

Suuren mittakaavan lämpöpumput

Useiden lämmönlähteiden integrointi & kaukolämpöjärjestelmien
joustavoittaminen

Lisää etunimi, sukunimi, ammattinimike, organisaation, tapahtuman nimi jne.



LowTEMP2.0



LowTEMP

LowTEMP training package - OVERVIEW

Johdanto

Johdanto Ilmastonsuojelupolitiikka ja sen tavoitteet

Johdanto Energianjakelujärjestelmät ja matalan lämpötilan kaukolämpö

Energianjakelujärjestelmät Itämeren alueella

Energiastrategiat ja pilottiprojektit

Energiastrategioiden kehittämisen metodologia

Pilottienergiastrategiat – Tavoitteet ja edellytykset

Pilottienergiastrategiat – Esimerkkejä

Pilottitestaustoimet

CO₂-päästölaskenta

Elinkaarialyysilaskenta

Taloudelliset näkökohdat

LTDH-hankkeiden elinkaarikustannukset

Taloudellinen tehokkuus ja rahoitusvajheet

Urakointi- ja maksumallit

Liiketoimintamallit ja uudet rahoitusrakenteet

Tekniset näkökohdat

Putkistojärjestelmät

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP)

Suuren mittakaavan aurinkoenergiajärjestelmät

Hukka- ja ylijäämälämpö

Suuren mittakaavan lämpöpumput

Power-2-Heat and Power-2-X -tekniikat

Lämpö- aurinkoenergia- ja vaihemuutosmateriaalivarastot

Lämpöpumppujärjestelmät

Matala lämpötila ja lattialämmitys

Käyttöveden tuotanto

Ilmastointijärjestelmät

Hyvä käytäntö

Hyvä käytäntö I

Hyvä käytäntö II

- **Yleistietoa**
- lämpöpumpun mitat
- terminologiaa
- jaottelu lämpötilan mukaan
- lämpöpumppumalleja
- **Mahdolliset lämmönlähteet** (ilma, vesi, pohja- ja jätevesi, maalämpö, teollisuusjätteet ja ylijäämälämpö)
- **Yhteenvedo eri lämmönlähteistä ja niiden käytöstä**
- **Hyötysuhdekerroin**

- **Lämpöpumppujen integrointi kaukolämpöjärjestelmiin**
 - Syöttö jakeluputkeen
 - Paluuvirran lämpötilan nousu
- **Kylmäaineet - Tutkimus & ympäristöasiat**
- **Taloudellinen kannattavuus**
- **Suuren mittakaavan lämpöpumppujen yleiset hyödyt kaukolämpöjärjestelmissä**

- Eroa lämpöpumppujen ja suurten lämpöpumppujen välillä ei ole vielä määritelty selvästi
- Suuria lämpöpumppuja voisi kuvata näin...
 - Ne ovat lämpöpumppuja, jotka tuottavat energiaa ja saavuttavat lämpötilan, jolla voidaan syöttää lämpöverkkoa
 - Niiden teho ja lämpötila riippuu myös lämmitysverkon koosta / lämmöntarpeesta
 - Terminologisesti näiden kahden termin välillä ei tehdä eroa

Yleistieota– jaottelu lämpötilan mukaan

Yleisesti ottaen lämpöpumput voidaan jaotella tai niitä voidaan pikemminkin kuvailla nimillä

- Korkean lämpötilan lämpöpumput
- Matalan lämpötilan lämpöpumput

Molempia tyyppjä käytetään asunnoissa ja kaukolämpöalalla

- **Selvä määrittely tai erottelu ei kuitenkaan ole mahdollista!**
 - **Kaukolämpöalalla** käytetään yleensä korkean lämpötilan lämpöpumppuja
 - Matalan lämpötilan lämpöpumppuja taas **omakotitaloissa ja kerrostaloissa**

Yleistietoa – lämpöpumppumalleja

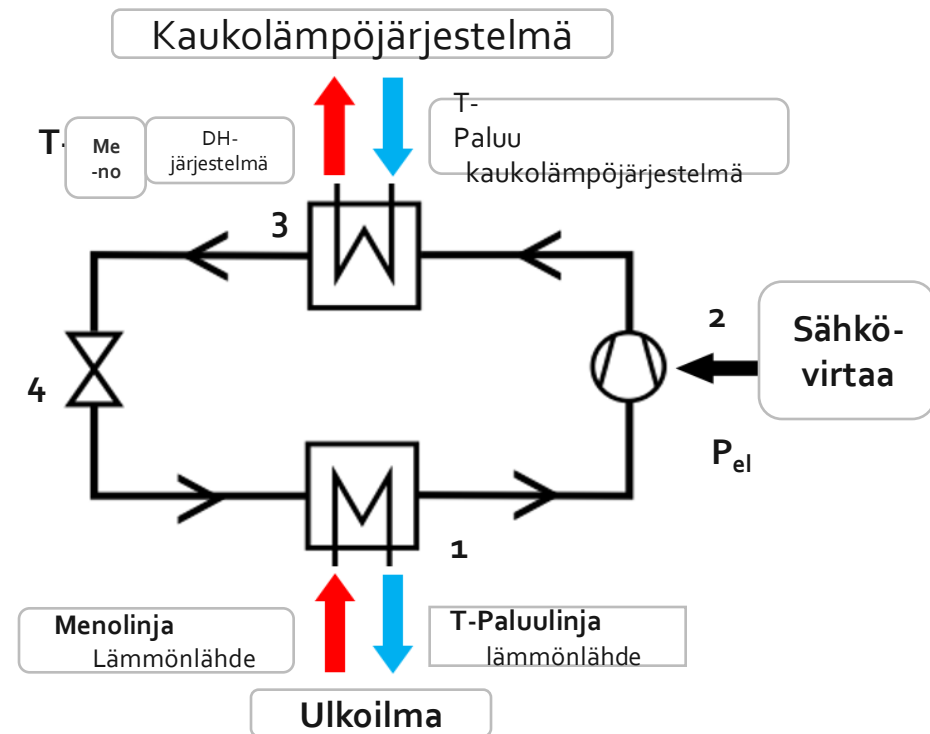
- Lämpöpumpuissa käytetään erilaisia luonnollisia lämmönlähteitä
- Lämpöpumput käyttävät lämmönlähteitä matalassa lämpötilassa → lämpötilatason nosto

Tavallisimpia toteutuksia erottelevat tekijät

- Käyttöenergia (mistä energiaa otetaan talteen)
- Käyttövoima (sähkö, kaasu / höyry, polttomoottori)
- Lämpöpuristus / mekaaninen puristus
- Avoin tai suljettu lämpöpumpun piiri

(Sähköinen) kompressiolämpöpumppu

- 1) höyrystyvä kiertoaine
- 2) paineen & lämmön nosto puristuksen kautta
- 3) lauhduttava kiertoaine & energiansiirto
- 4) paineen alennus

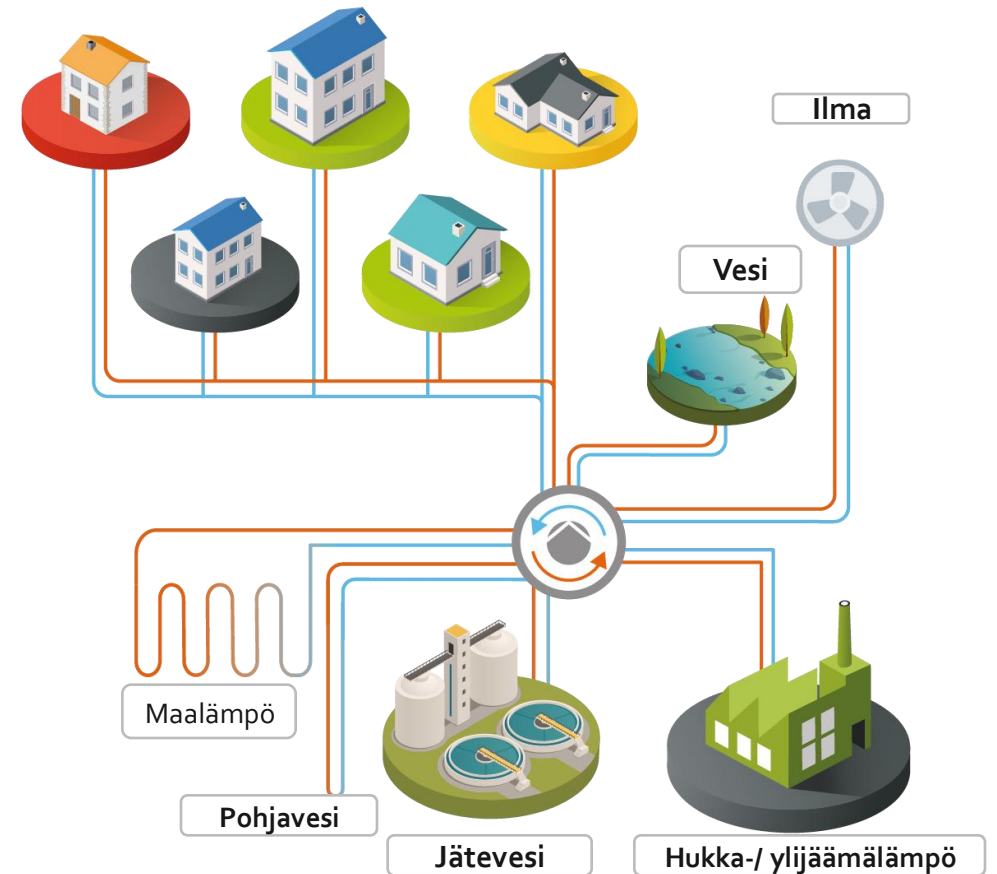


Kompressiolämpöpumppujen toimintaperiaate (perustuu AGFW, 2017)

Mahdollisia lämmönlähteitä

- Lämpöpumput tarvitsevat **olemassa olevan lämmönlähteen**
 - Tärkeimmät huomioon otettavat seikat ovat lämmönlähteen **korkea saatavuus** paikan päällä ja **teknisten hyödyntämismahdollisuuksien** valikoima
 - lämmönlähteen korkea lämpötila
 - jatkuva saatavuus
- Lämpöpumppu on sitä tehokkaampi, mitä pienempi ΔT lämmönlähteen ja lämpönielun välillä on

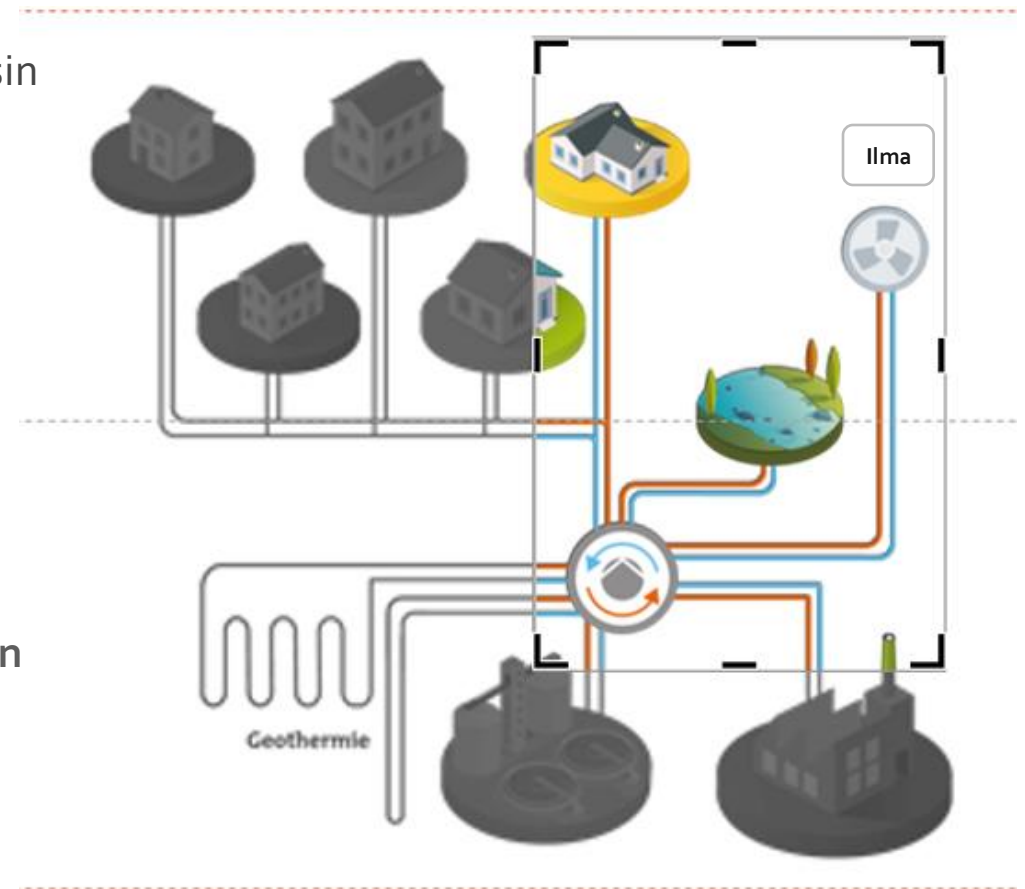
Yleisesti ottaen saatavilla on laaja valikoima CO₂-neutraaleja lämmönlähteitä!



Lähde: AGFW-Project GmbH

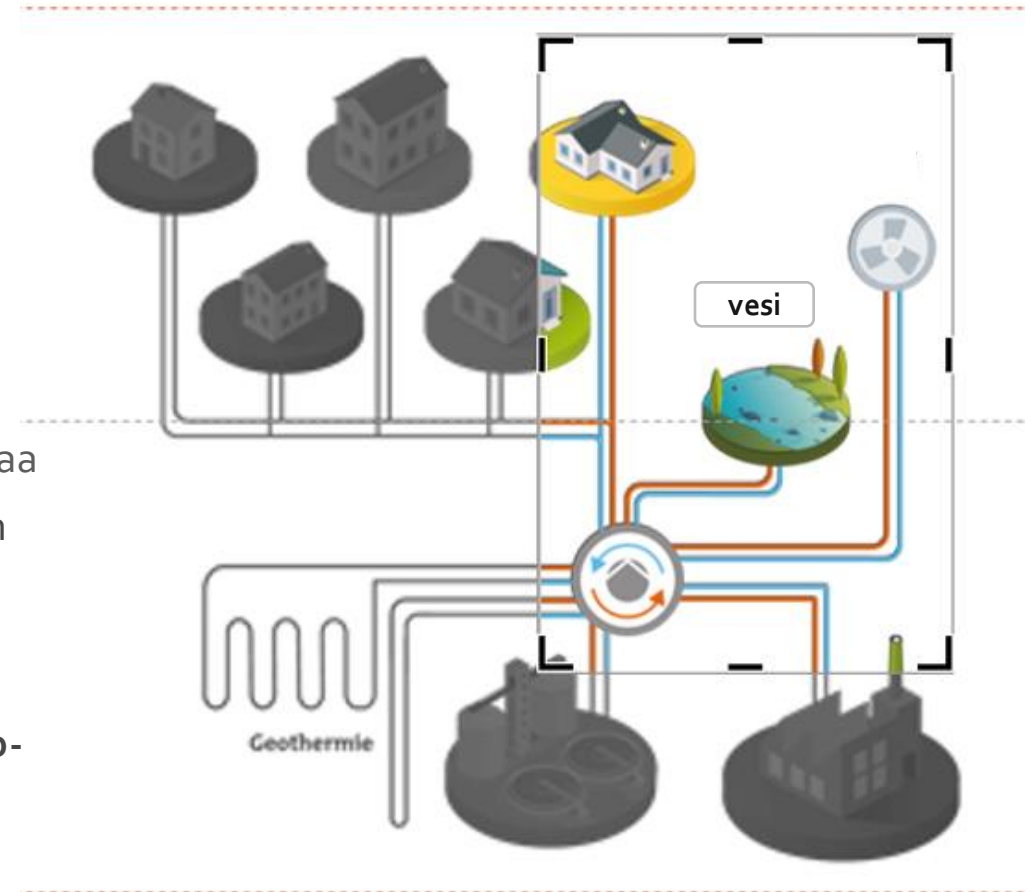
Mahdollisia lämmönlähteitä – Ilma

- Toimii tuulettimilla, jotka imevät sisään ilmaa > lämpöenergia siirretään lämmönvaihtimeen > prosessoitu ilma johdetaan takaisin ympäristöön
 - Rajaton, mutta **epävaka** ja **kausiluontoinen** lämmönlähde. Sään aiheuttamaa **vaihtelua** (päivittäin ja kausittain)
 - Lämmöntuotanto ei vastaa lämmön kysyntää
 - > Korkein lämpöpumpun lämpökerroin (hyötysuhde) (COP, Coefficient of Performance) kesällä
 - > < Kaukolämpöjärjestelmillä suurin lämmönkysyntä talvella
- Ilmaa lämmönlähteenä käyttäviä lämpöpumppuja käytetään yleensä peruskuormien kattamiseen kesäisin



Mahdollisia lämmönlähteitä – joki- ja järvivesi

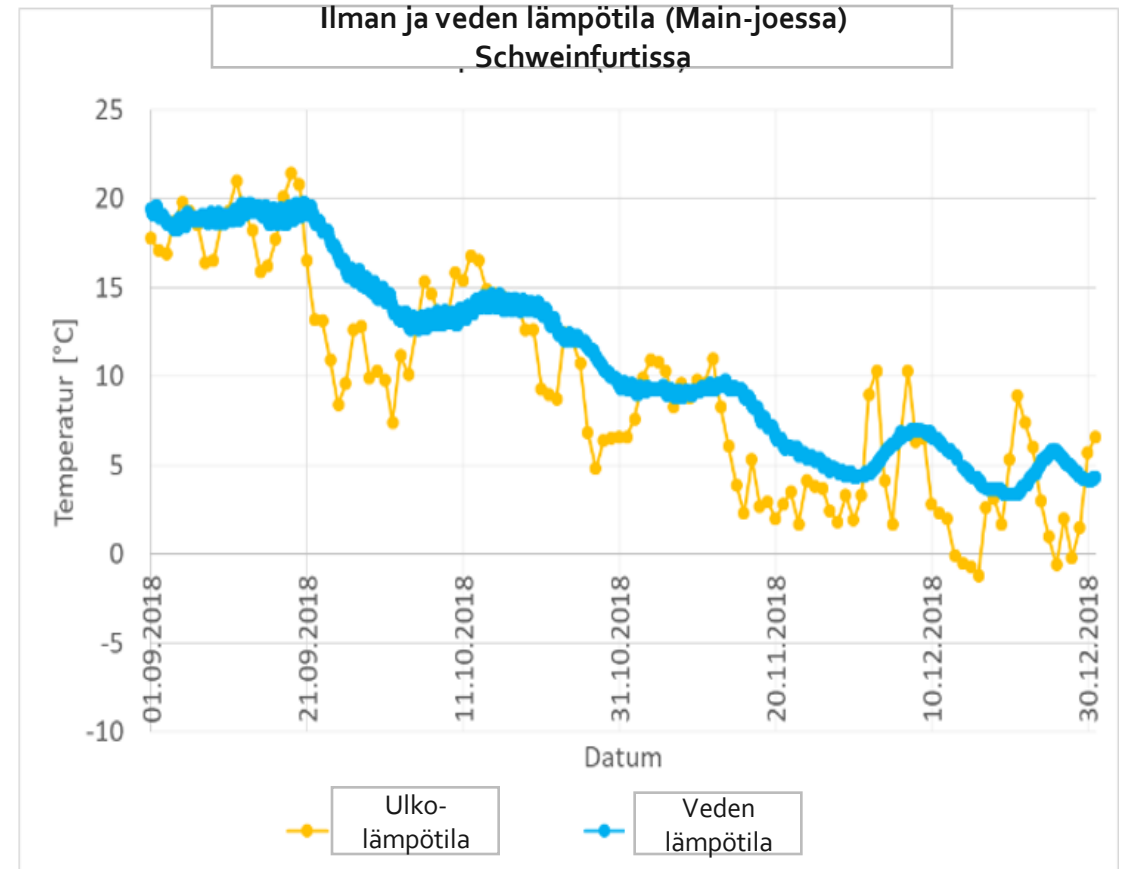
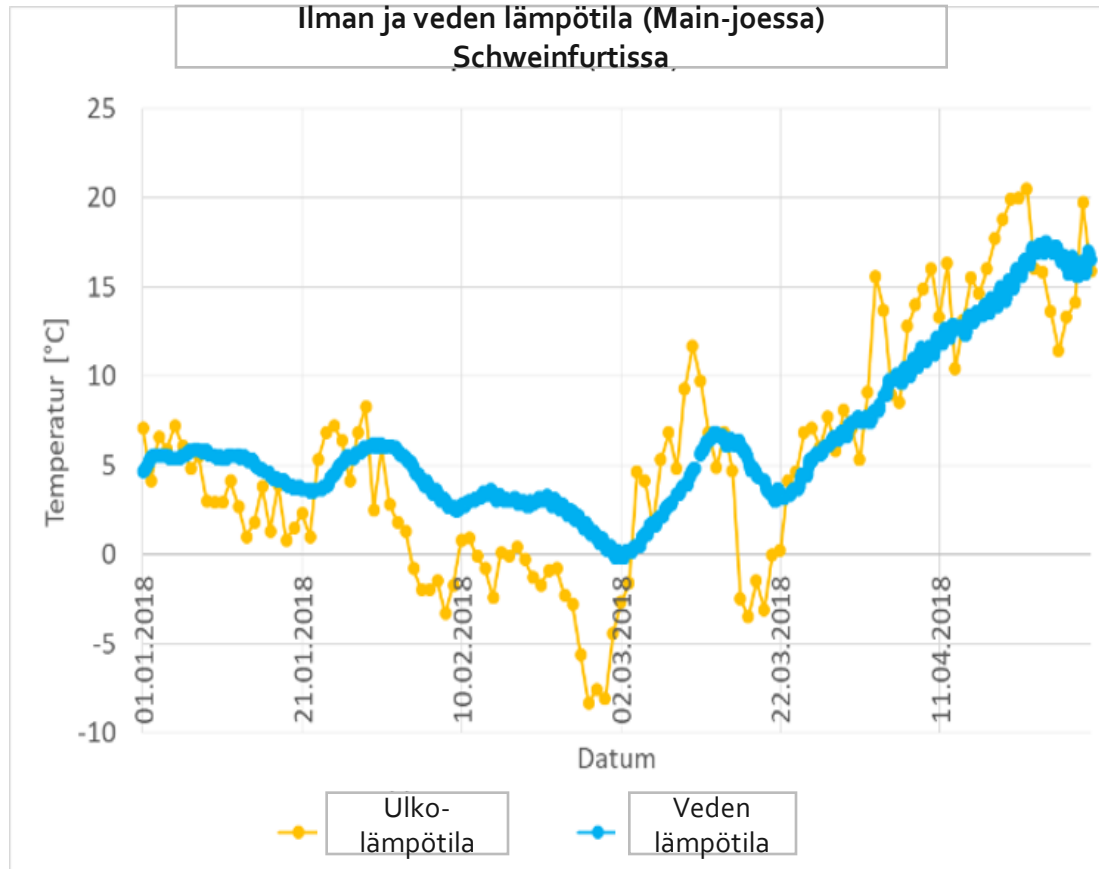
- Lämmönlähteenä virtaava vesi ja järvet
- Pumput ottavat tietyn määrän vettä lämmönlähteestä > lämpö erotetaan ja siirretään > vesi johdetaan takaisin lähteeseen
- Sään ja vuodenajan aiheuttamaa **vaihtelua**
 - Vähemmän kuitenkin kuin ilman kanssa, koska vedellä on suurempi lämmönvarastointikapasiteetti
 - Vettä lämmönlähteenä on yleensä saatavilla enemmän kuin ilmaa
- Järviveden nostoa ja sen palautusta on rajoitettu – lämmönlähteen jäähtytystä on rajoitettu
- **Esimerkki: Jos lämmönlähteen lämpötila on vähintään 7 °C, eri yksiköt Saksassa voivat käyttää jokiveden lämmönlähteitä 6000-6,500 h/a verran**





LowTEMP2.0 LowTEMP

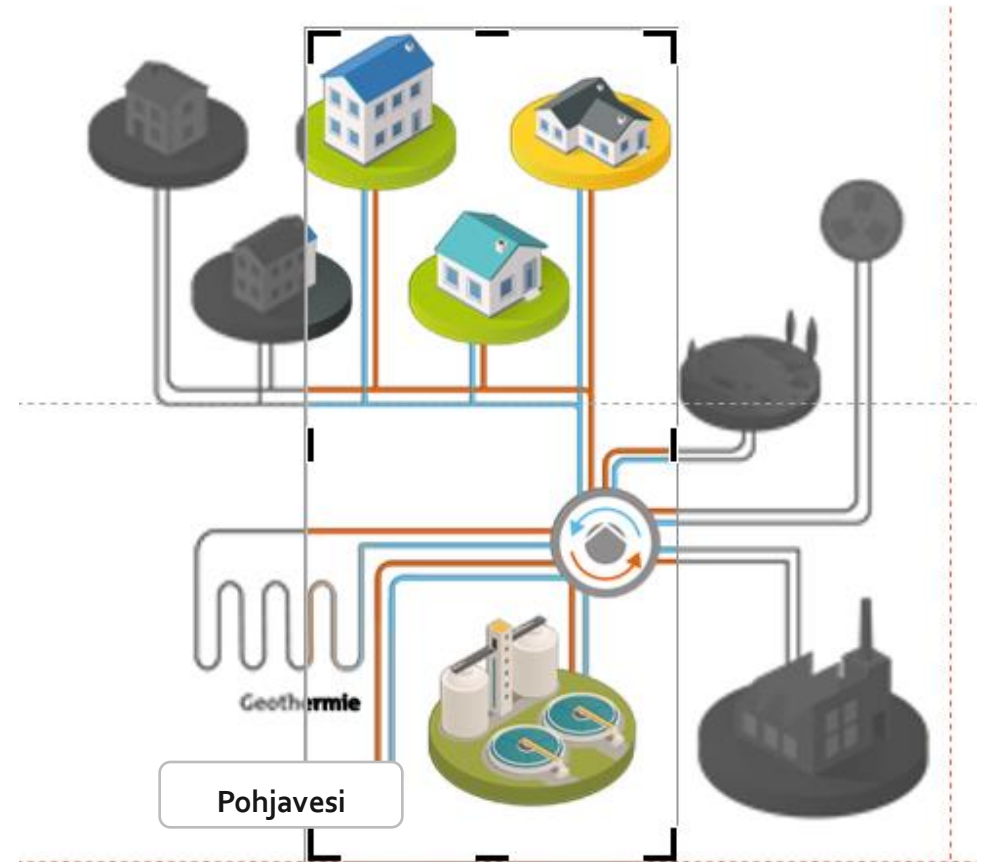
Mahdollisia lämmönlähteitä – joki- ja järvesivesi



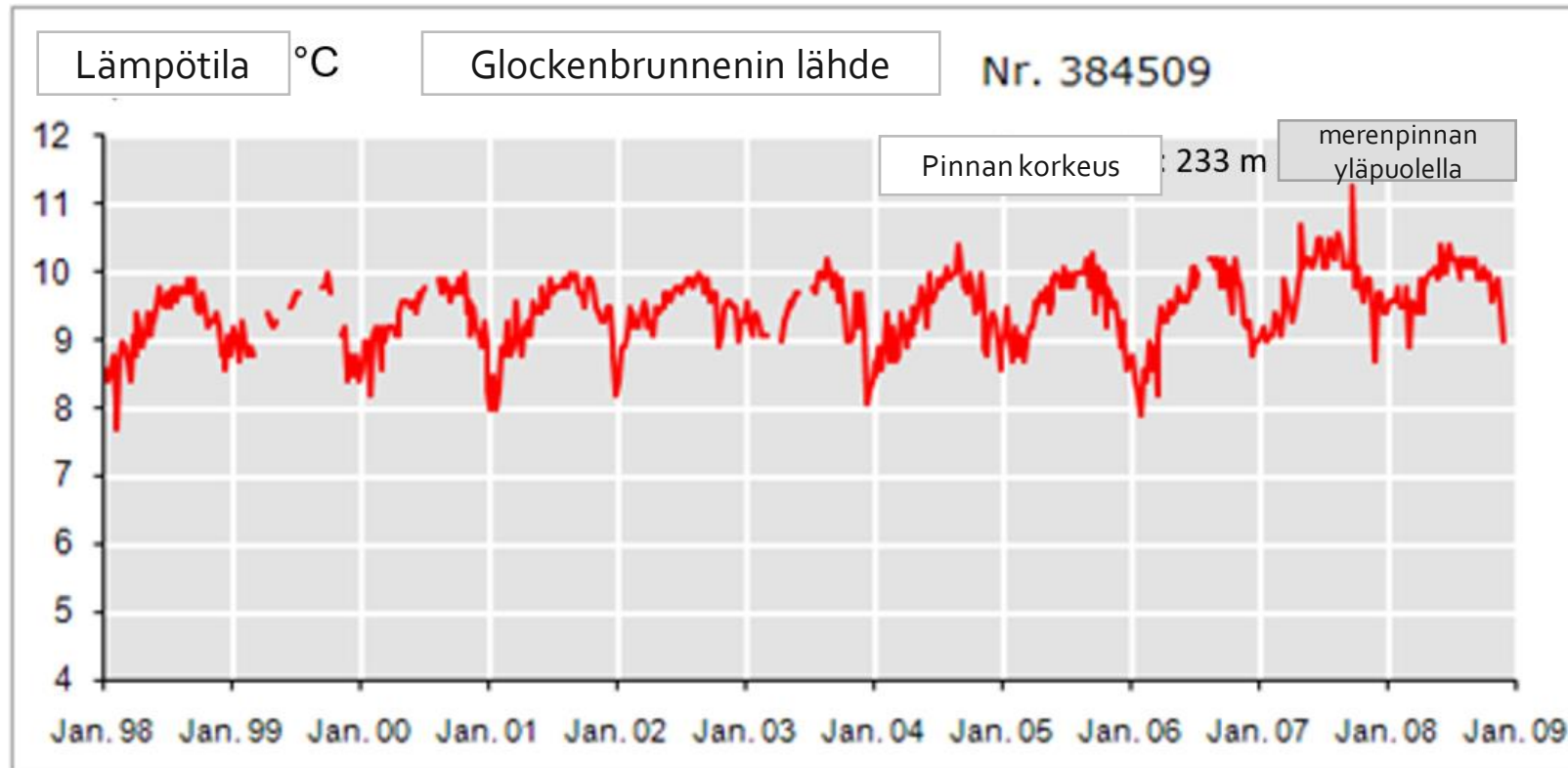
Kuva 2. Ilman ja veden lämpötilavertailu (Main-joesta) Schweinfurtissa vuonna 2018 (1. Tammikuuta - 30. huhtikuuta ja 1. syyskuuta – 31. joulukuuta) [Eselshöhen sääasema ja Baijerin valtion Ympäristövirasto]

Mahdollisia lämmönlähteitä– pohjavesi

- Pohjavesilämpöpumput käyttävät veden lämpöenergiaa samalla tavalla kuin järvi- ja jokivesilämpöpumput
- Tarvitaan kaksi kaivoa (yleensä 5-20 m syviä)
 - Syöttöpumppu kuljettaa pohjaveden **nosto- tai imukaivosta** lämpöpumppuun
 - Sen jälkeen käsitelty vesi syötetään takaisin maaperään **absorptiokaivon kautta**
- **Mitä syvemmältä pohjavesi otetaan, sitä tasaisempaa on lämmön saatavuus**



Mahdollisia lämmönlähteitä– pohjavesi



- Vuosien 1998 ja 2009 välillä keskimääräinen lämpötilavaihtelu oli +/- 1 K (= 1 °C) kuten esimerkkikuvasta näkyy

Kuva 3 Pohjaveden lämpötila v. 1998 ja 2009 välillä Bad Soden am Taunuksessa [Hessian State Office for Environment and Geology]



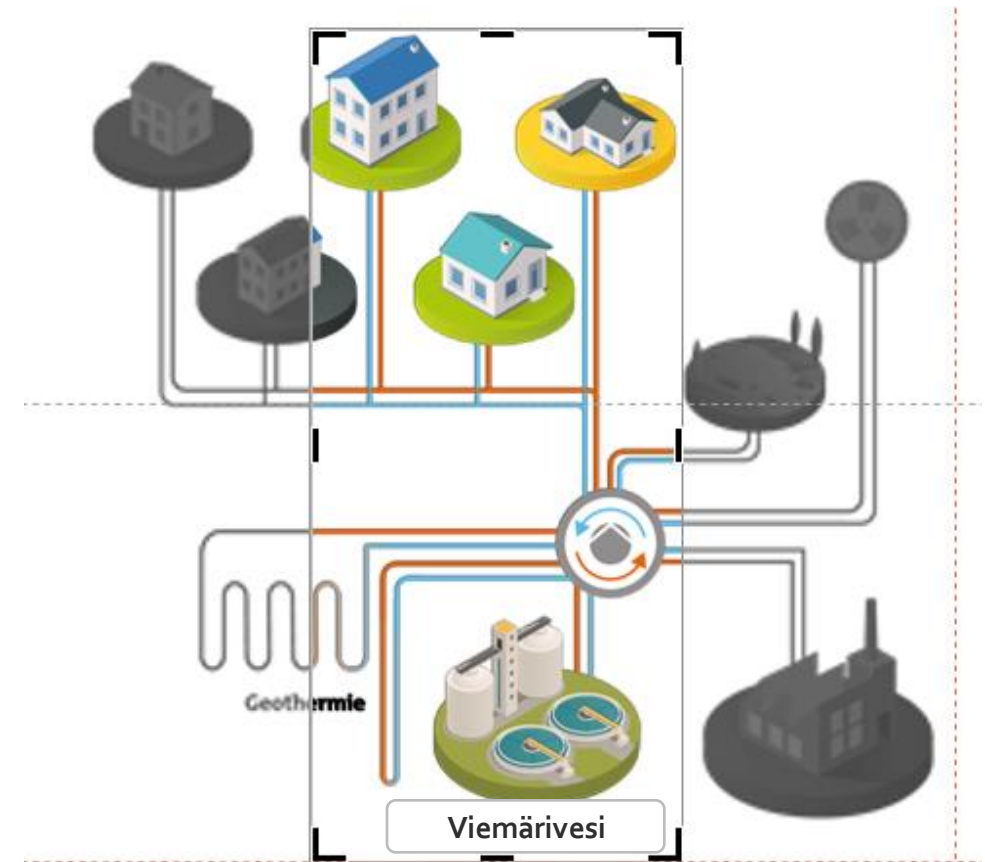
LowTEMP2.0



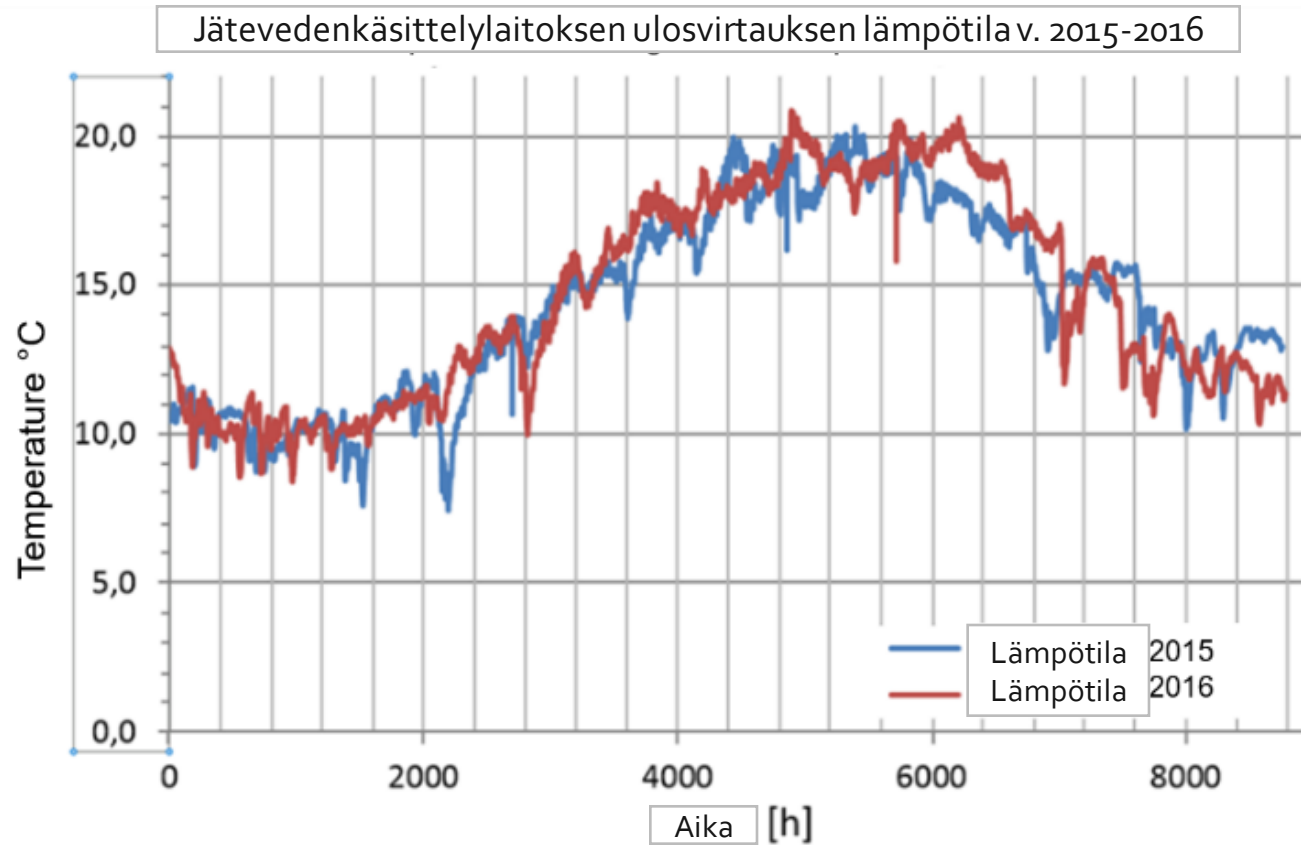
LowTEMP

Mahdollisia lämmönlähteitä– jäte- ja raakavesi

- Lämmönlähteenä käytetään jätevesipuhdistamoissa puhdistetun jäteveden jälkilämpöä
- **Vesilainsäädännön** alainen asia / toimija tarvitsee **luvan**
- Jäteveden **jäähdytystä rajoitetaan** usein ympäristölainsäädännön vuoksi
- Puhdistetun jäteveden laatu on tärkeää
 - esim. rautafosfaattikerrostumia lämmönsiirtimessä
 - Tarvitaan suodatusjärjestelmiä tai erityisiä puhdistusprosesseja (esim. levylämmönvaihtimet eivät sovellu tehtävään)



Mahdollisia lämmönlähteitä– jäte- ja raakavesi



Kuva 4: Kuva jätevedenkäsittelylaitoksen yhdistetyn jätevedenpuhdistamon ulosvirtauksen lämpötiläkäyrästä [Stadtwerke Lemgo]

Mahdollisia lämmönlähteitä

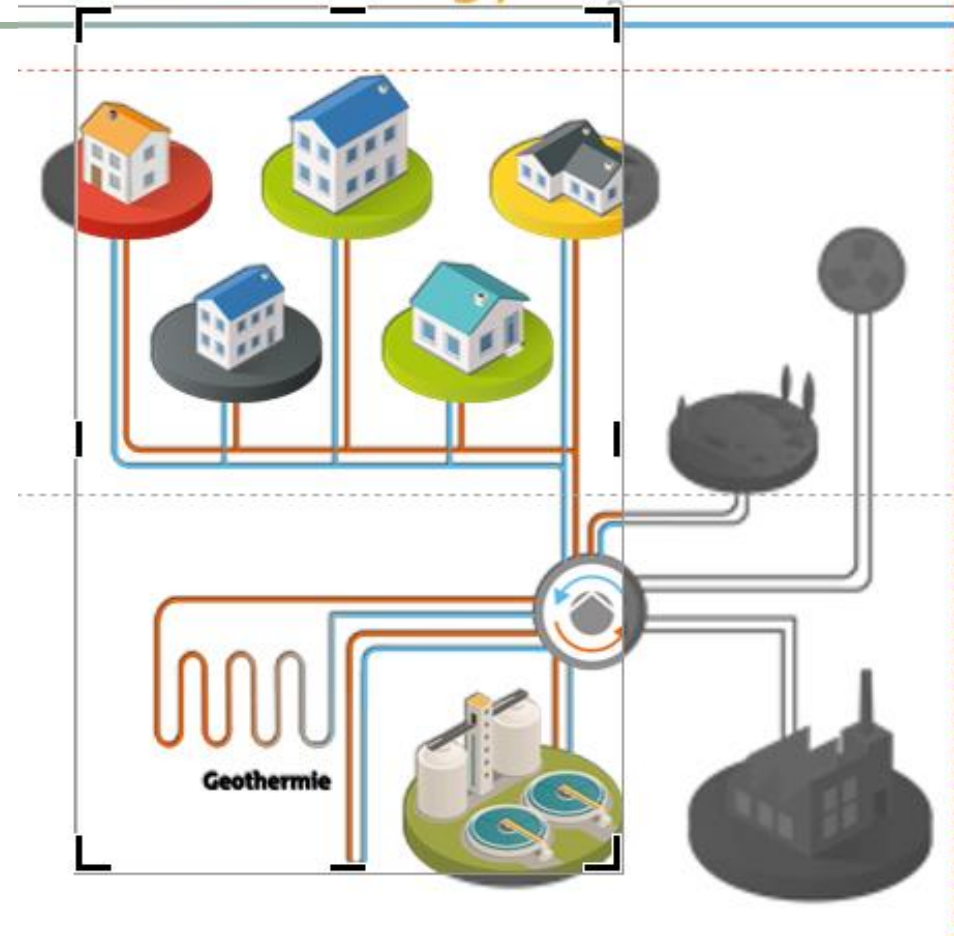
– läheltä maanpintaa kerättävä maalämpö



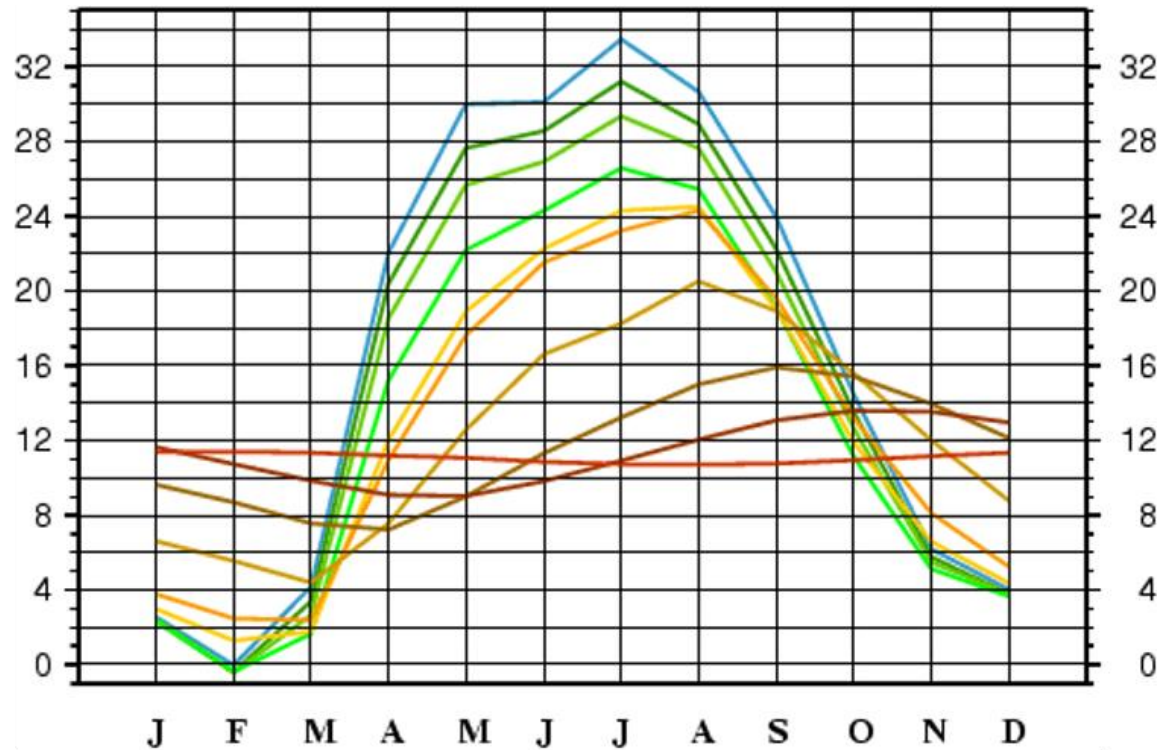
LowTEMP2.0

LowTEMP

- Lämpöpumppu käyttää maaperään varastoitua lämpöä
- Lämmön ottamiseksi maahan **täytyy asentaa kattavasti lämmönvaihtimia**
- Lämmönvaihtimet ovat **yleensä maahan asennettuja keräysputkistoja**
- Lämmönlähteen lämpötila **riippuu asennussyvyydestä**
- Mitä **syvemmälle** lämmönvaihtimet on asennettu, sitä **vakaampaa** on lämmön saatavuus
- **Alhainen lämmönlähteen lämpötila** > lämmöntuotto neliometriä kohti suhteellisen vähäistä > on välttämätöntä hyödyntää laajoja alueita
- Tämän alueen muuta käyttöä maanpinnan yläpuolella rajoitetaan (esim. maanviljely yleensä vielä mahdollista)



Mahdolliset lämmönlähteet – läheltä pintaa kerättävä maalämpö

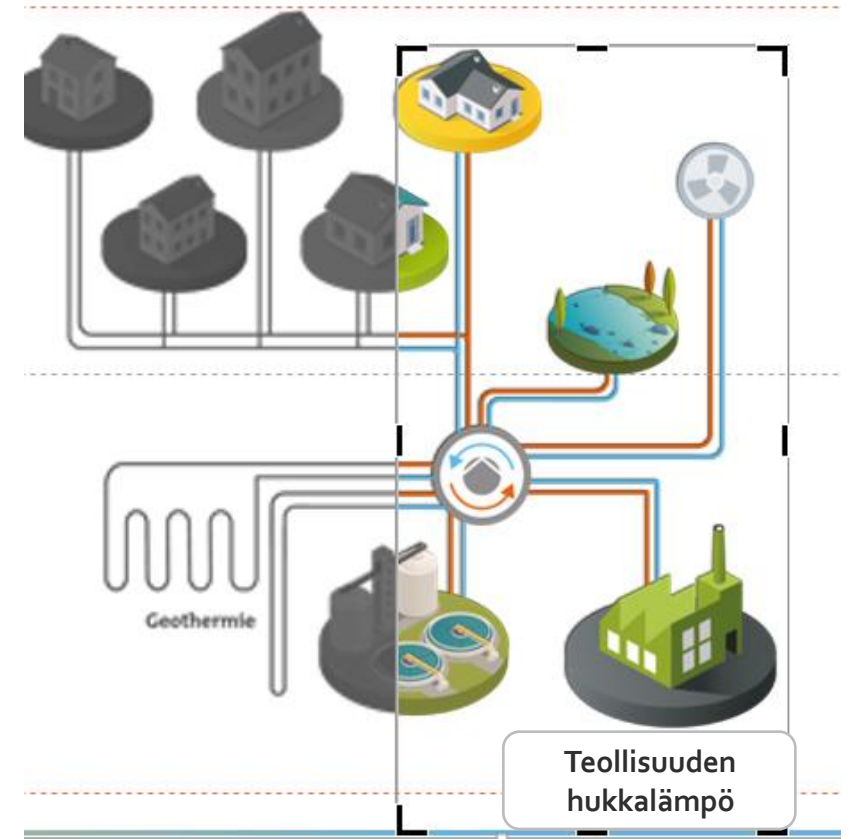


Maaperän lämpötila (°C) in 2cm, 5cm, 10cm, 20cm, 50cm, 1m, 2m, 4m, 6m, 12m Syvyydessä

Kuva 5 Maaperän lämpötila eri syvyyksissä [Potsdam Institute for Climate Research]

Mahdollisia lämmönlähteitä – teollisuusjäte & ylijäämälämpö

- Ihanteellinen lämmönlähde lämpöpumpuille (jos lämmönotto on suunniteltavissa lämmön määrän / säännöllisen lämpötehon esiintymisen vuoksi)
- **Jokaista teollisuusprosessin hukkalämmön muotoa** voidaan käyttää, jos se on teknisesti hyödynnettävissä (esim. jäähdytysvesi, jäähdytysilma jne.)
- **Aktiivinen jäähdytys** mahdollista
- Myös teollisen savukaasun käyttö / yhdistäminen lämpöpumpun kanssa on mahdollista





LowTEMP2.0



LowTEMP

Yhteenveto eri lämmönlähteistä

Lämmönlähde	Tavallinen lähdelämpötila	Lämpötilavaihtelu	Tyypillinen saatavuus	Lisätietoja
Ulkoilma	0 °C – 40 °C	Suuri	Huhti-syyskuu	Paikalliset (omat)sääasemat
Järvet ja joet	2 °C – 20 °C	Keskimääräinen	Huhti-lokakuu	Paikallinen toimivaltainen vesiviranomainen
Pohjavesi	3 °C – 15 °C	Pieni	Koko vuoden	Toimivaltainen vesiviranomainen
Jätevesi/ raakavesi	7 °C – 20 °C	Keskimääräinen	Koko vuoden	Ko. jätevesipuhdistamon hoitaja
Läheltä pintaa otettava maalämpö	0 °C – 19 °C	Keskimääräinen	Koko vuoden	-
Teollisuuden hukkalämpö	14 °C – 50 °C	Prosessikohtainen	Prosessikohtainen	Vastaava teollisuusyrittäjä
Teollisuuden savukaasu/jätekaasut	30 °C – 50 °C	Pieni	Prosessikohtainen	Vastaava teollisuusyrittäjä

Taulukko 1: Yleiskatsaus lämmönlähteistä [isot lämpöpumput, täydennettynä]

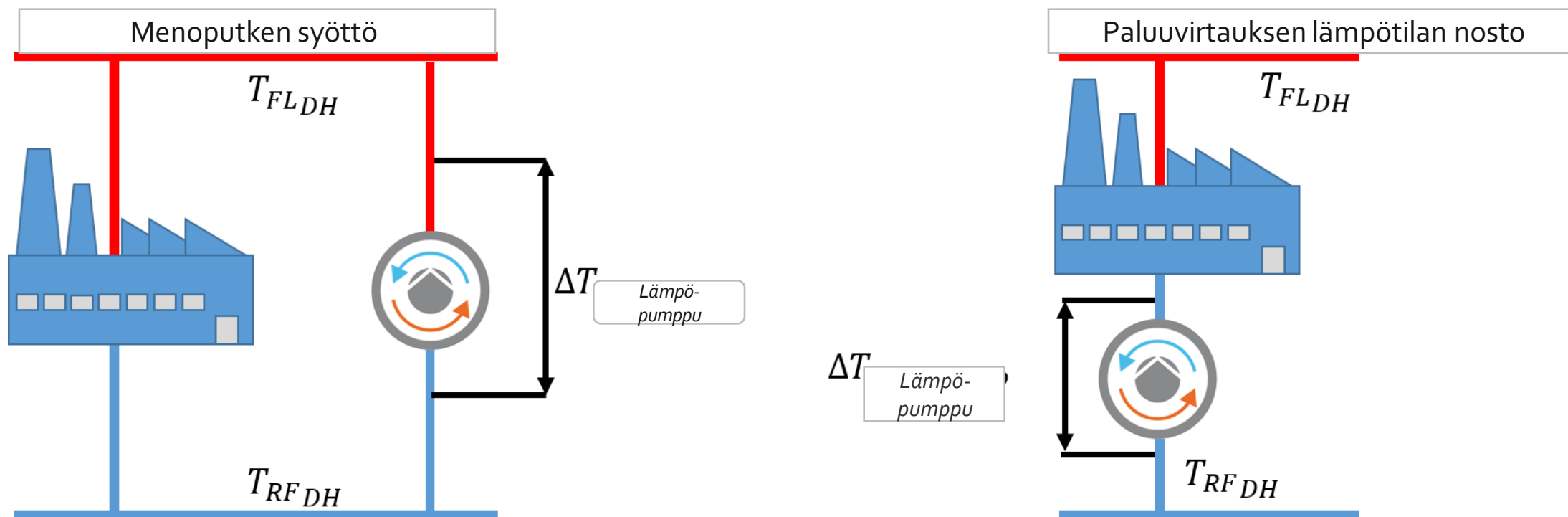
Lämpöpumpun lämpökerroin – (Hyötysuhde)

... Kertoo lämpöpumppujen tehokkuuden – se kuvaa **hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa**, joka jaetaan **käytetyn sähköenergian määrällä**

$$COP = \frac{|\dot{Q}_{use}|}{P_{electrical}}$$

- Lämmönlähteitä, kuten ilmaa, maalämpöä, vettä ja ylijäämälämpöä arvioidaan olevan vapaasti saatavilla

Lämpöpumppujen integrointi kaukolämpöjärjestelmiin



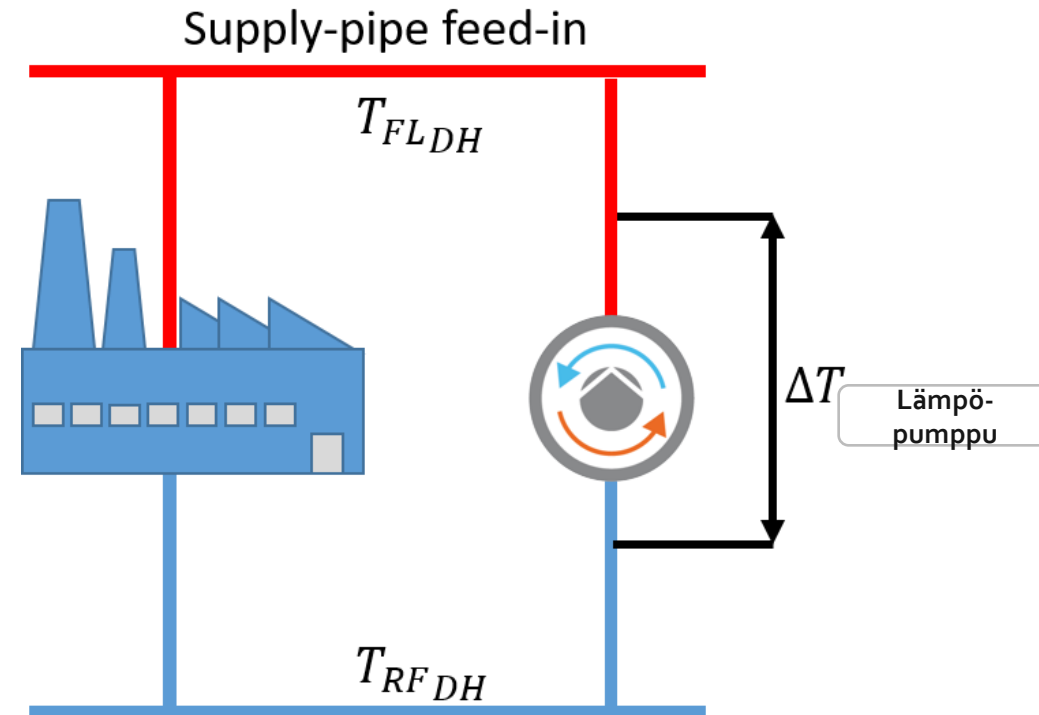
Kuva 8 Erilaisia mahdollisia tapoja integroida ison lämpöpumpun syöttöputki (vasemmalla) ja paluuvirtauksen lämpötilan nosto (oikealla) [oma kuvitus]

Lähde: AGFW

Integrointimahdollisuudet – Jakeluputken syöttö

- Yleisesti ottaen, suuret lämpöpumput **voivat syöttää** kaukolämpöjärjestelmän menovirtaa suoraan, jos vaadittu ΔT täyttyy
- Lämpöpumppu täytyy suunnitella kestäämään maksimivirtausmäärä*

(*koska T_{FL} putken virtaus kasvaa, kun ulkolämpötila laskee)

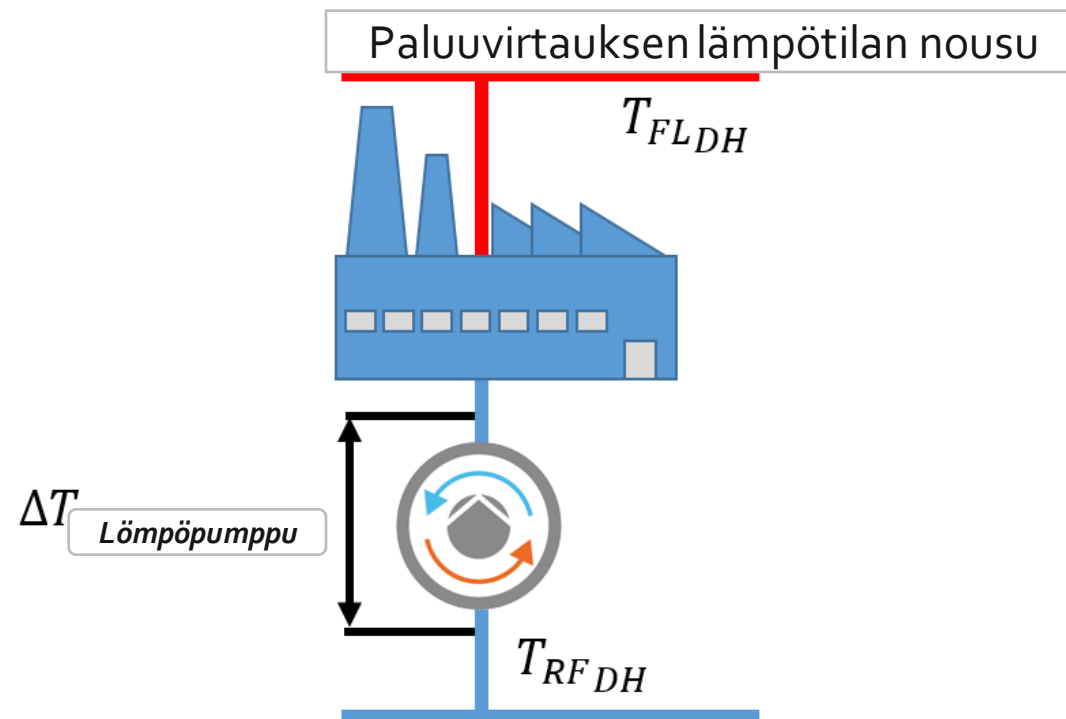


Lähde: AGFW



Integraatiomahdollisuudet – paluuvirran lämpötilan nousu

- Jos lämpöpumpun suorituskyky on heikompi, paluuvirtauksen integrointi pumpun kanssa voi olla ratkaisuvaihtoehto
- **Edut:**
 - Integrointi kaukolämpöverkon olemassaolevaan sukupolveen on helpompaa
 - Mahdollinen **tuleva käyttö syöttöskenaariossa** syöttöputkeen, koska sillä yleensä taipumus vähentää T_{FL} (menovirtauksen lämpötilaa)



Source: AGFW

Kylmäaineet – yleiskatsaus

- Kylmä/kiertoaineet ovat järjestelmän olennainen väliaine. Ne voidaan jakaa kahteen kategoriaan.

Luonnolliset

- NH_3 (ammoniakki) ja CO_2
- Hyvin pieni ilmastoalämmittävä vaikutus (GWP)
- Olematon otsonikerrosta heikentävä vaikutus (ODP)
- Vain harvoja tai ei ollenkaan ympäristörajoituksia
- Ei käytetä yleisesti kylmäaineina

Synteettiset

- R-134a, R-152a ja R-245fa
- Pääasiassa fluorihilivetyä (HFC)
- Useita ilmastollisia ongelmia
- Käytössä pääasiallisesti

Tällä hetkellä HFC:n käyttöä ei rajoiteta suuren mittakaavan sovelluksissa, mutta kylmäaineiden käyttöä, joilla on suuri GWP-taso, rajoittavat EU:n viimeisimmät fluorikaasusäädökset.

→ Yleisesti ottaen politiikka ajaa muutosta luonnollisten kylmäaineiden käyttöön!

Kylmäaineet – Tutkimus ja ympäristötekijät

- Kaukolämpöverkon lämpötilavaatimusten vuoksi käytävissä on vain rajallinen määrä mahdollisia kylmäaineita
- **Ratkaisevia vaatimuksia näiden osalta ovat :**
 - käytävissä olevien lämmönlähteiden lämpötilat
 - tarvittava syöttölämpötila
 - tarvittava lämpöteho
 - tarvittava hyötysuhde
 - lämpöpumpputekniikka



Source: AGFW

Kylmäaineet – Tutkimus ja ympäristötekijät

- Ympäristöasioissa voidaan ottaa huomioon seuraavat näkökohdat:
- Haitalliset vaikutukset ilmastolle
 - Ympäristövaikutukset
 - otsonikerrosta heikentävä vaikutus (ozone depleting potential, ODP)
 - ilmastoja lämmittävä vaikutus (global warming potential, GWP)
 - Muita näkökohtia:
 - Varotoimenpiteet
 - Toimintakustannukset



Lähde: AGFW

Kokonaisinvestointien jakautuminen:

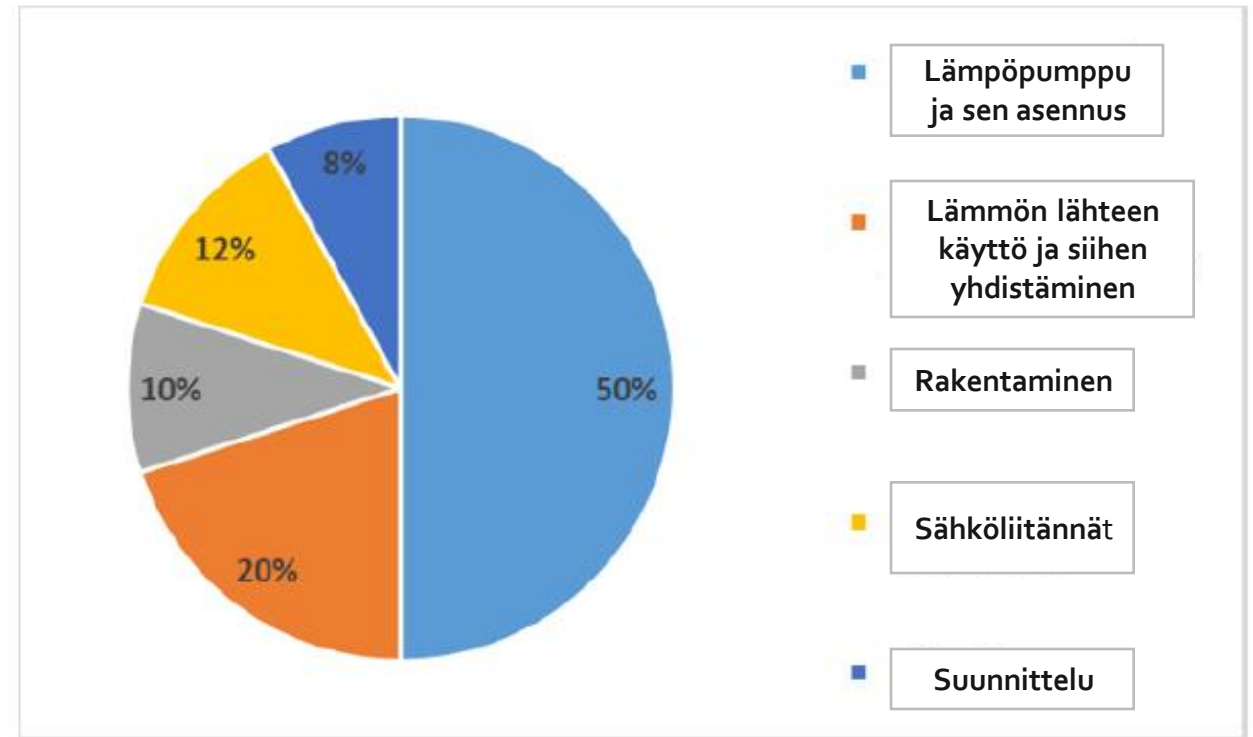
Ison mittakaavan lämpöpumppuhankkeessa tulee ottaa huomioon seuraavat seikat:

- Iso lämpöpumppu
- Lämmönlähteeseen saavutettavuus ja siihen kytkeminen
- Yhteys kaukolämpöverkkoon
- Sähköliitännät
- Rakennuskustannukset
- Suunnittelu- ja lupamaksut

Taloudellinen kannattavuus

Kokonaisinvestointien jakautuminen:

- Lämpöpumppuyksikön osuus kokonaisinvestoinneista on noin 50%
- Kustannukset lämmönlähteen käyttökelpoiseksi tekemiseksi teknisestä näkökulmasta riippuvat suuresti itse lämmönlähteestä ja sen vaatimuksista/ yleisistä olosuhteista/, joita ovat mm.
- saavutettavuus
- rakenteelliset olosuhteet
- ylläpidon intensiteetti //tarve
- On kiinnitettävä huomiota siihen, miten integrointi on suunniteltu (esim. verkon lämpötilat ja paineet tai etäisyys lämmitysverkkoon jne.)



Kokonaisinvestointien jakautuminen erillisiin kokonaisuuksiin
Lähde: oma esitys Pieper and Energinet mukaisesti



LowTEMP2.0



LowTEMP

Taloudellinen kannattavuus

Kokonaisinvestointien jakautuminen ja niiden vaihtelu käytetystä lämmönlähteestä riippuen

Taulukko 3: Eritellyt investointikulut suurten lämpöpumppujen kokonaisinvestointikuluista käytetystä lämmönlähteestä riippuen [Pieper]:in mukaan

Eritellyt investoinnit (yhteensä) miljoonaa EUR/ MW _{th}	Lämmönlähde				
	Savukaasu	Jätevesi	Hukkalämpö	Pohjavesi	Ilma
0.5 – 1 MW _{th}	0.53 – 0.63	1.23 – 1.91	0.97 – 1.3	1.18 – 1.72	0.9 – 1.12
1 – 4 MW _{th}	0.46 – 0.53	0.72 – 1.23	0.72 – 0.97	0.77 – 1.18	0.73 – 0.9
4 – 10 MW _{th}	0.44 – 0.46	0.62 – 0.72	0.67 – 0.72	0.69 – 0.77	0.7 – 0.73

Lähde: AGFW



Isojen lämpöpumppujen yleiset hyödyt kaukolämpöjärjestelmissä

LowTEMP 20

LowTEMP

-Kaukolämpöjärjestelmän joustavuuden lisäys

- Nopea + halvat start-up -kulut
- Pohjakuormalaitosten optimoitu käyttöaika

Tehokkaampi ylijäämälämmön -tuotannon hyödyntäminen

- Matalan lämpötilan ja muiden ylimääräisten lämmönlähteiden käyttö

Suoja (markkina-)riskejä vastaan

- Pienentää sähkö- ja polttoainekustannusten hinnanvaihteluiden aiheuttamaa riskiä
- Vikasuoja & kaukolämmön ja –jäähdytyksen yhdistäminen

Uusiutuvan energiantuotannon lisäys

- Ei paikallisia päästöjä
- Myönteinen sysäys kaukolämpöjärjestelmälle

Contact



AGFW-Project GmbH

Project company for rationalisation,
information & standardisation

Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main
Germany

E-mail: info@agfw.de
Tel: +49 69 6304 - 247
www.agfw.de

References

[Eselshöhe weather station and Bavarian State Office for the Environment]; quoted in AGFW 2020: "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p. 5

[Hessian State Office for Environment and Geology]; quoted in AGFW 2020: "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p. 6

[Stadtwerke Lemgo]; quoted in AGFW 2020: "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p.7

[Potsdam Institute for Climate Research]; quoted in AGFW 2020: "Praxisleitfaden Großwärmepumpen" p.7

Further literature

[AGFW₁] AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK, Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 1, Energetische Bewertung von Fernwärme – Bestimmung der spezifischen Primärenergiefaktoren für Fernwärmeversorgungssysteme -, 2014

[AGFW₂] AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK, Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 6, Energetische Bewertung von Fernwärme – Bestimmung spezifischer CO₂-Emissionsfaktoren -, 2016

[Agrothermische Wärmeversorgung] Dr. Pietruschka und Dr. Kluge, Kalte Nahwärme: agrothermische Wärmeversorgung einer Plusenergiesiedlung, bauma 2013 [BDI] Gerbert, P. et al.: Klimapfade für Deutschland, 2018.

[EnEff:Wärme] Andreas Christidis et al, EnEff:Wärme, Einsatz von Wärmespeichern und Power-to-HeatAnlagen, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., 2017

[Energinet] Danish Energy Agency, Technology Data for Energy Plants for Electricity and District heating generation, 2016

[Large Heat Pumps] A. Davis, Large Heat Pumps in European District Heating Systems, 2016 zitiert in Grosse, R., Christopher, B., Stefan, W., Geyer, R. and Robbi, S., Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU, EUR28859, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-75771-6, doi:10.2760/24422, JRC109006

[Literaturstudie NTB] Dr. Cordin Arpagaus et al, Hochtemperatur Wärmepumpen, Literaturstudie zum Stand der Technik, der Forschung, des Anwendungspotentials und der Kältemittel, Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, 2017 [OLG Düsseldorf] OLG Düsseldorf, Beschluss vom 29.06.2016 – VI-3 Kart 95/15(V)

[Pieper] Pieper et al, Allocation of investment costs for large-scale heat pumps supplying district heating, CONECT 2018

[WKO und ÖKKV] Informative Zusammenfassung von Kältemittel-Alternativen, WKO Berufsgruppe Kälte- und Klimatechnik und Österreichischer Kälte- und Klimatechnischer Verein (ÖKKV), 2018