

Lämpöpumppujärjestelmät

Tekninen esittely ja erilaiset toteutukset

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



LowTEMP2.0

LowTEMP training package - OVERVIEW

Johdanto

Johdanto – Ilmastonsuojelupolitiikka ja sen tavoitteet

Johdanto – Energianjakelujärjestelmät ja matalan lämpötilan kaukolämpö (LTDH)

Energianjakelujärjestelmät Itämeren alueella

Energiastrategiat ja pilottiprojektit

Energiastrategioiden kehittämisen metodologia

Pilottienergiastrategiat – tavoitteet ja edellytykset

Pilottienergiastrategiat – esimerkkejä

Pilottitestaustoimet

CO₂- päästölaskenta

Elinkaariarviointilaskenta

Taloudelliset näkökohdat

LTDH-hankkeiden elinkaarikustannukset

Taloudellinen tehokkuus ja rahoitusvajheet

Urtakointi- ja maksumallit

Liiketoimintamallit ja uudet rahoitusrakenteet

Tekniset näkökohdat

Putkistojärjestelmät

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP)

Ison mittakaavan aurinkoenergia

Hukka- ja ylijäämälämpö

Ison 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



1. Tekninen esittely

Päätehtävä

Erilaisia lämpöpumppujärjestelmiä

Tekninen esittely



LowTEMP2.0

Yleinen toimintaperiaate

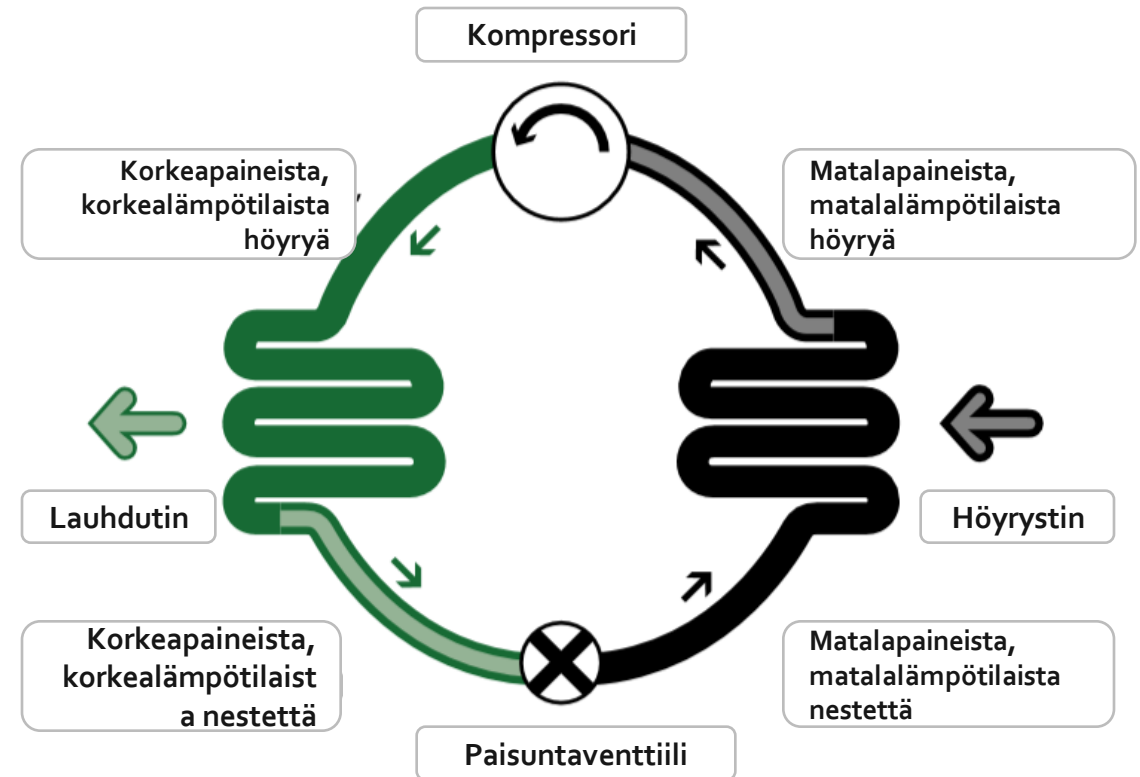
- Lämpöpumput ottavat energiaa lämmönlähteestä ja lämmittävät sen korkeampaan lämpötilaan
- Lämpö otetaan ympäristöstä (esim. pohjavedestä tai ilmasta) ja siirretään lämmönjakelujärjestelmään
- Sitä varten tarvitaan lisäenergiaa joko mekaanisen tai lämpöenergian muodossa
- Perinteisissä lämpöpumppujärjestelmissä on sähkömoottorilla toimiva kompressori
- Lämpöpumppuja voidaan käyttää niin lämmitykseen kuin jäähdytykseen. Prosessin suuntaa voidaan vaihtaa



Kuva 1: Eri lämpöpumppumalleja. Lähde: Viessmann [1]

Lämpöpumpun sykli vaihe vaiheelta

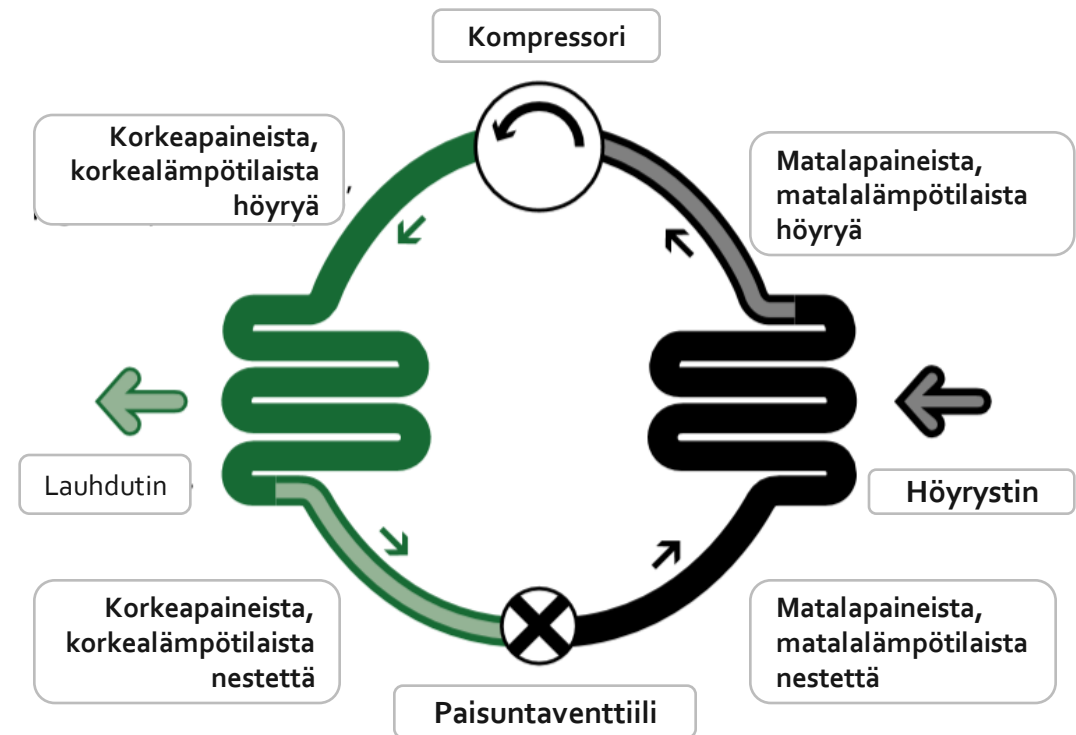
1. Lämmönotto luonnosta
→ tätä lämpöä käytetään kylmäaineen höyrystämiseen
2. Prosessin aikana tuotetun kaasun puristus
3. Lämmönsiirrin siirtää energian lämmitysjärjestelmään
4. Paineistettu kylmäaine muutetaan uudelleen nesteeksi



Kuva 2: Energy Guide, Heating and Cooling with a Heat Pump. Lähde: Natural Resources Canada [2]

Lämpöpumpun komponentit

- Höyrystin: Nestemäinen väliaine imee itseensä ympäristön lämpötilan ja höyrystyy matalassa lämpötilassa
- Kompressori: Väliaine paineistetaan käyttämällä energiaa
- Lauhdutin: Väliaine lauhdutetaan ja välijäähdytetään korkeassa paineessa ja lämpötilassa, lämmön haihtuminen
- Paisuntaventtiili: Väliaine vapautuu paineesta ja höyrystyy osittain
- Kylmäaine: Väliaine, joka kiertää pumpussa
- Suunnanvaihtoventtiili: Jäähdytystä ja höyrystimen jäänpoistoa varten kylmäaineen kiertosuunta vaihdetaan toisinpäin



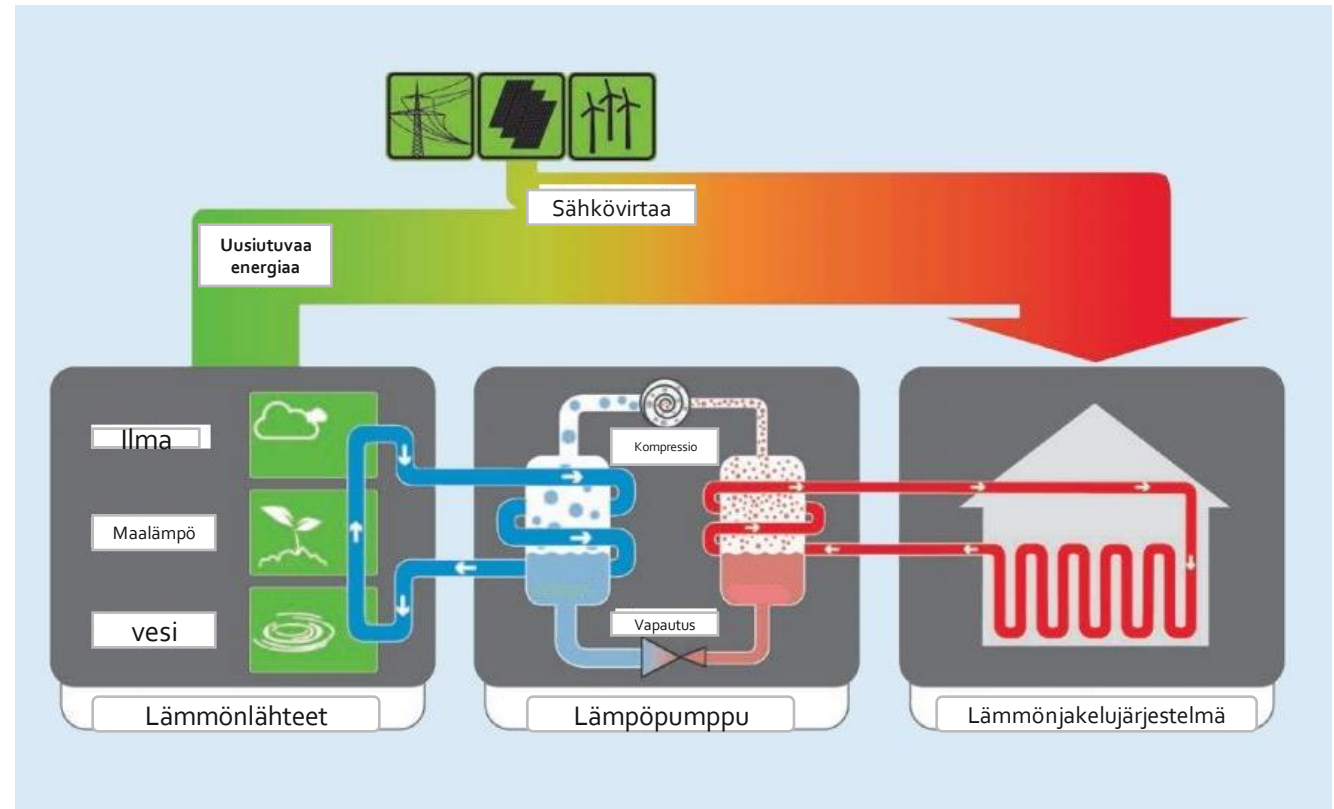
Kuva 3: Energy Guide, Heating and Cooling with a Heat Pump. Lähde: Natural Resources Canada [2]

Tekninen esittely

Uusiutuva energia

Lämpöpumppuja voidaan käyttää yhdessä uusiutuvien energiamuotojen kanssa, jotta tarvittava sähköteho saadaan katettua.

- Lämpöpumpun lämmönlähteet ovat itsessään uusiutuvia (ilma, maalämpö tai vesi)
- Uusiutuviin energiamuotoihin yhdistettynä lämpöpumput voivat kattaa koko lämpökuorman hyvin pienillä hiilidioksidipäästöillä



Kuva 4: Energianvirtaus lämpöpumppujärjestelmässä. Lähde: Energie Agentur NRW [3]



Tekninen esittely

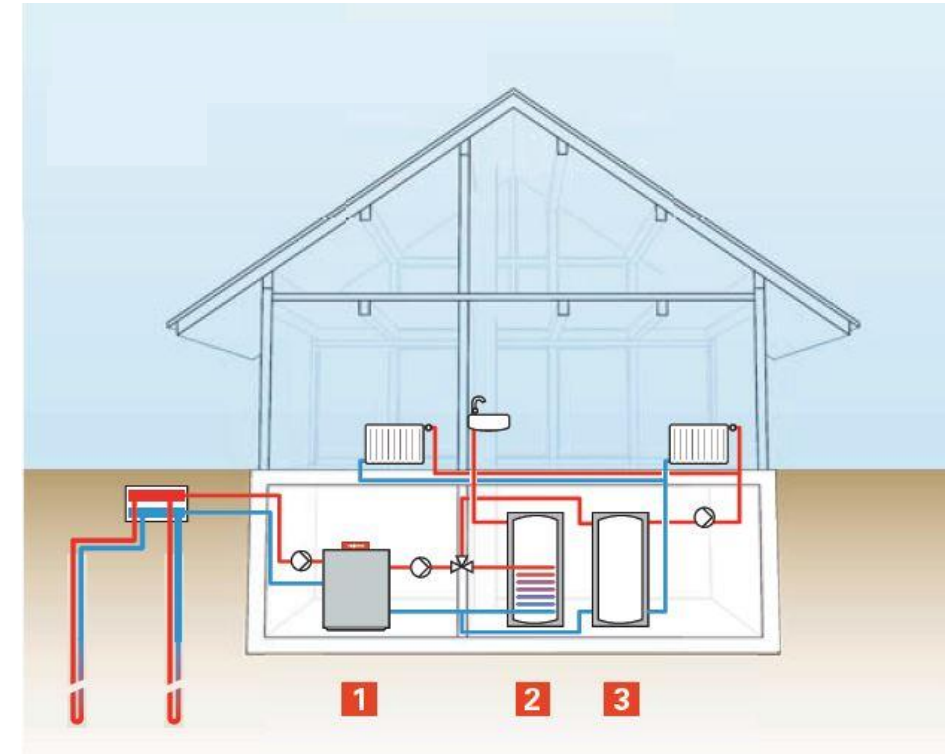
Erilaisia lämpöpumpputyyppejä

- Maalämpöpumppu
Lämmönlähteenä maalämpö
- Ilmalämpöpumppu
Lämmönlähteenä ilman lämpötila
- Vesi-vesi-lämpöpumppu
Lämmönlähteenä pohjavesi
- Hybridilämpöpumput
Kahta lämmönlähdettä hyödyntävät järjestelmät

Tekninen esittely

Maalämpöpumppu – maassa olevat putket

- Maaperässä olevat keräimet ovat pystysuunnassa (porausputkina)
- Maalämmön keruu n. 5 m syvyydestä 100 metriin.
- Mitä syvemmälle keräysputkistot ulottuvat, sitä enemmän lämpöä voidaan saada
- Ensin täytyy teettää maaperätutkimus



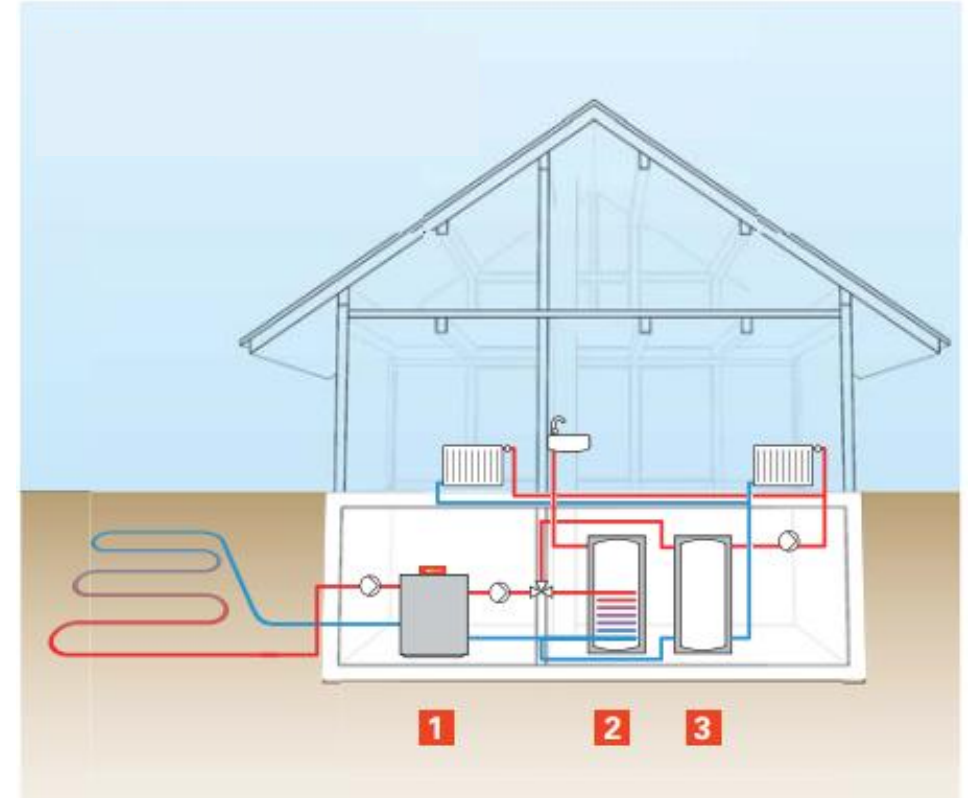
Kuva 5: Maalämpöpumppu. Lähde: Viessmann [1]

Maalämpöpumppu – maassa olevat keräimet

- Maalämmön keräimet ovat vaakasuunnassa
- Vaakasuuntaiset keräimet asennetaan $>1,5\text{m}$ syvyyteen
- Lämmönkeruuputket asennetaan kiemurtelemaan kaivannoissa tai korien muotoon
- Porausta ei tarvita



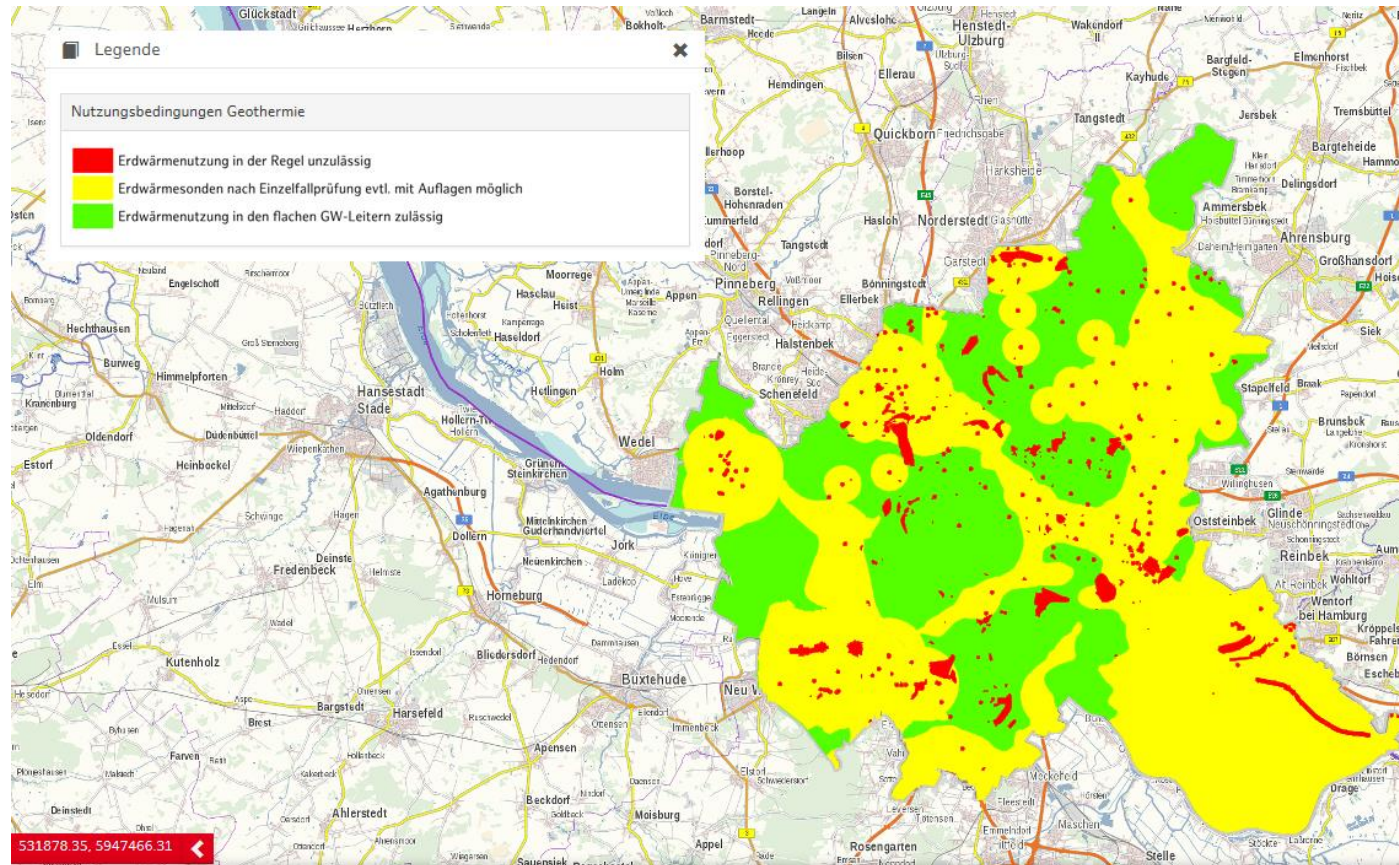
Figure 6: Korikeräimiä. Lähde: Noventec [4]



kuva 7: Maalämpöpumppu. Lähde: Viessmann [1]

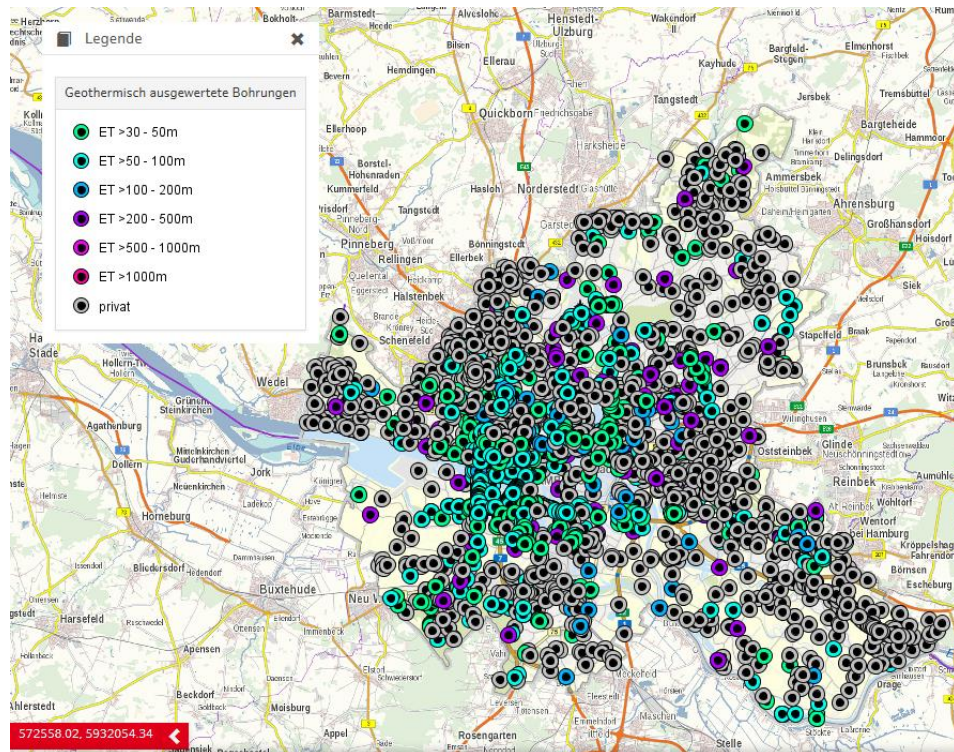
Tekninen esittely

Maalämmön käyttöehdot Hampurissa, Saksassa

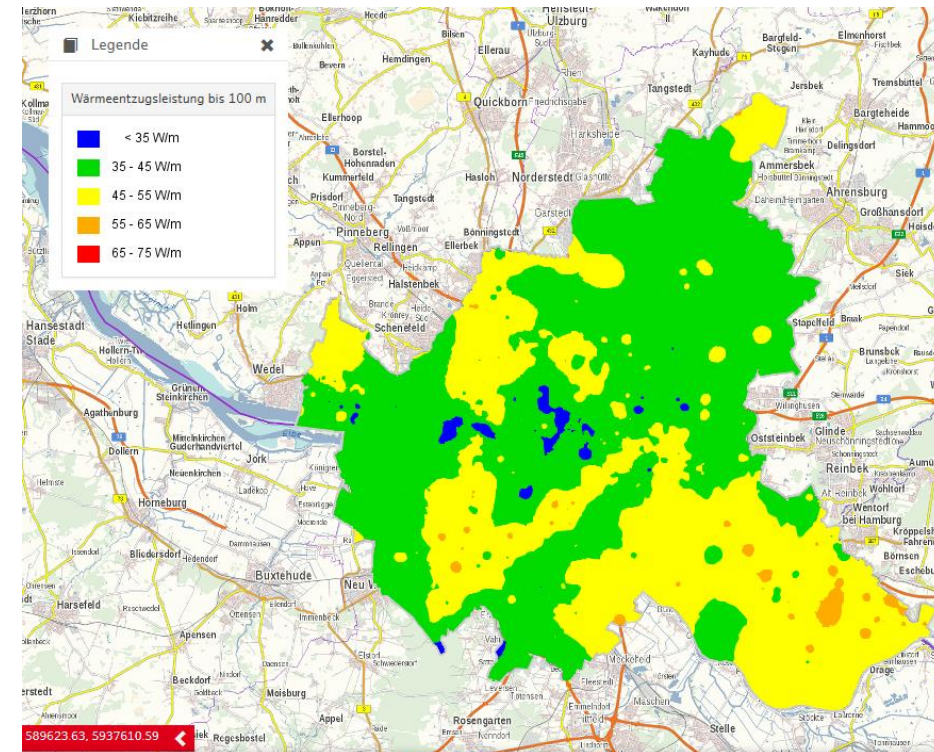


Kuva 8: Maalämmön käyttöehdot. Lähde: LGV Hamburg [5]

Porausreikärekisteri ja lämmönkeruuputkien määrä Hampurissa, Saksassa



Kuva 9: Porausreikärekisteri. Lähde: LGV Hamburg [5]



Kuva 10: Lämmönkeruuputkien määrä. Lähde: LGV Hamburg [5]



Tekninen esittely

Suunnittelu

- Alaan erikoistuneiden yritysten on asennettava maassa olevat keräysputket
- Niiden asennus ei ole mahdollista kaikkialla, käyttöä rajoittavat geologiset olosuhteet
- Porauksille on saatava hyväksyntä asianomaisilta viranomaisilta
- Jotta toiminta olisi kannattavaa, putkistojärjestelmässä pitäisi olla pienet painehäviöt
- Putkistoihin, joissa on kolme porausputkea tai enemmän, tarvitaan jakelija hydraulisia säätöjä varten
- Litteille maalämmön keräimille sopii parhaiten maks. 100 m pituinen putkisto
- Kierrossa käytettyyn lämmön väliaineeseen sekoitetaan jäähdytysnestettä, jotta se kestää kylmyyttä -15° asti.

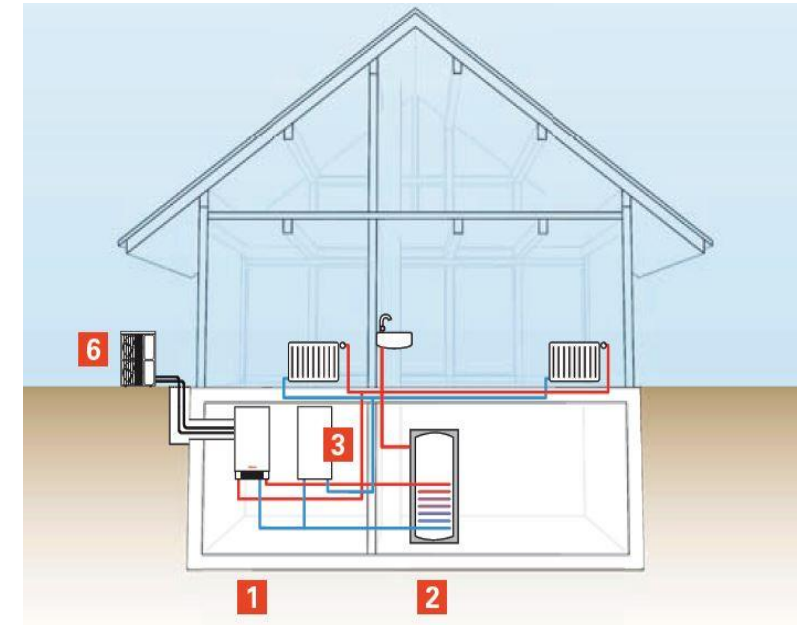
Tekninen esittely

Ilmalämpöpumppu

- Ottaa lämpöenergian ulkoilmasta ja siirtää sen rakennuksen lämmitysjärjestelmään
- Järjestelmä on altis lämpötilan vaihteluille, ilmastovyöhykkeestä riippuen
- Ilmalämpöpumppu ei ehkä riitä tuottamaan tarpeeksi lämpöä kylmällä säällä -> tarvitaan useampi lämmitysjärjestelmä



Kuva 11: Ilmalämpöpumppu (laite) Lähde: Viessmann [1]



Kuva 12: Ilmalämpöpumppujärjestelmä. Lähde: Viessmann [1]



Tekninen esittely

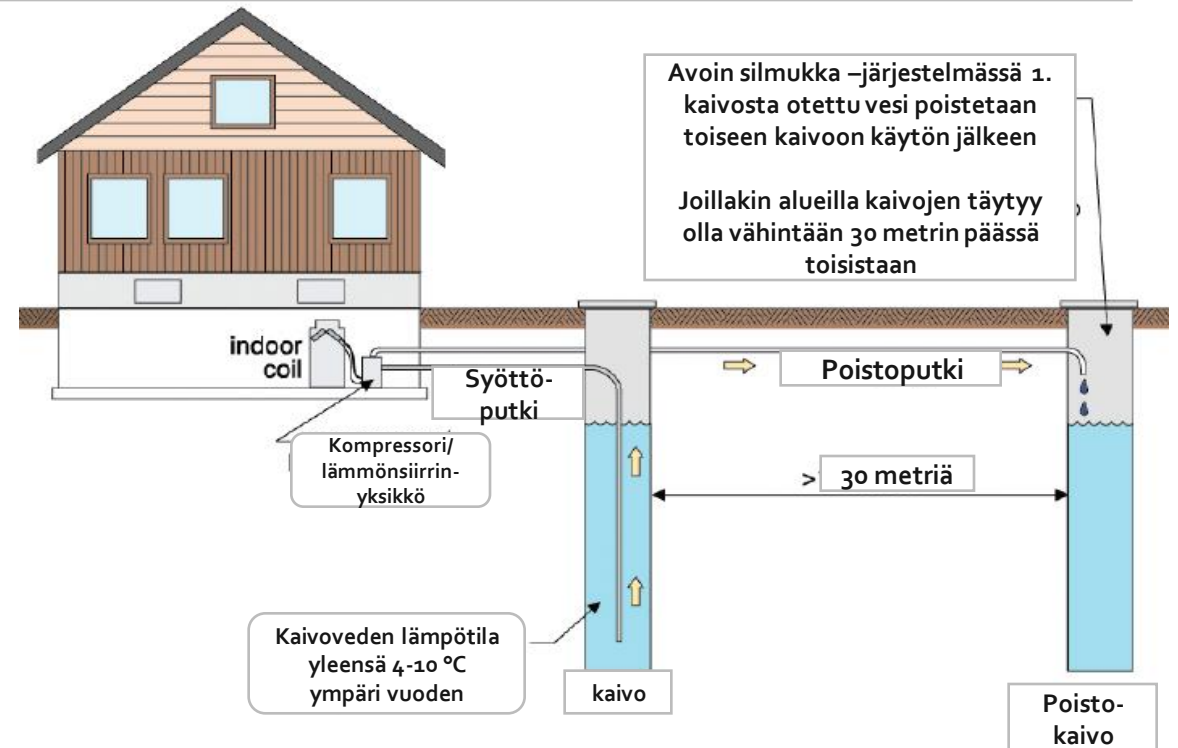
Suunnittelu

- Ilman ottamiseen tarvitaan tuulettimet
 - meluhaitta tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa
- Järjestelmässä voi olla myös säädettävä tai ei-säädettävä kompressori riippuen lämpötilatason tarpeesta ja vakaudesta
- Suurista lämpötilavaihteluista johtuen ilmalämpöpumput toimivat yleensä kaksivaiheisesti, jotta pumpun koko saadaan pidettyä pienempänä
- Järjestelmä tulisi suunnitella toimimaan ainakin -3 to -10 °C ulkolämpötilaan asti, jotta pumppu voi kattaa suuren osan lämpökuormasta

Vesi-vesi-lämpöpumppu

- Käyttää lämmönlähteenä lähellä maapintaa olevaa pohjavettä
- Vain pientä kausittaista vaihtelua – tasainen lämmöntuotanto
- Toiminta perustuu avoimeen silmukkaan ja kahden kaivon käyttöön
- Kaivon pumppu ottaa vettä n. ~20 m syvyyteen asti
- Tehokkuus riippuu pohjaveden laadusta, lämpötilasta, ja syvyydestä

Vesiperusteinen lämpöpumppu – avoin silmukka –järjestelmä (kaivopohjainen)



Kuva 13: Vesiperusteinen lämpöpumppu. Lähde: ASHI [6]



Tekninen esittely

Suunnittelu

- Pohjaveden syvyys on erityisen tärkeää lämpöpumpun taloudellisuuden kannalta
- Vesi-vesi-lämpöpumput ovat hyvä vaihtoehto, jos pohjavesikaivo on jo olemassa
- Kaivo pitää rakennuttaa alaan erikoistuneella yrityksellä ja järjestelmän käytölle pitää saada Vesilain mukainen hyväksyntä
- Lämpötilan maksimivaihtelu ei saisi olla yli 6 °C (6 K)
- Veden kemiallinen koostumus tulisi ottaa huomioon
 - Korroosion ja saostumien riski putkissa ja laitoksen komponenteissa
- Vaurioiden välttämiseksi suositellaan rustumattomasta teräksestä tehtyjä levyjä tavallisten kuparilevyjen sijaan



Tekninen esittely

Hybridilämpöpumppu

- Lämpöpumppujärjestelmä yhdistettynä toiseen ei-uusiutuvaan lämmönlähteeseen perustuvaan järjestelmään, yleensä kaasukattilaan
- Käytetään yleensä olemassa olevissa rakennuksissa, joissa on jo perinteinen lämmitysjärjestelmä
- Hallintayksikkö tarkkailee ja säätelee yksikön toimintaa ja vaihtaa järjestelmiä älykkäästi
 - Se jopa ottaa huomioon muita seikkoja, kuten verkkoenergian markkinahinnan
- Joustava ja tehokas, ei riippuvainen ulkoisista olosuhteista
- Haitta: Järjestelmä perustuu osittain fossiilisille polttoaineille
- Selvästi suuremmat CO₂-päästöt kuin muissa lämpöpumppujärjestelmissä

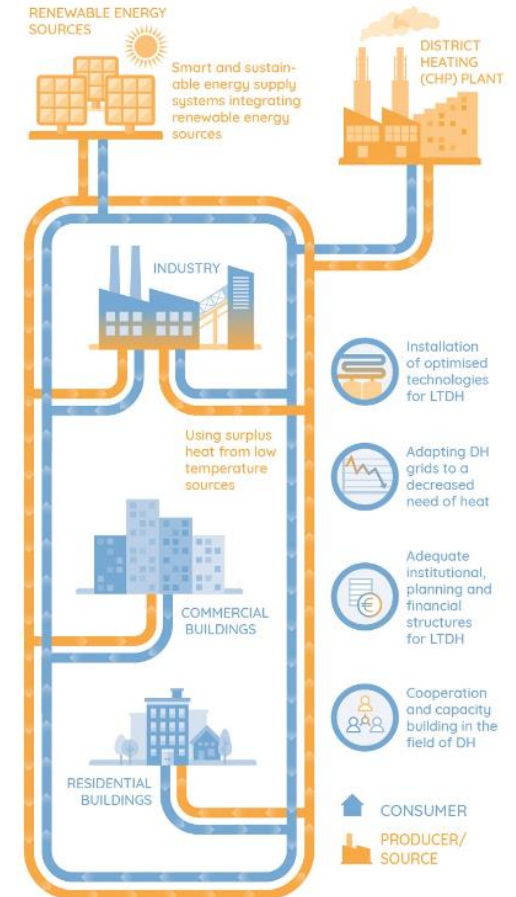
Tekninen esittely



LowTEMP2.0

Matalan lämpötilan kaukolämpöverkot

- Matalan lämpötilan kaukolämpöverkot ovat uusia lämmitysinfrastruktuureja, jotka perustuvat lämpöverkkoihin, joiden lämpötila on **20 – 95 astetta**
- Lämpöä tuotetaan ilmastonsojelukriteerit huomioiden ja pääasiassa uusiutuviin energiamuotoihin, kuten aurinkoenergiaan, teollisuuden hukkalämpöön ja lämmön varastointitekniikoihin pohjautuen



Kuva 14: LTDH (matalan lämpötilan kaukolämpö). Lähde: LowTEMP projekti [7]

Tekninen johdanto

Matalaenergiaverkostot

- Kylmät paikallislämmitysverkot toimivat matalassa **8 – 20 asteen lämpötilassa**
- Pohjavesi jaetaan asiakkaille eristämättömän matalaenergiaverkon kautta
- Sitten sitä käytetään hajautettujen lämpöpumppujen toimintaan
- Paikallisen **maalämpöpiirin** etuja:
 - Lämmönjakelussa pienempi lämpöhäviö
 - Voidaan käyttää halvempia materiaaleja
 - Voidaan kuljettaa pidempiä välimatkoja
 - Kiinnostava ratkaisu uudisrakennusalueille

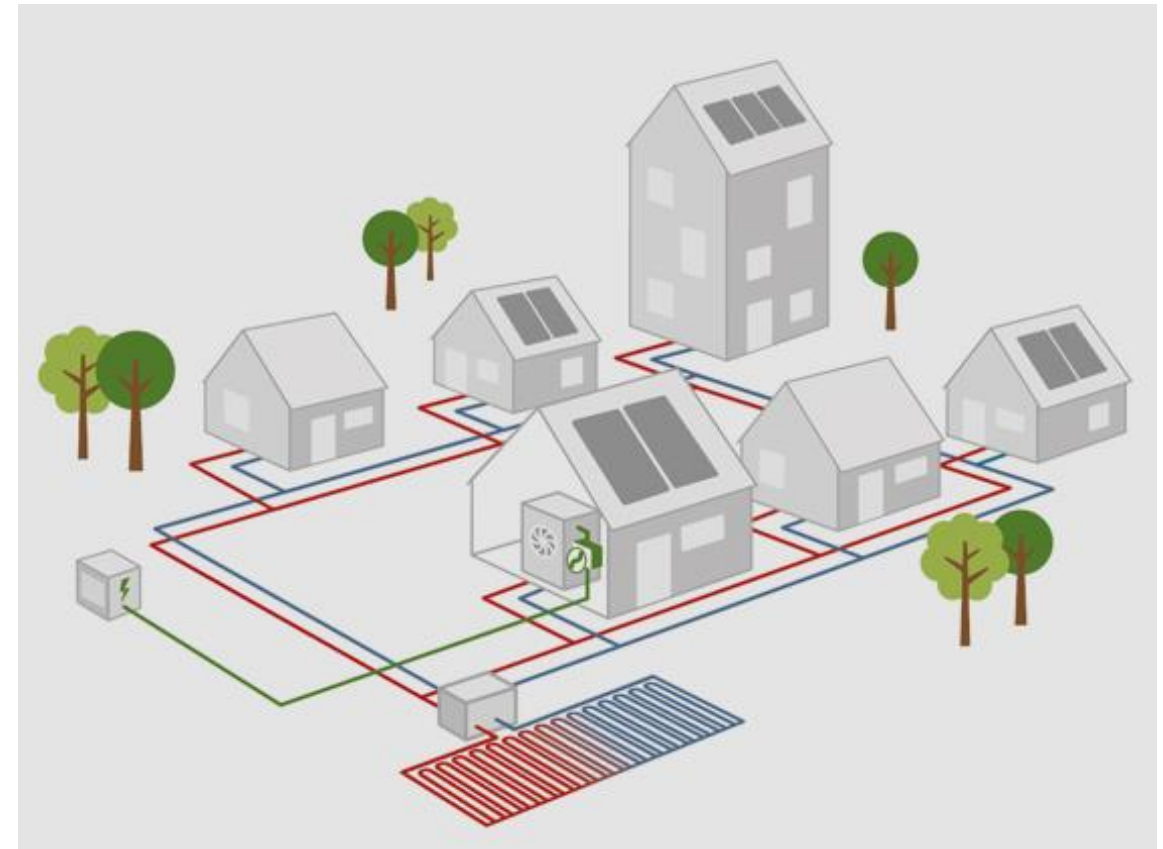


Figure 15: Cold heating network. Source: Naturstrom [8]

Tekninen esittely

Lämpöpumpun teho

Lämpöpumppujen arviointia varten niiden COP (coefficient of performance) eli **hyötysuhde** määritetään tarkoissa testiolosuhteissa ja määritellään seuraavasti DIN EN 14511 mukaisesti:

$$\text{Hyöty-suhde} = \frac{\text{Saatu lämpö}}{\text{Käytetty sähkö}}$$

- Mitä suurempi hyötysuhdeluku, sitä tehokkaampi lämpöpumppu on
- Jos lämpöpumpun COP-luku on 4, se tarkoittaa sitä, että 1kWh sähköteholla voidaan tuottaa yht. 4 kWh lämpövoimaa

Lämpöpumppu	COP
Vesiperusteinen lämpöpumppu	~ 5,0
Maalämpöperusteinen lämpöpumppu	~ 4,0
Ilmaperusteinen lämpöpumppu	~ 3,0

Tekninen esittely

Viemarilämpöpumppu lämmönsiirtimellä

- Innovatiivista tuotantotekniikkaa: kaasun absorboiva lämpöpumppu
- Viemärijärjestelmään johdetaan kuumaa vettä
- Käyttämällä jätevedestä saatavaa lämpöä, voidaan välttää 75 prosenttia hiilidioksidipäästöistä
- Käytetään sekä lämmitykseen että lämpimän veden tuotantoon
- Lauhdutuskattilat huippukuormien kattamiseen



Kuva 16: Jäteveden lämmönsiirrin.
Lähde: Hamburg Wasser [9]



Kuva 17: Vieräriputki. Lähde: Hamburg Wasser [9]



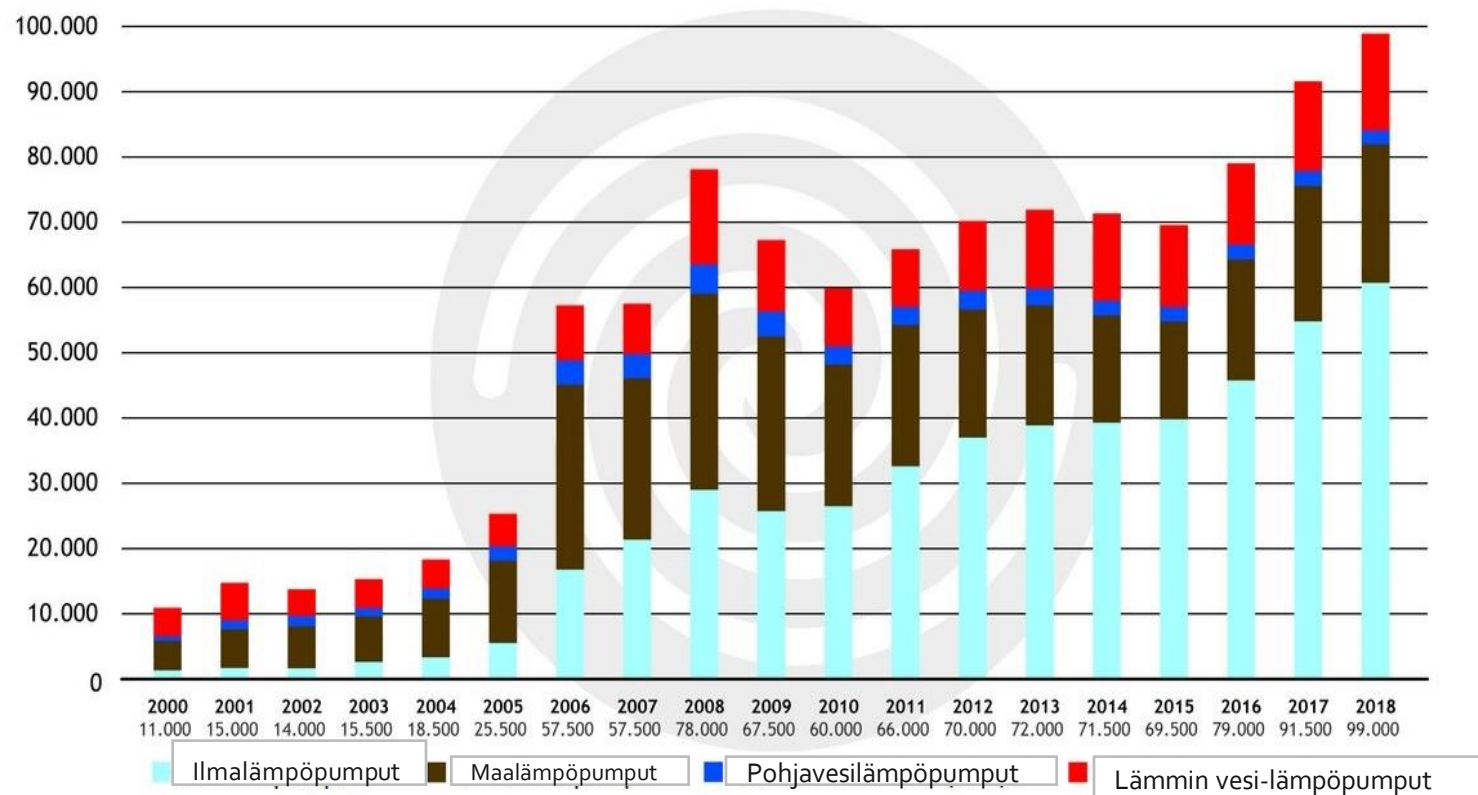
2. Toteutus

Tämänhetkinen tilanne Itämeren alueella

- Suurin osa uusista lämpöpumpuista asennetaan uusiin takennuksiin
- Lämmönlähteisiin käsiksi pääseminen edellyttää yleensä laajamittaisia kaivauksia ja arviointeja ennen rakennustöitä
- Kun suunnitellaan uutta lämpöpumppujärjestelmää, taloudellisen ja tehokkaan toiminnan takaamiseksi on tärkeää, että kaikki komponentit toimivat yhteen
- Ilma-vesi-lämpöpumput on helpompi asentaa, erityisesti rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävän kunnostuksen aikana, joten ne ovat tavallisimpia vanhoissa rajennuksissa. Tarvittaisiin energiatehokkuuden rahoitushankkeita kuoletusaikojen lyhentämiseksi

Myynnin kehitys

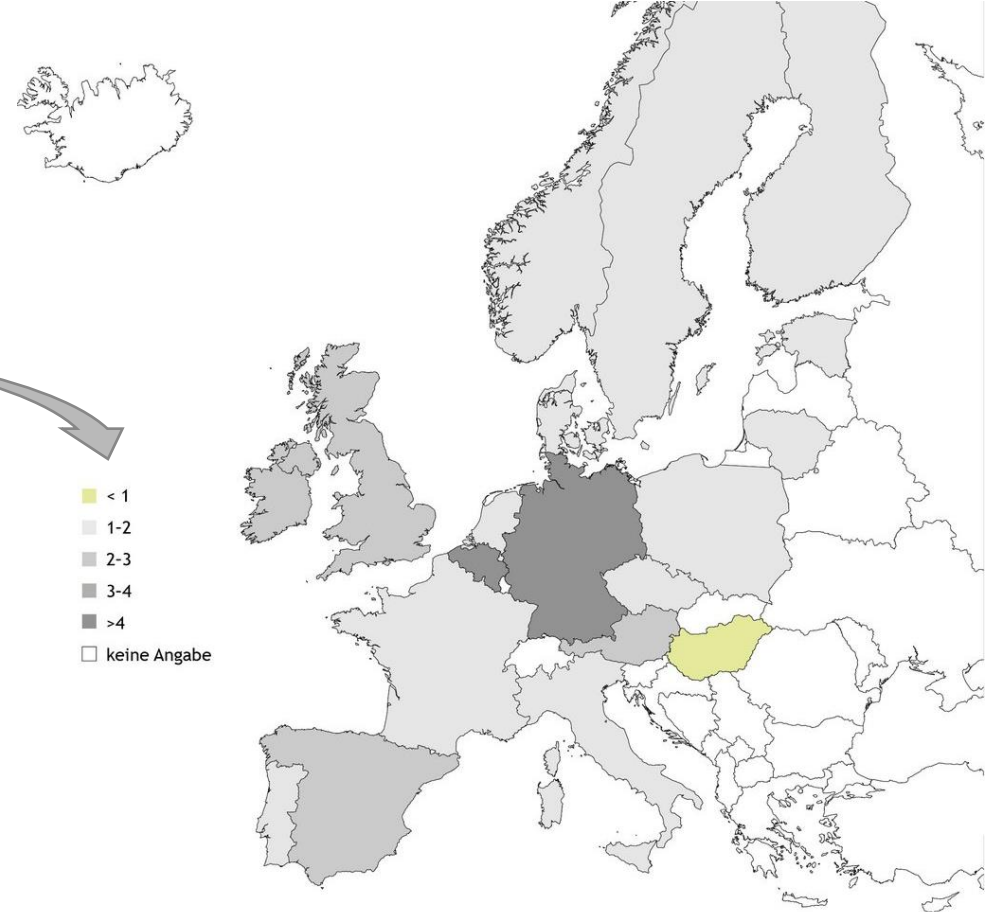
- Neljän erityyppisen lämpöpumpun myyntiluvut Saksassa vuosina 2000–2018.
- Korkein nousu tapahtui vuonna 2006, jolloin ostettiin yhteensä 32 000 lämpöpumppua lisää



Kuva 18: Lämpöpumppujen myynnin kehitys Saksassa Sales : BWP [10]

Tämänhetkinen tilanne Itämeren alueella

- Hinta-laatusuhde on sähkön hinnan ja öljyn hinnan osamäärä vastaavalle määrälle lämpöenergiaa.
- Se voi osoittaa lämpöpumpun taloudellisen toiminnan kannalta välttämättömän hyötysuhteen verrattuna fossiilisten polttoaineiden lämpötehoon (tulkinta)
- Suhde on korkea erityisesti Saksassa ja Belgiassa, mutta pienempi Pohjoismaissa, Ranskassa, Italiassa ja Portugalissa ja erityisen alhainen Unkarissa



Kuva 19: Lämpöpumpun tuottaman energian ja öljyn välinen hinta-laatusuhde. Lähde: BWP [10]

Tämänhetkinen tilanne Itämeren alueella

- Lämpöpumppujen eduista huolimatta niitä asennetaan edelleen selvästi potentiaalista kasvuvauhtia vähemmän suurissa osissa Eurooppaa
- Mutta: Lämmitys ja jäähdytys vastaavat yhdessä noin 50% Euroopan kokonaisenergiankulutuksesta, kun otetaan huomioon rakennus-, palvelu- ja teollisuussektorit
- Lämpöpumput ovat merkittävä keino saavuttaa EU:n uusiutuvan energian tavoitteet
- → Poliittinen viitekehys Itämeren alueelle:
EU:n *Uusiutuvan energian direktiivissä (RED II)* ja *energiatehokkuusdirektiivissä* lämpöpumput määritellään uusiutuvan energian tekniikaksi



3. Johtopäätökset

Lämpöpumppujen hyötyjä ja haittoja



Lämpöpumppujärjestelmien hyötyjä ja haittoja



Lyhyet kuoletusajat

Jos on saatavilla lämmönlähde, jolla on korkea lämpötilataso, ja jota voidaan hyödyntää kustannustehokkaasti, sijoitus maksaa itsensä nopeasti takaisin

Joustavuus

Eryteisesti yhdistettynä aurinkosähkö- ja varastointijärjestelmiin

Uusiutuvien energialähteiden integrointi järjestelmään → parempi ympäristötasapaino

Koska 1 kWh:lla sähköä voidaan tuottaa 4 kWh:a lämpöä

Lämmitys- ja jäähdytysominaisuus

Verrattuna perinteiseen lämmitysjärjestelmään



Melko suuret investointikustannukset

Kustannusten määrä riippuu eri tekijöistä (esim. Ympäristötekijöistä,

Korkeat maanrakennus-/kaivuukustannukset

Taloudellinen riippuvuus sähkön hinnasta

Jos lämpöpumppua ei yhdistetä aurinkosähköjärjestelmään, kustannukset riippuvat markkinoiden mukaan määräytyvästä sähkön hinnasta

Muuttuva ympäristötasapaino

Elinkaariarviointi riippuu sähkönkulutuksen määrästä ja sähkönvirran lähteestä



Viitteet

- [1] Viessmann. <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/welche-heizung/waermepumpen.html>
- [2] Natural Resources Canada. <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/energy-star-canada/about/energy-star-announcements/publications/heating-and-cooling-heat-pump/6817>
- [3] Energie Agentur NRW. https://www.waermepumpe.nrw/uploads/datapool/Dokumente/Energieagentur_NRW_Planungsleitfaden_Waermepumpen.pdf
- [4] Noventec. <https://www.noventec.de/produkte/erdwaerme/erdwaermekorb/>
- [5] LGV Hamburg. Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg. <https://geoportal-hamburg.de/geo-online/>
- [6] ASHI. American Society of home inspectors. <http://www.ashireporter.org/HomeInspection/Articles/Warming-Up-to-Heat-Pumps/15064>
- [7] LowTEMP project. <http://www.lowtemp.eu/downloads/>
- [8] Naturstrom. <https://www.naturstrom.de/kommunen/kalte-nahwaerme>
- [9] Hamburg Wasser. <https://www.hamburgwasser.de/fileadmin/hhw-privatkunden/downloads/broschueren/hamburgwasser-waerme-aus-abwasser.pdf>
- [10] BWP. Bundesverband Wärmepumpe e.V.. <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/>

ZEBAU GmbH

Centre for Energy, Construction, Architecture
and the Environment

Jan Gerbitz
Andreas Broßette
Merle Petersen

Große Elbstraße 146
22767 Hamburg
Germany

E-mail: info@zebau.de
Tel: +49 40 - 380 384 - 0
www.zebau.de