermisen energian hyödyntämisessä ja polttomoottoreiden matalalämpöisen hukkalämmön hyödyntämisessä (alle 100 °C lämpötiloja)
- Hyötysuhde riippuu voimakkaasti lämmönlähteen lämpötilan lisäksi jäähdytteen lämpötilasta. Todellisella prosessilla saadaan n. puolet teoreettisesta hyötysuhteesta.
- Laitteisto vaatii suurikokoisen lämmönvaihtimen silloin kun hyödynnetään kaasumaisia lämmönlähteitä verrattuna nestemäiseen lämmönlähteeseen.



ORC VALMISTAJIA

- Useita valmistajia eri sovelluksiin ja teholuokkiin:
  - Turboden
  - Exergy
  - Ormat
  - Atlas Copco
  - Orcan Energy
  - Enogia
  - Rank
  - Dürr Systems AG
  - Climeon
  - Tri-O-Gen

- Radiaaliturbiini
- Sähköteho n. 150 kW
- Soveltuu laivoihin, teollisen hukkalämmön ja geotermisen lämmön hyödyntämiseen
- Käytössä mm. joillakin Viking Linen risteilyaluksilla https://climeon.com/



- Ruuviturbiini
- Sopii matalille lämpötiloille
- Sopiva lämpöteho 1.0 -2.1 MW
- R245fa työaineena https://www.orcan-energy.com/en/

HUKKALÄMMÖN SÄHKÖKSIMUUNTO TEG-ELEMENTEILLÄ

- Perustuu puolijohteiden käyttöön ja Seebeck-ilmiöön. Elementin toista puolta lämmitetään hukkalämmöllä ja toista jäähdytetään jäähdytteellä.
- Laitteistot ovat yksinkertaisia ja pitkäikäisiä, ei kuluvia osia. Käytetään mm. avaruusteknologiassa ja muissa pienen teholuokan sovelluksissa.
- Haasteena matala hyötysuhde verrattuna kiertoprosesseihin sekä tehokkaiden materiaalien saatavuus ja hinta.

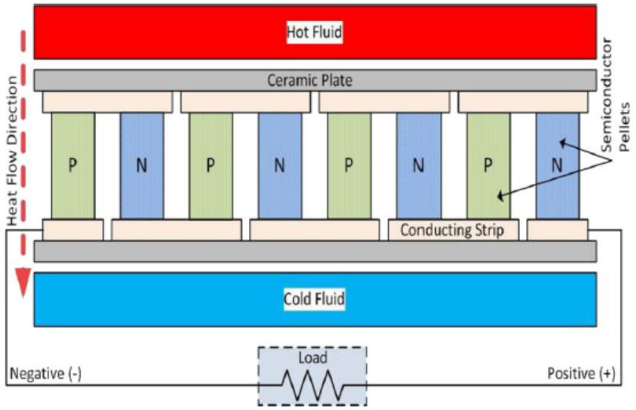


Fig. 13. A simple thermo-electric generator (TEG) module.

Singh, D. V., & Pedersen, E. (2016). A review of waste heat recovery technologies for maritime applications. Energy Conversion and Management, 111, 315-328.

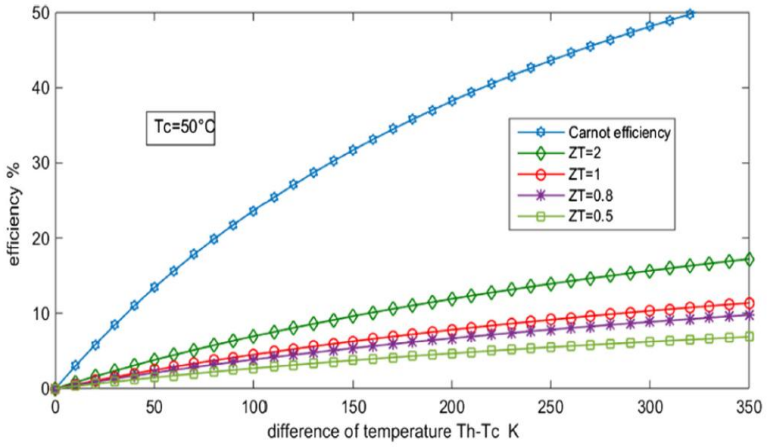


Fig. 1. Typical values of TE efficiency for different values of ZT.

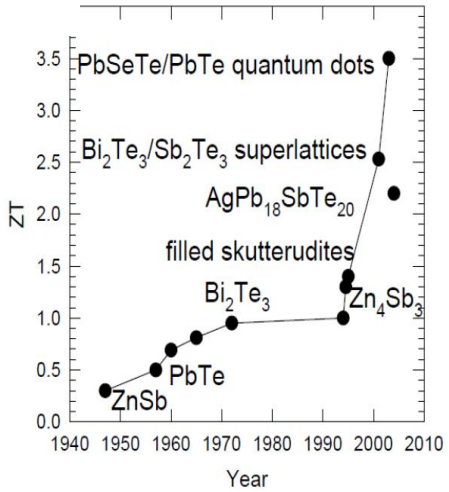
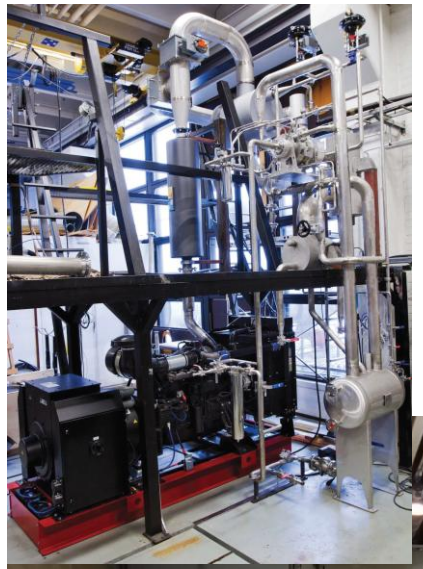


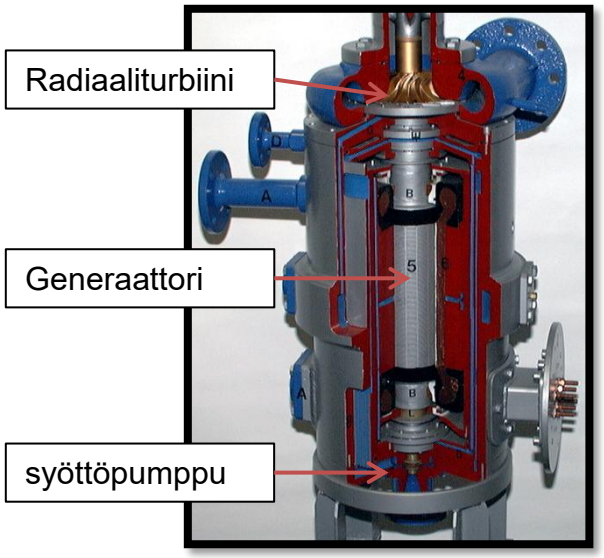
Figure 2: Timeline of the highest thermoelectric figure of merit, *ZT*.

Source: Champier D.2017, Thermoelectric generators: A review of applications, Energy conversion and management 2017

ORC TUTKIMUS LUT-YLIOPISTOSSA

- Pitkä historia ORC-prosessien tutkimisesta, esimmäiset protyyppivoimalat rakennettu 1980-luvulla.
- Hollantilainen Tri-O-Gen kaupallisti 2000-luvun alussa LUT:n kehittämän 160 kW ORC-voimalan.
- Nykyisin käytössä 10 kW ORC-tutkimuslaitteisto kuumien pakokaasujen hyödyntämiseen.
- Pääasialliset tutkimusaiheet prosessien termodynamiikka, työaineet ja turbiinitekniikka.





Kiitos!

Antti Uusitalo
Associate Professor
LUT School of Energy Systems
Laboratory of Fluid Dynamics
antti.uusitalo@lut.fi