



# Ilmavesilämpöpumppujen hybridikyt- kentöjen kehittäminen

Niko Rantanen

Opinnäytetyö, AMK

05/2022

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

**Rantanen, Niko**

## **Ilmavesilämpöpumppujen hybridikytkentöjen kehittäminen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 37 sivua.

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyöllä pyrittiin kehittämään toimeksiantajalle LämpöYkkönen Oy:lle kytkentäkaaviot ilmavesilämpöpumppujen hybridijärjestelmiin. Uusilla kytkentäkaavioilla yritys pystyy kehittämään ilmavesilämpöpumppujen asennusprosessia ja helpottamaan organisaatiossa kaikkien työntekijöiden perehtymistä tekniikkiin toteutuksiin ja ilmavesilämpöpumppujärjestelmiin. Opinnäytetyön tavoitteena oli syventyä ilmavesilämpöpumppujärjestelmiin ja ratkaista hybridijärjestelmissä esiintyviä haasteita ja ongelmia.

Suomessa yleisimmin käytettyjä lämpöpumppuja ovat maa-, ilma-, ilmavesi- ja poistoilmalämpöpumput. Ilmavesilämpöpumpun toiminta perustuu ulkoilmasta saatavaan energiaan. Laite muuntaa energian lämpöpumpputekniikalla lämmitysenergiaksi ja siirtää sen rakennuksen lämmitysverkostoon. Hybridijärjestelmällä tarkoitetaan ilmavesilämpöpumppujärjestelmää, joka asennetaan osaksi rakennuksen lämmitysjärjestelmää. Hybridijärjestelmässä on kaksi lämmönlähdettä, jotka tuottavat lämmitysenergiaa lämmitysverkostoon. Täysjärjestelmässä ilmavesilämpöpumppu asennetaan rakennuksen ainoaksi päälämmönlähteeksi ja vanha lämmönlähde puretaan kokonaan pois. Hybridijärjestelmän etuina ovat alhaisempi investointihinta verrattuna täysjärjestelmään, laitteiston pidempi elinkaari ja nopeampi asennusprosessi. Hybridikytkentöjen haasteina ovat lämmitysverkoston riittävä lämmitysveden kierto, verkoston vesitilavuus sekä järjestelmän teknisen toimivuuden varmistaminen.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi 7 kappaletta kytkentäkaavioita, joiden avulla yritys pystyy kehittämään ilmavesilämpöpumppujen prosessia myyntihetkestä asennukseen ja huoltotoimiin. Kytkentäkaaviot luotiin AutoCAD Plant 3D ohjelmistolla. Kytkentäkaavioiden luontiin parempi työkalu olisi ollut esimerkiksi MagiCAD ohjelmisto. Opinnäytetyön tulokset ratkaisivat esitettyjä ongelmia ja ne siirtyvät yrityksen käyttöön. Kehitetyt ratkaisut ovat esitetty liitetiedostoissa 1,2,3,4,5,6 ja 7.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Ilmavesilämpöpumppu, hybridijärjestelmä, lämmitysjärjestelmä, kytkentäkaavio

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Liitteet 1,2,3,4,5,6 ja 7 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on yksityisen, valtion, kunnan tai muun julkisyhteisön, yhteisön, laitoksen tai säätiön liike- tai ammattisalaisuudet (JulkL 24§, 17 ja 20.) Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta, salassapito päättyy 1.7.2032.

**Rantanen, Niko**

### **Development of air-water heat pumps' hybrid system**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences. May 2022, 37 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

Thesis aimed to develop plugging charts for hybrid systems of air-water heat pumps to the client Lämpöykkönen Oy. With new plugging charts the enterprise is able to develop air-water heat pumps installation process and facilitate organization's all employees to familiarize oneself with technical solutions and air-water heat pump systems. Aim of the thesis was to get absorbed in air-water heat pump systems and solve challenges and problems appearing in hybrid systems.

In Finland the most preferred heat pumps are ground source-, air source-, air-water heat pump and pump using exhaust air. Functioning of air-water heat pump is based on energy received from outside air. Device converts energy into thermal energy with heat pump technology and then transfers it to building's radiator or floor heating. Hybrid system means air-water heat pump system, which is installed to be a part of building's heating system. Hybrid system contains two heat sources that produce thermal energy to heating system. Full system means that air-water heat pump is installed for building's only main heat source and the old heat source will be taken down. Hybrid system's benefits are lower investment costs compared to full system, longer life cycle of the devices and faster installation. Challenges in hybrid systems are sufficient heating water flow, heating system's water volume and ensuring the technical performance of the system.

Outcome of the thesis was 7 pieces of plugging charts that enable the enterprise to develop air-water heat pumps process from sales to installation and maintenance. Plugging charts were made with AutoCAD Plant 3D software. Better tool to create plugging charts would have been for example MagiCAD software. Outcomes of the thesis solved indicated problems and they are given to the use of the enterprise. Solutions are presented in appendices 1,2,3,4,5,6 and 7.

### **Keywords/tags (subjects)**

Air-water heat pump, hybrid system, heating system, plugging charts

### **Miscellaneous (Confidential information)**

Appendices 1,2,3,4,5,6 and 7 are confidential and removed from the public thesis. The basis for secrecy is section 24(17 and 20) of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999), a company's business or trade secret. The period of secrecy is ten (10) years, the secrecy will end on 1 July 2032.

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>6</b>
1.1	Haasteet ja tavoitteet.....	7
1.2	Rajaukset ja aineisto.....	8
1.3	Tutkimusasetelma, luotettavuus ja eettisyys .....	9
<b>2</b>	<b>Lämpöpumppumarkkinat.....</b>	<b>10</b>
2.1	Lämpöpumppumarkkinat Suomessa.....	10
2.2	Tulevaisuuden markkinanäkymät .....	11
<b>3</b>	<b>Lämpöpumpputeknologia .....</b>	<b>13</b>
3.1	Lämpöpumppu .....	13
3.2	Lämpökerroin .....	14
3.2.1	Lämpökertoimen laskenta .....	14
3.3	Lämpöpumpun toimintaperiaate.....	15
3.4	Ilmavesilämpöpumppu.....	18
<b>4</b>	<b>Lämmitysjärjestelmät .....</b>	<b>21</b>
4.1	Puulämmitys.....	22
4.2	Öljylämmitys.....	23
4.3	Sähkölämmitys .....	24
4.4	Lämmitysverkosto .....	25
<b>5</b>	<b>Lämpöpumppujärjestelmät.....</b>	<b>27</b>
5.1	Hybridijärjestelmä .....	27
5.2	Täysjärjestelmä .....	31
<b>6</b>	<b>Pohdinta ja johtopäätökset.....</b>	<b>33</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>35</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>37</b>
	Liite 1. Öljyhybridikytkentä (salassa pidettävä) .....	37
	Liite 2. Sähköhybridikytkentä (salassa pidettävä).....	37
	Liite 3. Puuhybridikytkentä massavaraajalla (salassa pidettävä).....	37
	Liite 4. Hybridikytkentä – kattila puskurivaraajana (salassa pidettävä) .....	37
	Liite 5. Hybridikytkentä sähkökattilan rinnalle (salassa pidettävä) .....	37
	Liite 6. Täysjärjestelmä erillisellä käyttövesivaraajalla (salassa pidettävä) .....	37
	Liite 7. Täysjärjestelmä (salassa pidettävä).....	37

**Kuviot**

Kuvio 1. Lämpöpumppujen kasvu Suomessa.....	11
Kuvio 2. Euroopan lämpöpumppumarkkina .....	12
Kuvio 3. Havainnekuva lämpöpumpun toiminnasta.....	13
Kuvio 4. Puristusvaihe .....	16
Kuvio 5. Lauhtuminen .....	16
Kuvio 6. Paisuntavaihe .....	17
Kuvio 7. Höyrystyminen .....	18
Kuvio 8. Ilmavesilämpöpumpun sisäyksikkö.....	20
Kuvio 9. Ilmavesilämpöpumpun ulkoyksikkö.....	21
Kuvio 10. Havainnekuva puukattilakytkennästä.....	23
Kuvio 11. Havainnekuva öljykattilakytkennästä .....	24
Kuvio 12. Havainnekuva sähkökattilakytkennästä.....	25
Kuvio 13. Havainnekuva lattialämmitysjakotukista .....	27
Kuvio 14. Havainnekuva hybridijärjestelmästä.....	28
Kuvio 15. Säätekäyrien havainnekuva .....	30
Kuvio 16. Havainnekuva täysjärjestelmästä .....	32

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantaja LämpöYkkönen Oy haluaa yhdistää ja yhtenäistää yrityksen kokonaisprosessia ilma-vesilämpöpumppujen myyntihetkestä asennusvaiheeseen – ja tulevaisuuden huoltovarmuuteen sekä -toimenpiteisiin. Millaisia nämä yhtenäistämistarpeet ja ajatukset ovat ja miten niitä kehitettiin? Tämän insinöörityön tavoitteena oli suunnitella ja luoda lämpöpumppujärjestelmiä hyödyntämällä uudet ja yhtenäiset ilma-vesilämpöpumppujärjestelmien kytkentäkaaviot yrityksen käyttöön. Työ painottui omakotitalojen lämmitysjärjestelmien uusimiseen tai päivittämiseen lämpöpumpputeknologiaa hyödyntämällä. Työssä käsitellään ilma-vesilämpöpumppujen hybridikytkentöjen haasteita ja kehitetään niihin ratkaisuja. Lämpöpumppu voidaan asentaa kohteeseen hybridikytkennöillä, jolloin vanhaa järjestelmää hyödynnetään rinnakkaislämmönlähteenä yhdessä lämpöpumpun kanssa. Täysjärjestelmäkytkennöissä lämpöpumppu hoitaa rakennuksen lämmitysenergiatarpeen kokonaisuudessaan, hyödyntäen laitteeseen integroitua sähkövastusta silloin, kun lämmitysenergiatarve on suurimmillaan. Työssä perehdyttiin lämpöpumppujen tämänhetkiseen markkinatilanteeseen ja asennusmääriin Suomessa sekä sivuttiin hieman Euroopan ja koko maailman asennus- ja myyntimääriä. Lämpöpumppujen kysyntä on entisestään kasvussa niiden omavaraisen lämmitysenergian tuoton ja energiatehokkuuden ansiota. Myös ilmastonmuutokseen liittyvät huolet kiihdyttävät uusiutuvan energian markkinoita. Samaan aikaan komponenttipula heikentää valmistajien tuotantoa ja valmistusta, mikä luo saatavuushaasteita ympäri Eurooppaa. Työssä luodut kytkentäkaaviot ovat yritykselle teknisesti soveltuvia ja palvelevat yrityksen tapoja ja linjaa lämpöpumppukytkennöissä. Tämän kehittämistyön tavoitteena on saada aikaan tuotokset, jotka tukevat ja kehittävät yrityksen myynti-, asennus- ja huolto-prosessia sekä parantavat yrityksen sisäistä viestintää.

Työssä tutustuttiin tarkemmin sanallisesti sekä havainnekuvin keskuslämmityskattiloiden kytkentätapoihin. Suomessa on yleisesti käytetty lämmitysmuotona vesikiertoista keskuslämmitystä, jossa kaukolämmöllä, puu-, öljy- tai sähkökattilalla tuotettu lämminvesi kiertää putkistoa pitkin radiaattoreille tai lattialämmitysputkistoon, luovuttaen lämmön rakennukseen. Lämpöpumppujärjestelmät, joista kytkentäkaaviot suunniteltiin ja luotiin, asennetaan aina olemassa olevan lämmitysjärjestelmän rinnalle tai kokonaan uutena täysjärjestelmänä, jolloin vanha lämmitysjärjestelmä puretaan pois. Asiakas tekee aina ostopäätöksen laitteistosta – toteutus ja asennus perustuvat asiakkaan ostopäätökseen sen mukaisesti, mitä asiakas laitteistolta haluaa. Osalla kuluttajista ostopä-

rusteena voi olla kustannusten säästäminen, toisilla taas energiatehokkuus ja päästöjen vähentäminen. Esimerkiksi vanhaan rintamamiestaloon ei voida soveltaa tiettyä laitteistoa ahtaiden tilojen vuoksi. KytKentäkaavioilla yritys pystyy hyödyntämään eri laitteistovaihtoehtoja kuluttajan vaatimien tarpeiden ja teknisten soveltuvuuksien pohjalle. Työn toteutuksena luotiin 7 kappaletta kytKentäkaavioita. KytKentäkaaviot suunniteltiin ja toteutettiin siten, että laitteiston toiminta ja lämmitysenergian saanti pystytään varmistamaan. Täys- ja hybridijärjestelmien eroavaisuutta ja toimintaa kerrottiin ja selvitettiin havainnekuvin.

KytKentäkaaviot tulevat saataville toimeksiantajan niille työntekijöille, jotka kaavioita eri prosessin vaiheissa tarvitsevat. Myyjä yhdessä asiakkaan kanssa valitsee asiakkaan ostoperusteihin parhaiten soveltuvan lämpöpumppuratkaisun, jolloin kytKentäkaavio automaattisesti valikoituu kohteen tiedoille. Tarkoituksena oli myös kehittää kytKentäkaavioilla yrityksen sisäistä viestintää, sillä yrityksen tarjoamat ratkaisut perustuvat aina asiakkaan tarpeisiin ja ostopäätökseen, jolloin kohteelle valikoitunut kytKentäkaavio säilyy koko prosessin ajan myynnin, asennuksen, työnjohdon ja huollon saatavilla. Toki yrityksessä jokainen kohde tarkastetaan erikseen aina työnjohtajan toimesta, sillä poikkeustapoja lämmitysjärjestelmien kytKentöjen osalta löytyy - näihin ei valmista kaavaa voida sovittaa. KytKentäkaavioilla yritys pystyy myös leikkaamaan hankintakuluja, sillä komponentteja voidaan ostaa enemmän suoraan sen mukaan, millä kaaviolla kohteita myydään. Tehokkuus ja kohteiden läpimeno paranevat, sillä kohteet voidaan viedä läpi tehokkaammin. Energiatehokas uusiutuvaa energiaa käyttävä lämpöpumppu on kuluttajan suurin ilmastoteko, kun lämmitysjärjestelmä päivitetään vanhan fossiilista polttoainetta käyttävän järjestelmän rinnalle tai tilalle.

## **1.1 Haasteet ja tavoitteet**

Tämän kehittämistyön tavoitteena oli suunnitella ja luoda kytKentäkaaviot ilmavesilämpöpumppujärjestelmien kytkemisestä osaksi rakennuksen lämmitysenergiantuotantoa. Yritys tarvitsee teknisesti toimivat kytKentäkaaviot, joita voidaan soveltaa ilmavesilämpöpumppujen hybridi- sekä täysjärjestelmä asennuksiin. Kyseessä voi olla järjestelmä, joka on ostettu tuottamaan asiakkaalle energia- ja kustannussäästöä, jolloin järjestelmä on kytketty osaksi asiakkaan vanhaa lämmitysjärjestelmää hybridikytkennöin. Toisessa tapauksessa asiakkaan tekniseen tilaan ei voida korkeuden puolesta asentaa ilmavesilämpöpumppua, jossa on integroitu lämpimän käyttöveden varaaja.

Vaihtoehtoja järjestelmille tai kytkemistavoille on useita, mutta kehitetyillä kaavioilla yrityksen toimintamallia ja toteutustapaa pystytään parantamaan. Tavoitteena on löytää kytkentäperusteiden avulla ratkaisuja ilmavesilämpöpumppujen yleisimpiin haasteisiin. Yleisimpiä haasteita järjestelmissä ovat virtaushäiriöt, riittävä vesitilavuus lämmitysverkostossa ja hybridijärjestelmässä järjestelmän toiminnan varmistaminen. Kehitetyillä kytkentäkaavioilla pyrittiin luomaan ratkaisut kyseisiin haasteisiin ilman, että puskurivaraajaa asennetaan osaksi lämmitysjärjestelmää.

Poikkeuskohteissa puskurivaraajaa toki voidaan tarvita.

Yritykset eivät lähtökohtaisesti tarjoa hybridijärjestelmää päävaihtoehtona, kun asiakas haluaa päivittää lämmitysjärjestelmän uuteen. Hybridikytkentöjen haasteeksi muodostuu asiakkaan varmuus järjestelmän toiminnasta - voidaanko vanha, mutta toimiva lämmitysjärjestelmä vielä jättää osaksi rakennuksen lämmittämistä? Oikeilla kytkentävaihtoehdoilla ja ratkaisuilla, asiakkaalle voidaan tarjota hybridijärjestelmää, joka on edullisempi investointi kuluiltaan kuin täysjärjestelmä. Ekologisesti hybridijärjestelmä on hyvä vaihtoehto, sillä vanhalle järjestelmälle saadaan lisää elinkaarta. Myös ilmavesilämpöpumpun elinkaari hybridijärjestelmän ansiosta pitenee, sillä hybridijärjestelmässä lämpöpumpun ei tarvitse tuottaa energiaa yhtä paljon kuin täysjärjestelmässä. Hybridijärjestelmän haasteena ovat riittävä vesitilavuus lämmitysverkostossa, virtaushäiriöt sekä ääniongelmät. Suunnittelun haasteena on saada kytkentäkaavioista teknisesti toimivat ja käytännölliset sekä kustannustehokkaat ratkaisut. Komponentit ja säätöventtiilit on suunniteltava asennettaviksi oikeisiin paikkoihin, jotta laitteisto ja lämmitysverkoston toiminta voidaan varmistaa.

## 1.2 Rajaukset ja aineisto

Aihepiiri kytkentäkaavioiden suunnittelussa ja kehittämisessä rajautui ilmavesilämpöpumppujen täys- ja hybridikytkentöihin. Kytkentäperusteita, komponentteja, mitoituksia tai tarkempia ominaisuuksia ei työssä käsitelty, sillä niillä on toimeksiantajan salassapitovelvoite. Työssä ei myöskään käyty läpi tarkemmin ilmavesilämpöpumpun säätöperusteita tai parametrimuutoksia. Työssä käsiteltiin yleisesti lämpöpumppumarkkinoita Suomessa ja sivuttiin hieman maailman tilannetta ja tulevaisuuden näkymää. Opinnäytetyössä käsiteltiin myös lämpöpumpputeknologiaa ja tutustuttiin tarkemmin ilmavesilämpöpumpun toimintaan sekä Suomessa omakotitaloissa käytettäviin vesikiertosiin lämmitysjärjestelmiin ja päälämmönlähteisiin. Lämmitysjärjestelmistä työssä ei käsitelty lainkaan kaukolämpö kohteita, vaan tarkastelussa ovat öljy-, puu- ja sähkölämmityskattilat sekä rakennuksen lämmitysverkosto. Kaukolämmöllä lämpeneviin omakotitaloihin ei sovelleta yrityksen

toimesta hybridiratkaisuja. Aihealueen teoriaa on tutkittu osaksi tietoperustaa. Työhön kerättiin aineistoa vanhojen kytkentöjen ja asennusten pohjalta, haastatteluista, kirjallisuudesta, artikkeleista sekä tilastoista. Työn kirjoittajalla on laajasti työkokemusta alalta ja tätä pystyttiin työssä hyödyntämään runsaasti sekä tietoperustan että kytkentäkaavioiden suunnittelun osalta.

### 1.3 Tutkimusasetelma, luotettavuus ja eettisyys

Tämä insinöörityö on toteutettu kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimus on monialainen tutkimusmenetelmä, jolla ei ole tiettyä yksiselitteistä määritelmää. Kehittämistyössä haetaan tiettyjä tuloksia, joihin päästään kehittämis- ja tutkimustyöosuusien kautta. Kehittämistyön kohteena voi olla palvelu, prosessi tai ideoitu tuote. Tämän kehittämistyön tuloksena syntyy opinnäytetyö. (Kananen 2012, 45.) Opinnäytetyön tärkeimmät tutkimuskysymykset pohjautuvat suunnitelmiin ja toteutuksiin ilmavesilämpöpumppujen hybridikytkennöissä.

Opinnäytetyön keskeisimmät tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten hybridikytkennöissä varmistetaan riittävä virtaus lämmitysverkostossa?
2. Kuinka hybridijärjestelmästä saadaan teknisesti toimiva ratkaisu asiakkaan ostoperusteeseen nähden?
3. Miten hybridikytkennät tulee toteuttaa, jotta järjestelmä toimii ilman puskurivaraajaa?

Vastauksia haettiin teknisesti toimiviin ja suunniteltuihin kytkentätapoihin, jolla yrityksen ilmavesilämpöpumppujen kokonaisprosessia pystytään parantamaan. Tietoperusta ja tekniset ratkaisut kytkentäkaavioihin kerättiin haastatteluiden, kirjallisuuden ja artikkeleiden pohjalta. Yrityksen asennuslinjaa ja teknistä tietoa kerättiin vanhojen kohteiden tiedoista ja tämän hetken asennus- ja huoltokentältä. Luotettavuudeltaan työn tietoperusta on lähteiden, aineistojen ja haastatteluiden perusteella luotettavaa, mutta osaan saatavasta tiedosta ei löytynyt alkuperäistä lähdettä tai lähteen kriittisyys herättää kysymyksiä. Opinnäytetyö on tehty ja toteutettu Jyväskylän ammattikorkeakoulun eettisyyttä noudattamalla. Ratkaisut haasteisiin ja tutkimuskysymyksiin esitetään kytkentäkaavioissa, joilla on yrityksen salassapitovelvoite.

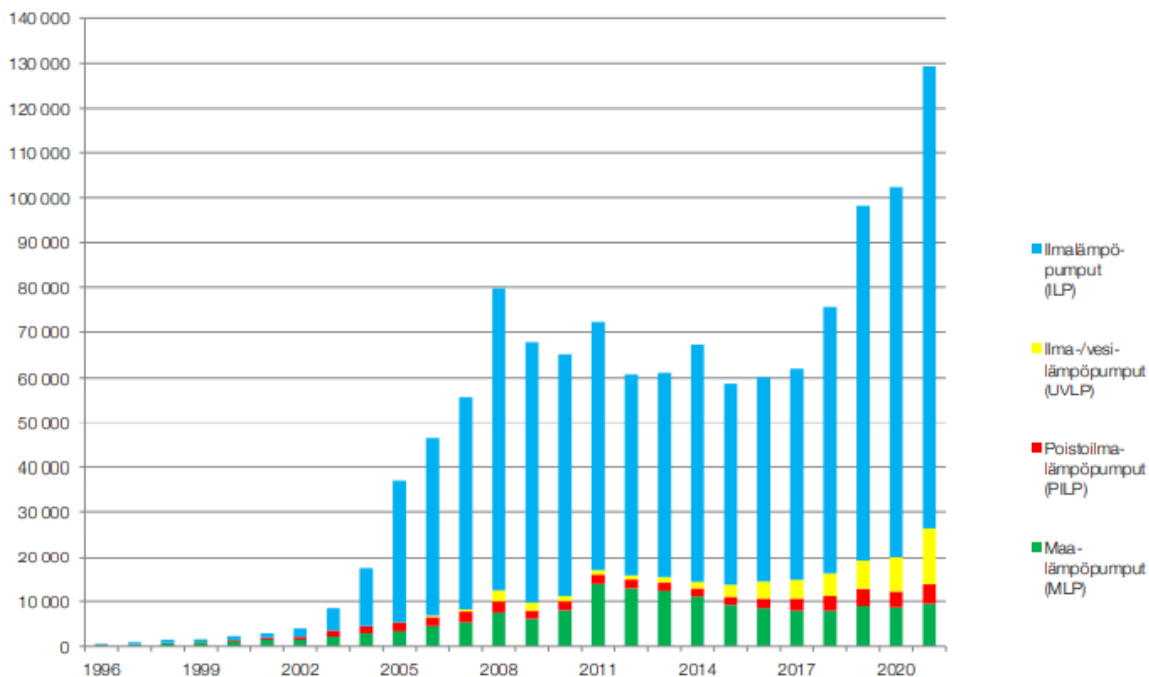
## 2 Lämpöpumppumarkkinat

### 2.1 Lämpöpumppumarkkinat Suomessa

Suomessa merkittävä osa hiilidioksidipäästöistä syntyy fossiilisten polttoaineiden palamisesta, jolla tuotetaan lämmitysenergiaa kiinteistöjen lämmittämiseen. Suomessa poltetaan entistä enemmän biopolttoaineita lämmitysenergian tuotannossa, mutta fossiilisia polttoaineita on pystyttävä vähentämään lämmitysenergian tuotannossa ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja pysäyttämiseksi. Kuluttaja voi osaltaan vähentää päästöjä vaihtamalla fossiilisen polttoaineen lämmitysenergianlähteen uusiutuvaa energiaa käyttävään lämpöpumppuun. Muutos on merkittävä ilmasto- teko kuluttajatasolla. Lämmitysjärjestelmän vaihdossa fossiilisesta polttoaineesta lämpöpumppuun, puhutaan tietynlaisesta lämmityksen sähköistymisestä. (Lämmitys sähköistyy 2022.) Suomessa lämmityksen sähköistymisellä katetaan huomattava osa kiinteistöjen lämmöntarpeesta, sillä 15 % lämmitysenergiasta tuotetaan jo lämpöpumpuilla (Kiinteistöjen energiatehokkuus 2020 – trendit, uhkat ja mahdollisuudet n.d). Investointien kasvun ja kannattavuuden takia, lämpöpumppumarkkinoiden kehitys ja kysyntä ovat korkealla tasolla tällä hetkellä. Lämpöpumppumarkkina kasvoikin vuonna 2021 yli 25 prosenttia (Alkuvuoden lämpöpumppumyynnissä ennätysellinen 90 % kasvu 2022). Kasvu koski kaikkia lämpöpumppuja yhteensä, mukaan lukien maalämpö-, ilmavesilämpö-, poistoilmalämpö- ja ilmalämpöpumppuja. Suomen Lämpöpumppuyhdistyksen mukaan vuonna 2021 asennettiin noin 130 000 lämpöpumppua ympäri Suomen, rahaa investointeihin käytettiin jopa 800 miljoonaa. Eniten lämpöpumppuja asennettiin pien- ja kerrostaloihin. Suomen lämpöpumppujen lukumäärä nousi jo hieman yli 1,2 miljoonan kappaleen vuonna 2021. Näiden kokonaisinvestointien määrä on lähes 7 miljardia euroa. (Lämmitys sähköistyy 2022.)

Suurimman kasvun suhteessa muihin vuonna 2021 saavutti ilmavesilämpöpumppujen määrä. Kasvua aiempaan vuoteen tuli yli 50 %. 2021 vuonna ilmavesilämpöpumppuja myytiin yli 12 000 kappaletta. (Ks. kuvio 1.) Suureen kysyntään osittain vastauksena oli valtion vaihtotuki, joka myönnettiin kuluttajan luovuttua öljylämmityksestä ja vaihtaen lämmitysjärjestelmän uusiutuvan energian lähteeseen tai kaukolämpöön. Avustuksen määrä vaihdettaessa fossiilisen polttoaineen lähde maalämpöpumppuun tai ilmavesilämpöpumppuun on 4000 €. Summaa voidaan pitää merkittävänä helpotuksena investointiin, sillä esimerkiksi ilmavesilämpöpumpun vaihtotyö maksaa kuluttajalle keskimäärin 13 000 € - 18 000 €, jolloin avustuksen osuus on 20–40 % kokonaisinvestoinnista.

Maalämpöpumppujen kysyntä on myös kasvussa, investointien euromäärinen nousu on lähes 20 % luokkaa edellisvuoteen nähden. Poistoilmalämpöpumppujen asennus tapahtuu pääasiassa pieniin uudiskohteisiin, mutta sen markkinaosuus kasvoi silti 20 % edelliseen vuoteen nähden. Vuonna 2021 ilmalämpöpumppujen asennusmäärä kohosi yli 100 000 kappaleen. (Ks. kuvio 1.) Lisääntyneen jäädytyksen tarve etenkin kerrostaloissa ja taloyhtiöissä kasvatti määrää huomattavasti. Taloyhtiöiden osuus asennetuista pumpuista vuonna 2021 olikin noin 15 % kokonaismäärästä. Pääkohteet ilmalämpöpumpuille ovat kuitenkin edelleen vapaa-ajan asuntojen sekä sähkölämmitteisten kiinteistöjen ja asuntojen lämmitys. Suomessa on investoitu lämpöpumppuihin yli 6 miljardia euroa ja investoinnit kasvavat vuosittain yli 600 miljoonalla eurolla. Tällä hetkellä lämpöpumpuilla tuotetaan Suomessa 12–13 TWh/a, mikä on 15 % asuntojen lämmitysenergian tarpeesta. Energiantuoton kasvua vuosittain lämpöpumpuilla tapahtuu noin 1 TWh/a. (Lämmitys sähköistyy 2022.)



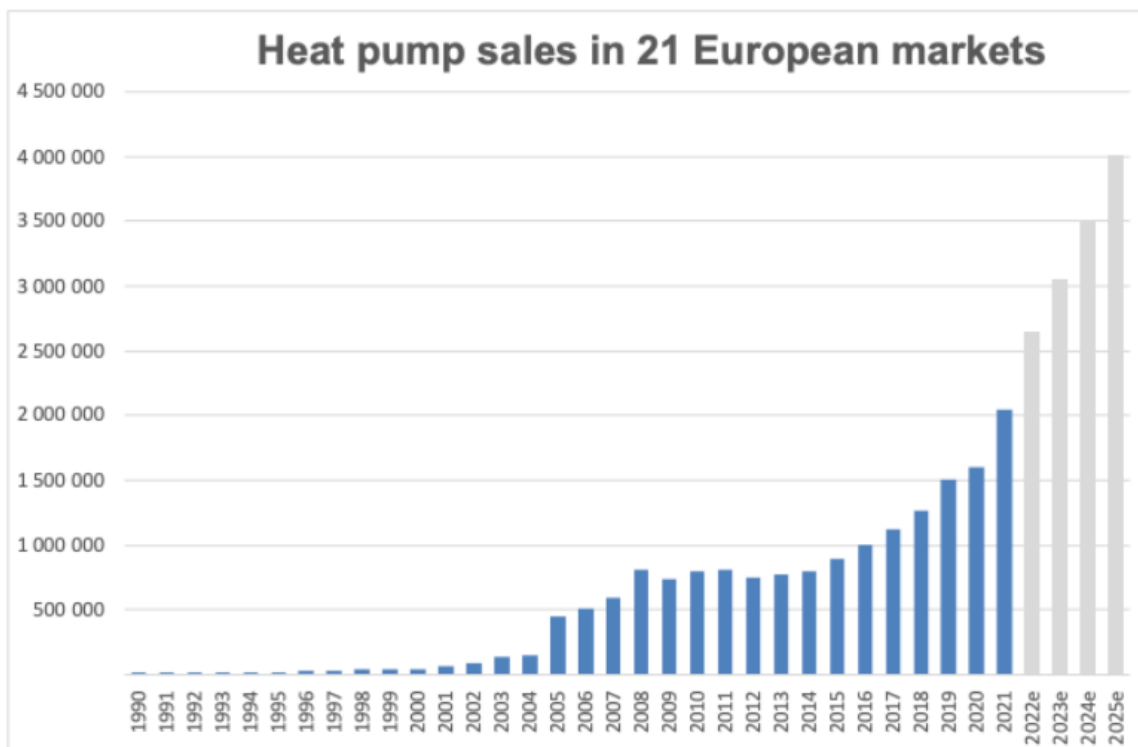
Kuvio 1. Lämpöpumppujen kasvu Suomessa (Myydyt lämpöpumput vuosittain 2021)

## 2.2 Tulevaisuuden markkinanäkymät

Lämpöpumppuala on tällä hetkellä kokonaisuudessaan suuressa kasvussa ja suosiossa. Kumulatiiviseen kasvuun suhteutettuna nykyisellä vuosikymmenellä lämpöpumppuihin investoidaan jopa 10

miljardia euroa. Investointien ansioista vuoteen 2030 mennessä lämpöpumppujen energiantuotto on Suomessa ennustettu olevan 30TWh/a, mikä tarkoittaa Suomen rakennusten lämmityksestä 30 % osuutta. Kappalemääränä lämpöpumppuja on ennustettu olevan yli 2 miljoonaa vuoteen 2030 mennessä. (Lämmitys sähköistyä 2022.)

Euroopassa on tarkoitus kolminkertaistaa lämpöpumppukanta vuoteen 2030 mennessä. Jo tulevien vuosien aikana kasvua ennustetaan tapahtuvan huomattavasti. (ks. Kuvio 2.) Tämä kehitys on osa EU:n FIT55-ilmastopakettia. Paketin tarkoituksena on vähentää EU:n kasvihuonepäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä (EU:n Fit for 55-ilmastopaketti tiukentaisi uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden tavoitteita 2021). Nykyinen lämpöpumppumäärä käsittää noin 15 miljoonaa laitetta, joilla on saavutettu merkittävä askel kohti tulevaisuuden vähäpäästöistä maailmaa. Tavoitteisiin päästessä lämmityksen sähköistymisen osalta, lämpöpumppujen määrä Euroopassa ylittää 50 miljoonan pumpun rajan. Koko maailmassa, lämpöpumppuja arvioidaan olevan 1,8 miljardia kappaletta, kertoo kansainvälinen energiajärjestö IEA. (Lämmitys sähköistyä 2022.)

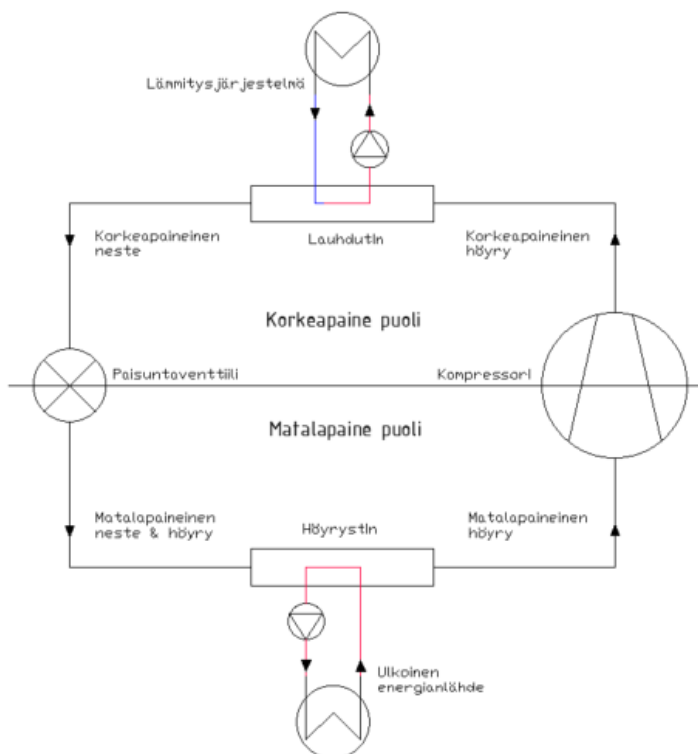


Kuvio 2. Euroopan lämpöpumppumarkkina (Eurooppaan tänä vuonna 2 miljoonaa lämpöpumppua, joista reilut 100 000 Suomeen 2021)

### 3 Lämpöpumpputeknologia

#### 3.1 Lämpöpumppu

Lämpöpumpuilla voidaan hyödyntää ulkoisesta lämmönlähteestä saatavaa energiaa, joka lämpöpumpputekniikalla muunnetaan lämmitysenergiaksi. Lämmitysenergialla lämmitetään rakennuksia osa- tai täytimehoisesti. Ulkoisia lämmönlähteitä ovat maaperä, vesistö, ulkoilma tai prosessista saatava lämpöenergia. Lämpöpumppu voidaan asentaa rakennuksen päälämmönlähteeksi tai tukemaan talossa jo olevaa lämmitysjärjestelmää tai lämmitysmuotoja. Lämpöpumpun toiminta perustuu suljettuun kiertoprosessiin, jossa laitteessa kiertävässä putkistossa kiertää väliaine, joka siirtää lämmitysenergiaa yksiköiden välillä. (Ks. kuvio 3.) Toiminta vaatii kaksi lämpöenergiavarastoa, korkealämpöisen- ja matalalämpöisen energiavaraston. Kompressorin ja apulaitteet tarvitsevat toimiakseen sähköenergiaa, jolla lämpöenergiaa tuotetaan ja siirretään ulkoisesta lähteestä rakennuksen lämmittämiseen. Kun laitteella on tarkoitus lämmittää, laitetta kutsutaan lämpöpumpuksi. Mikäli laite on suunniteltu pelkästään viilentämään (esim. jääkaappi), konetta kutsutaan kylmäkoneeksi. Yleisimpiä lämpöpumppuja ovat ilma-, maa-, ilmavesi- sekä poistoilmalämpöpumput. (Lämpöpumput 2020.)



Kuvio 3. Havainnekuva lämpöpumpun toiminnasta

Väli- eli kylmäaineena järjestelmässä käytetään yleisimmin HFC-aineita, jotka sisältävät hiiltä (H), fluoria (C) ja vetyä (H). HFC-aineisiin lukeutuvat työssä käsiteltävät R410A ja R32 kylmäaine. Aiemmin R410A oli yleisin lämpöpumpuissa käytetty kylmäaine, mutta R32 kylmäaineen suosio on kasvanut sen pienemmän hiilijalanjäljen ansiosta verrattuna R410A aineeseen. R410A kylmäaine poistuu kylmälaitteista vuoteen 2025 mennessä ja se asetetaan käyttökieltoon. Useat lämpöpumpuvalmistajat käyttävätkin jo uutta R32 kylmäainetta laitteistoissaan. R32:n etuna on myös sen parantuneet pakkausominaisuudet, jotka mahdollistavat koneen toiminnan 30 % vähemmällä ainemäärällä. (R32 kylmäaine saavuttaa suosiotaan n.d.; Kylmäaineiden jaottelu 2019.)

## 3.2 Lämpökerroin

Lämpökertoimella tarkoitetaan ja esitetään lämpöpumpun tehokkuutta. Kertoimesta käytetään myös nimitystä COP (Coefficient of performance), joka on laitteen tehokerroin. Lämpöpumpuissa tehokertoimella tarkoitetaan laitteen tuottamaa lämpöä siihen nähden, kuinka paljon kompressori ja apulaitteet kuluttavat sähköenergiaa toimiakseen. Mitä isompi COP arvo on, sitä parempi lämpöpumpujärjestelmä on. COP arvo mitataan laitteille tietyssä ulkolämpötilassa ja siksi sillä ei havainnollista laitteen todellista hyötysuhdetta erilaisissa käyttöolosuhteissa. Lämmitysenergian kannattavuus- tai tarkastelulaskennassa käytetään useimmin lämpökerrointa SCOP (Seasonal coefficient of performance). SCOP arvo on lämmityskauden tai tarkasteltavan ajanjakson todellinen lämpökerroin. Lämmityskauden lämpökertoimella saadaan todenmukaisempi lämpökerroin laitteistolle, sillä sen tarkastelussa ilmasto, sijainti ja lämpötilojen vaihtelut huomioidaan COP arvoa paremmin. (Lämpöpumput 2020.)

### 3.2.1 Lämpökertoimen laskenta

Kun lämpöpumppu on ideaalinen carnot'n kone, sen lämpökerroin COP lasketaan kaavalla 1 (Lämpöpumput 2020).

$$COP = T_2 / (T_2 - T_1) \quad (1)$$

missä  $T_1 = \text{höyrystymislämpö}$   
 $T_2 = \text{lauhtumislämpö}$

Lämpöpumpun todellinen hyötysuhde, eli lämpökerroin saadaan laskettua kaavalla 2 (Lämpöpumput 2020).

$$COP = \frac{\Phi_{hs}}{P_k + P_a} \quad (2)$$

missä  $\Phi_{hs}$  = hyödyksi saatu lämpöenergia  
 $P_k$  = kompressorin kuluttama energia  
 $P_a$  = apulaitteiden kuluttama energia

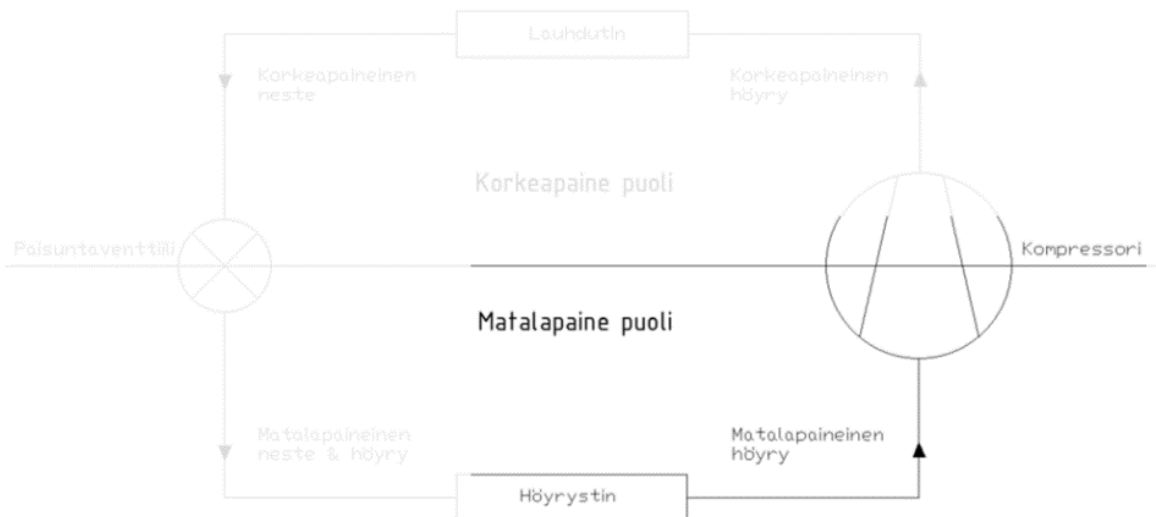
Kaavassa 3 on esitetty SCOP laskentakaava vuoden ensimmäiselle kvartaalille (Lämpöpumput 2020).

$$SCOP = \frac{\Phi_{hs,q1}}{P_{k,q1} + P_{a,q1}} \quad (3)$$

missä  $\Phi_{hs,q1}$  = hyödyksi saatu lämpöenergia  
 $P_{k,q1}$  = kompressorin kuluttama energia  
 $P_{a,q1}$  = apulaitteiden kuluttama energia

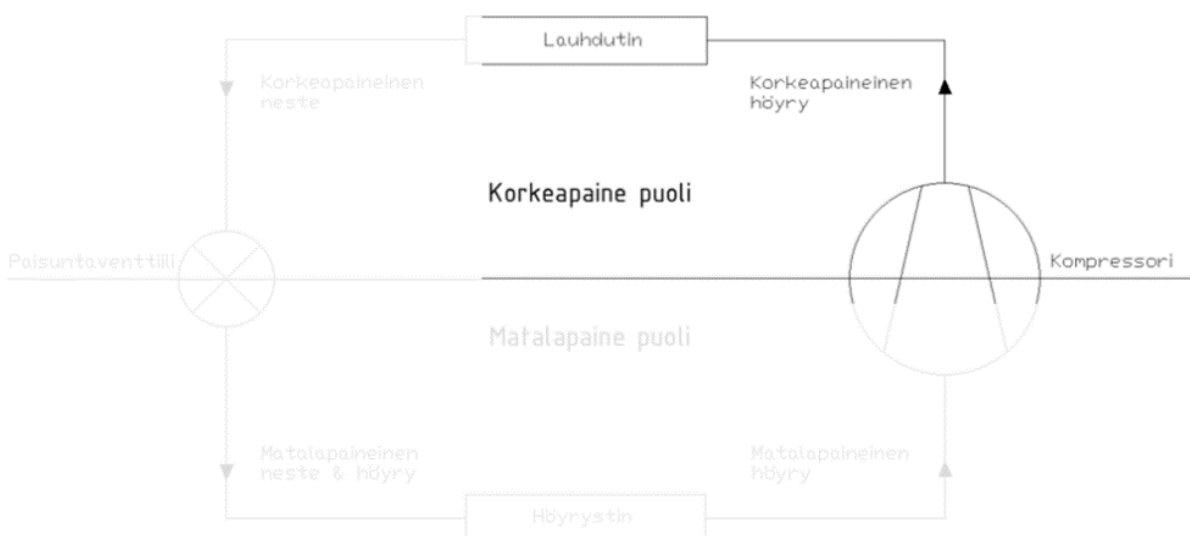
### 3.3 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Kompressori imee kylmääainetta höyrystimeltä. (Ks. kuvio 4.) Kylmäaine on matalassa paineessa ja olomuodoltaan höyryä. Kompressorin tehtävä on puristaa kylmääainetta pienessä tilassa, jolloin höyrystyneen kylmäaineen paine nousee korkeaksi. Paineen noustessa nopeasti, myös lämpötila kasvaa yli 100°C, jolloin kylmäaine on tulistunut kuumakaasua. Hieman tulistunut kuumakaasu siirtyy kompressorilta lauhduttimelle. Yleisimmät kompressorit ovat syrjäytyskompressoreita, joissa siivekkeet ovat pyöriviä kuten ruuvikompressorissa. Mäntäkompressorin tekniikka taas perustuu edestakaisin liikkeeseen. Kompressori onkin lämpöpumppulaitteiston eniten sähköenergiaa vievä komponentti, mutta kehittyneet ja tehokkaat kompressorit antavat laitteistolle hyvän hyötysuhteen. (Lämpöpumput 2020; Perälä & Perälä 2013, 41–43.)



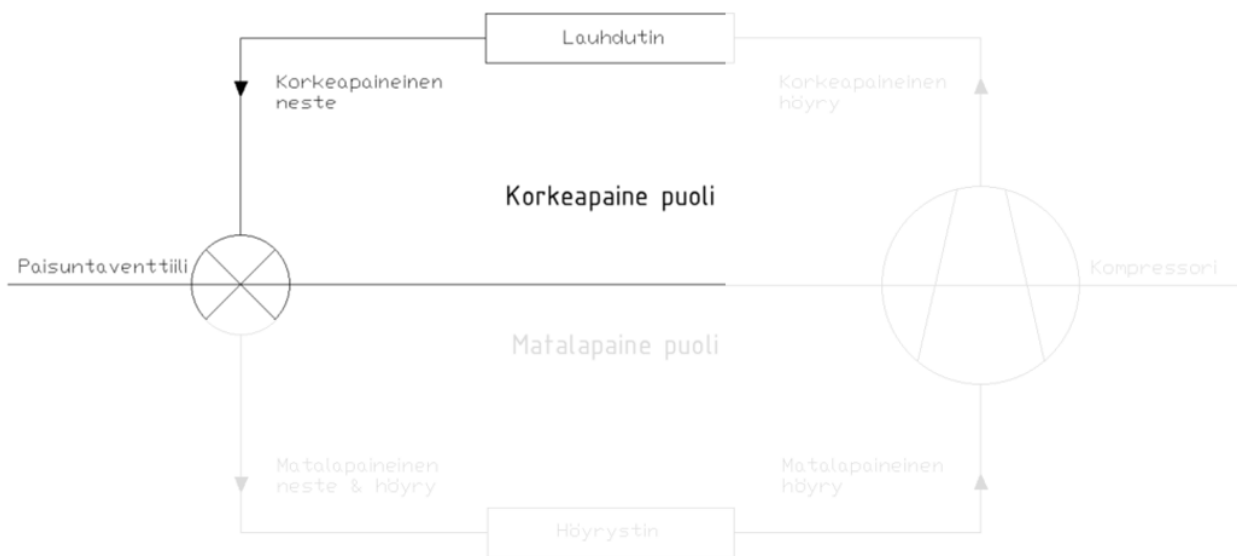
Kuvio 4. Puristusvaihe

Puristusvaiheen jälkeen korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva kylmäaine siirtyy lauhduttimelle. (Ks. kuvio 5.) Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpönsä lämmönvaihtimen avulla toiseen ulkoiseen kiertoprosessiin. Ilmavesi-, maalämpö- sekä poistoilmalämpöpumpuissa lämpö luovutetaan toiseen suljettuun nestekiertooppiiriin, kun taas ilmalämpöpumpussa lämpö siirtyy suoraan huoneilmaan puhaltimen avulla. Kylmäaine on korkeassa paineessa, mutta kriittisen pisteen saavutettuaan sen olomuoto vaihtuu lauhduttimella höyrystä nestemäiseksi. (Lämpöpumput 2020; Korhonen T 2021, 37.)



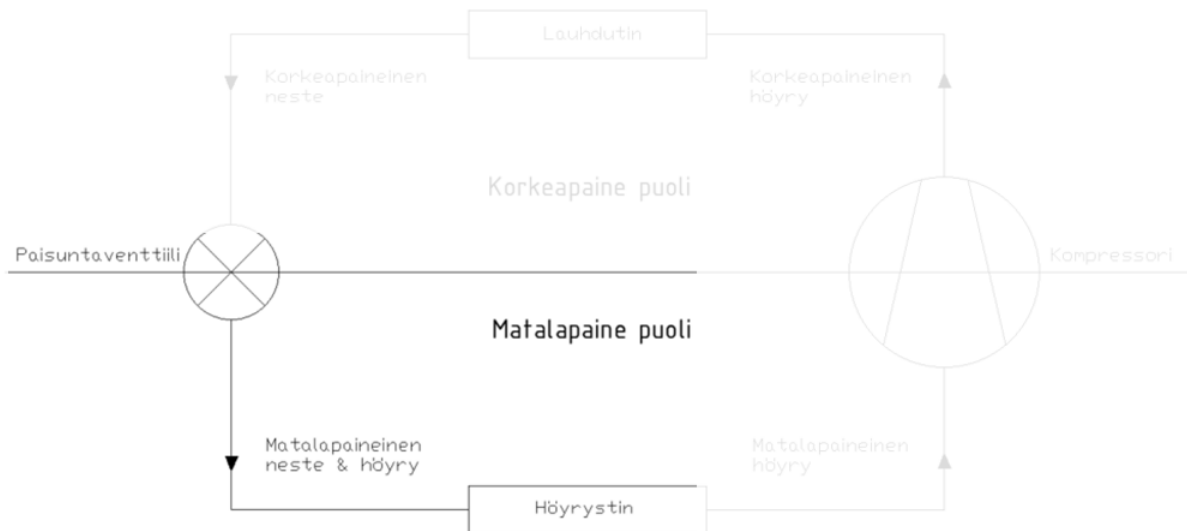
Kuvio 5. Lauhtuminen

Korkeassa paineessa ja matalassa lämpötilassa oleva nestemäinen kylmäaine siirtyy lauhduttimelta paisuntaventtiilille. (Ks. kuvio 6.) Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine alenee ja kylmäaineen olomuoto muuttuu kylläiseksi nesteeksi. Paisuntavaihe on isentalpinen, jolloin energiaa ei siirry kylmäaineesta ympäristöön eikä ympäristöstä kylmäaineeseen. Paisuntalaitteena käytetään usein termostaattista paisuntaventtiiliä, joka tunnistaa höyrystimeltä poistuvan kylmäaineen tulistuksen tason ja säättää nestemäisen kylmäaineen virtausta ja painetta paisuntalaitteelta höyrystimelle sen mukaan. (Lämpöpumput 2020; Korkala T 2021, 37.)



Kuvio 6. Paisuntavaihe

Kylläisenä nesteenä höyrystimelle saapuva kylmäaine sitoo itseensä ulkoisesta lämmöstä saatavaa energiaa. (Ks. kuvio 7.) Energiaa siirtyy kylmäaineeseen maaperästä, vesistöistä, ilmasta tai poistoilmasta, riippuen minkä tyyppinen lämpöpumppu on kyseessä. Kylmäaine imee energiaa itseensä ja kiehuu höyrystimellä vakio­lämpötilassa sekä -paineessa. Tällä varmistutaan olomuodon muuttuminen nesteestä kokonaan höyryksi. Alhaisessa paineessa ja lämpötilassa oleva höyry siirtyy höyrystimeltä kompressorille. (Lämpöpumput 2020; Korkala T 2021, 37.)



Kuvio 7. Höyrystyminen

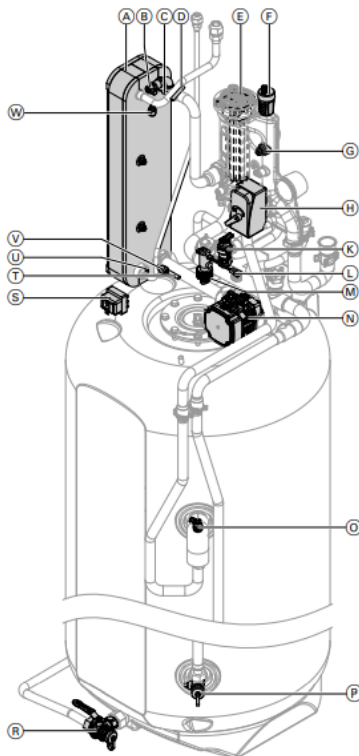
### 3.4 Ilmavesilämpöpumppu

Ilmavesilämpöpumpun toiminta perustuu ulkoilmasta saatavaan energiaan, joka hyödynnetään lämmitysenergiana rakennusten lämmittämisessä. Ilmavesilämpöpumppu voidaan asentaa kohteeseen, jossa se tuottaa energiaa rakennuksen lämmitysenergiatarpeeseen täystehoisesti tai osatehoisesti hybridijärjestelmää hyödyntämällä. Hybridikytkentöjä avataan ja täsmennetään enemmän luvussa 5.1. Mitä alhaisempi lämmitysverkostoon tarvittavan menovedenlämpötila on, sitä parempi hyötysuhde ilmavesilämpöpumpulla saadaan. Ilmavesilämpöpumppu soveltuukin erilaisten lämmitysratkaisuiden yhteyteen, mutta paras hyötysuhde laitteesta saadaan silloin, kun lämmönjako on toteutettu lattialämmityksellä, jossa lämpötilaerot höyrystimen ja lauhduttimen välillä ovat pieniä. Mitä korkeampi menoveden lämpötila rakennuksen lämmitysjärjestelmään tarvitaan, sitä huonommalla hyötysuhteella ilmavesilämpöpumppu tuottaa lämmitysenergiaa. Ilmavesilämpöpumppu soveltuu myös kohteisiin, joissa lämmönjako on toteutettu patteriverkostolla. Hyötysuhde energiantuotossa kylmimpinä ajanjaksoina ei ole yhtä hyvä kuin lattialämmityskohdeissa, sillä järjestelmä ei kykene tuottamaan energiaa niin hyvällä hyötysuhteella kylmästä ulkoilmasta, vaan tarvitsee osaksi energiantuottoa rinnakkaislämmönlähteen tai sähkövastuksen. (Ilmavesilämpöpumppu, IVLP n.d.)

Ilmavesilämpöpumppuun on integroitu oma sisäinen sähkövastus, joka takaa riittävän lämmitysenergiantuoton kovimmilla pakkasilla, kun ilmavesilämpöpumpulla ei pystytä tuottamaan tarpeeksi lämmitysenergiaa kylmästä ulkoilmasta. Ilmavesilämpöpumput pystyvät tuottamaan lämmitysenergiaa vielä alle  $-20^{\circ}\text{C}$  pakkasessa, mutta laitteisto sammuttaa itsensä, kun laitteen parametreihin asetettu pakkasraja alittuu. Esimerkiksi Viessmann 222-S 8,5kW ilmavesilämpöpumppu sammuttaa itsensä, kun pakkasraja ylittää  $-23^{\circ}\text{C}$  raja-arvon. Tuota kylmempinä ajanjaksoina lämmitysenergia tuotetaan kokonaisuudessaan sähkövastuksella tai mahdollisella rinnakkaislämmönlähteellä.

Ilmavesilämpöpumppujärjestelmiin voidaan asentaa vesitilavuuden lisäämiseksi ja virtaushäiriöiden estämiseksi vesitilavuuden laajentaja, eli puskurivaraaja. Puskurivaraajan tarkoitus on varmistaa verkoston riittävä vesitilavuus, jotta ilmavesilämpöpumpun tehdessä sulatusjaksoa, lämpöenergiaa pystytään siirtämään tarpeeksi sulatukseen eikä rakennuksen lämmitysverkostossa tapahdu lämpötilan alenemaa. Puskurivaraajalla saatava vesitilavuuden lisäys vähentää myös pattereista kuuluvaa ääntelyä. Vesitilavuuden ollessa liian alhainen järjestelmässä, ilmavesilämpöpumpun sulatusjaksolla lämmitysverkoston vesi saattaa viilentyä hetkellisesti, jonka seurauksena verkoston uudelleen lämpiämisen aikana lämpölaajeneminen pattereissa aiheuttaa usein pattereiden ääntelyä. Jos ilmavesilämpöpumpun sulatusjakso sijoittuu juuri käyttövedentuoton perään, lämpötilan alenema lämmitysverkostossa on entistä suurempi.

Alla olevissa kuvioissa on esitetty lämpöpumpun osia ja komponentteja. (Ks. kuvat 8 ja 9.) Kuviossa 8 kuvataan laitteen sisäyksikköä, jossa pääkomponentteja ovat lauhdutin, toisiopiirin kierto-vesipumppu, vaihtoventtiili sekä lämpimän käyttöveden varaaja. Sisäyksiköstä löytyy myös menoveden lämpötila-anturi, joka antaa lämpötilatiedon ohjauspiirinsäätimelle. Säädin säätelee menoveden lämpötilaa säätöventtiilin asentoa muuttamalla. Laite siirtää tuottamansa lämmitysenergian jaksoittain lämmitysverkostoon ja käyttöveteen. Sisäyksiköstä löytyvällä 3-tievaihtoventtiilillä laite vaihtaa lämmityksen tuoton verkoston ja käyttöveden välillä. Kyseisessä havainnekuvasssa on sisäänrakennettu lämminvesivaraaja, joka varastoi lämmintä käyttövettä.



Kuva. 73

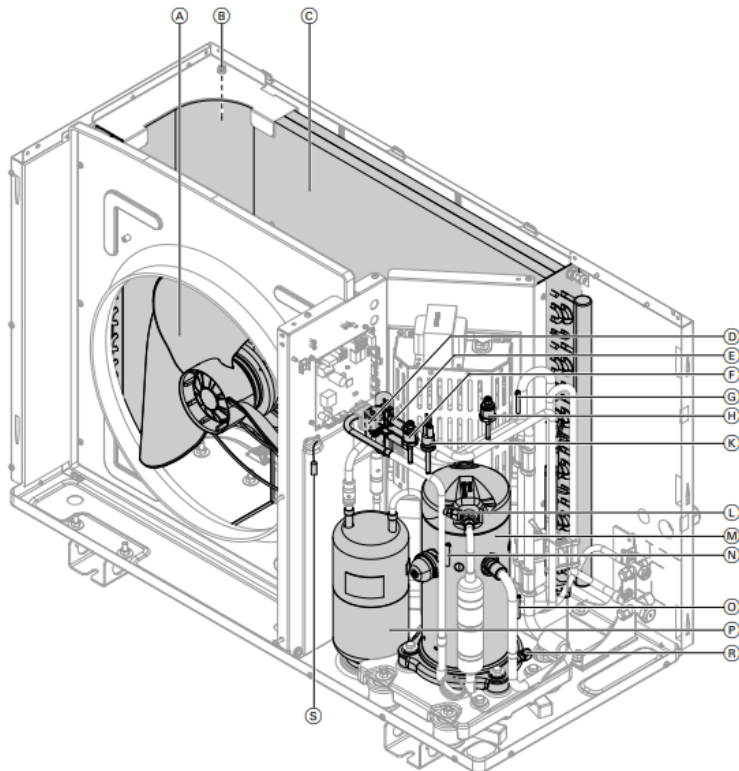
- A Lauhdutin
- B Ilmaushana toisiopiiri
- C Toisiopiirin menoveden lämpötila-anturi ennen lämmitysveden lisälämmitysvästusta (F3)
- D Imukaasun lämpötila-anturi suunnanvaihto (F24)
- E Vain tyyppi AWBT(-M)-E/AWBT(-M)-E-AC: Lämmitysveden lisälämmitysvastus
- F Pikailmanpoistin G ¼

- G Toisiopiirin menoveden lämpötila-anturi (F8)
- H 3-tievaihtoventtiili "lämmitys/käyttöveden lämmitys"
- K Varoventtiili
- L Painemittari
- M Virtauksenvalvontalaite
- N Toisiojapumppu
- O Käyttövesivaraajan ilmausventtiili
- P Toisiopiirin täyttö-/tyhjennyshana
- Lisäksi aurinkolämmönvaihdinsarjan yhteydessä: varaajan lämpötila-anturi
- R Täyttö-/tyhjennyskana käyttöveden puoli
- S Vain tyyppi AWBT(-M)-E/AWBT(-M)-E-AC: Turvalämpötilanrajoitin (STB) lämmitysveden lisälämmitysvastus
- T Toisiopiirin paluuveden lämpötila-anturi (F9)
- U Nestekaasun lämpötila-anturi (F25)
- V Huoltoventtiili sisäyksikkö: Schrader-venttiili, voidaan käyttää ulkoyksikön huoltoventtiiliin sijaan kylmäainepiirin painetarkastusta ja tyhjennystä varten.
- W Huoltoventtiili sisäyksikkö: Schrader-venttiili, voidaan käyttää ulkoyksikön huoltoventtiiliin sijaan kylmäainepiirin painetarkastusta ja tyhjennystä varten.

## Kuvio 8. Ilmavesilämpöpumpun sisäyksikkö (Asennus- ja huolto-ohje 2017)

Kuviossa 9 havainnoidaan ilmavesilämpöpumpun ulkoyksikköä. Ulkoyksikön pääkomponentteja ovat kompressori, höyrystin, paisuntaventtiili sekä puhallinmoottori. Nykyisin ilmavesilämpöpumpuissa on inverter-tekniikalla energiaa tuottava kompressori, joka säätää optimaalisesti energiantuottoa lämmityksen tarpeen mukaan ja näin säästää sähkönkulutuksessa sekä laitteen elinkaareissa. Inverter-kompressoreilla päästäänkin parempiin vuosihyötysuhteisiin, sillä kompressori pystyy tuottamaan energiaa myös osatehoisesti lämmitysenergian tarpeen mukaan. On/off-kompressorilla tuotetaan energiaa aina täydellä teholla – tai ei ollenkaan. Ulkoyksiköstä löytyy myös 4-tievaihtoventtiili, joka vaihtaa kylmäaineen kiertosuuntaa, kun laite havaitsee kennon lämpötilan laskeneen alle lämpötilan raja-arvon. Anturin havaittua raja-arvon alituksen, laite aloittaa sulatus-toiminnon, jolloin ulkoyksikön kennoon kertynyt huurre ja jää sulavat. Sulatuksen jälkeen laitteella pystytään taas tuottamaan tehokkaasti lämmitysenergiaa ulkoilmasta.

Ulkoyksikkötyypit 221.C04 - C08



Kuva. 74

- |                                             |                                                |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| A Tuuletin                                  | K Turvakorkeapainekytin                        |
| B Ilman sisääntulon lämpötila-anturi (T5)   | L Schrader-venttiili korkeapainepuoli          |
| C Lämmönvaihdin (höyrystin)                 | M Kompressori                                  |
| D Elektroninen paisuntaventtiili            | N Kuumakaasun lämpötila-anturi (T6)            |
| E 4-tievaihtventtiili                       | O Imukaasun lämpötila-anturi kompressori (T4)  |
| F Korkeapaineanturi                         | P Nestevaraaja                                 |
| G Imukaasun lämpötila-anturi höyrystin (T7) | R Schrader-venttiili matalapainepuoli          |
| H Matalapaineanturi                         | S Lämpötila-anturi kylmäainepiirin säädin (T2) |

Kuvio 9. Ilmavesilämpöpumpun ulkoyksikkö (Asennus- ja huolto-ohje 2017)

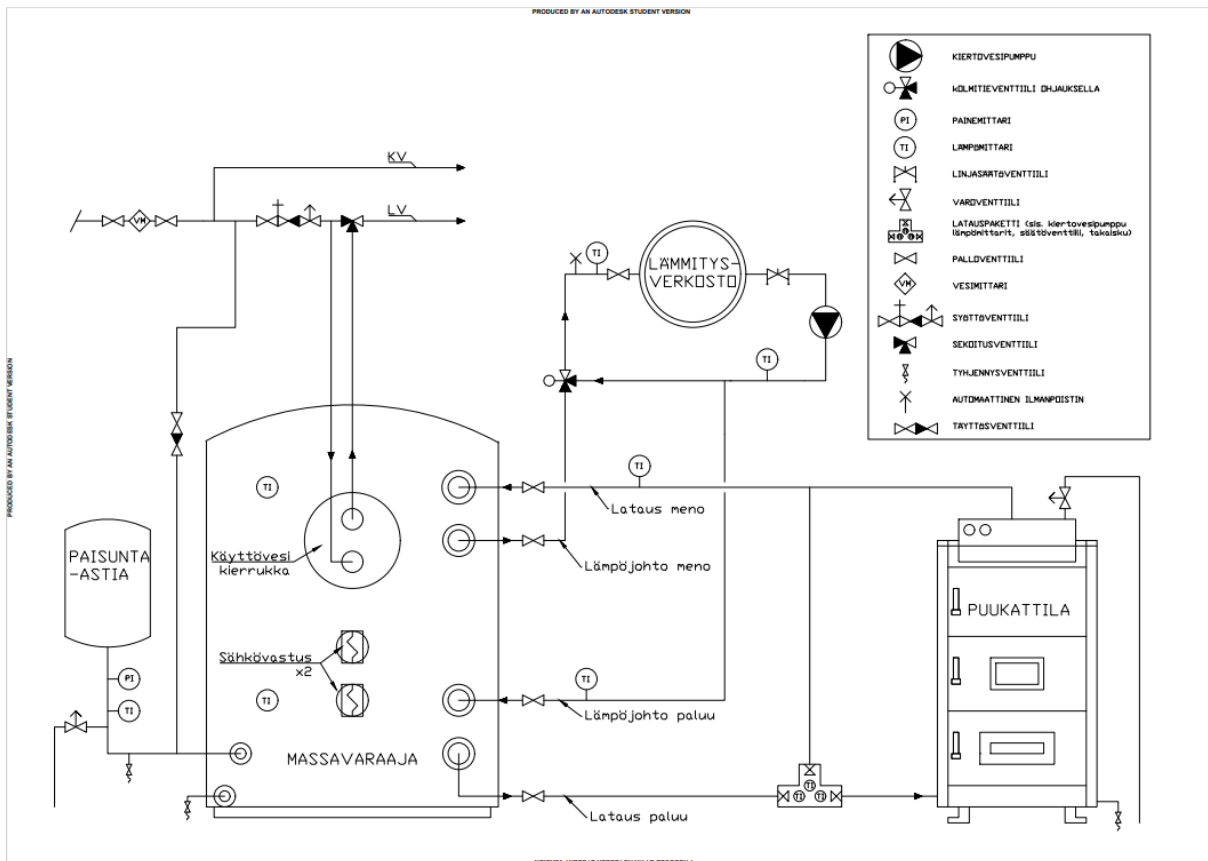
## 4 Lämmitysjärjestelmät

Suomessa omakotitaloissa vesikiertoinen keskuslämmitys on yleisesti käytetty lämmitysmuoto, jossa lämmitysverkostossa kiertävä vesi lämmitetään keskuslämmityskattilalla tai kaukolämmöllä. Lämmitysverkostossa olevat radiaattorit tai lattialämmityspotkisto luovuttavat lämpöenergian rakennukseen. Yleisimpiä lämmitysenergian tuoton tapoja vesikiertoisessa keskuslämmityksessä ovat öljy-, puu- tai sähkölämmitys sekä kaukolämpö. Öljy-, puu- ja sähkölämmityksessä lämpöenergia tuotetaan keskuslämmityskattilalla. Keskuslämmityskattila sijaitsee teknisessä tilassa, josta löytyvät myös muut tärkeät lämmitysjärjestelmän pääkomponentit, kuten paisunta-astia, kiertovesipumppu, varojärjestelmä, sekoitusventtiili, lämmityksen ohjaus- ja säätöventtiili, paine- ja lämpömittarit sekä varaajat. (Harju 2010, 112–113.)

## 4.1 Puulämmitys

Kun energiaa tuotetaan keskuslämmityskattilassa puuta polttamalla, kattilassa olevaan vesimassaan johtuu lämmitysenergiaa palon aikana. Vesimassa kiertää erillistä latauspiiriä pitkin vesivaraajaan. Vesivaraajien tilavuus vaihtelee omakotitaloissa tyypillisesti tuhannesta kolmeentuhanteen litraan. Latauspiiriin voidaan asentaa erillinen latauspaketti, joka sisältää kiertovesipumpun, säätöventtiilin sekä palloventtiilit ja lämpömittarit. (Ks. kuvio 10.) Latauspaketti säätelee kattilalta saatavaa lämpöä ja kierrättää vettä kattilan kautta latauspiirissä. Kun kattilassa oleva vesimassa kuumentuu yli säätöventtiilin raja-arvon, säätöventtiili ohjaa vesikierron vesivaraajaan. Kuuman veden loputtua kattilasta, säätöventtiilin asento muuttuu niin, että kierto tapahtuu latauspiirissä niin kauan, kun lämpötilan raja-arvo ylittyy uudelleen.

Lämmitysverkosto on kytketty myös vesivaraajaan, josta radiaattorit saavat lämpöä luovuttaakseen sitä rakennukseen. Lämmitysverkoston komponentteihin kuuluvat muun muassa ulkoinen kiertovesipumppu, säätöventtiili, lämmityksen säädin, lämpö- ja painemittari, linjasäätöventtiili ja palloventtiilit. Lämmityksen säädön hoitaa säätöventtiili yhdessä säätimen kanssa, jotka määrittävät menoveden lämpötilaa sen mukaan, kuinka paljon lämmitysenergiaa rakennus tarvitsee. Mitastiedot säädin saa ulkoilmanlämpötilasta ja menoveden lämpötila-anturilta. Säätimeen on asetettu säätökäyrä, jonka pohjalta menoveden lämpötilan säätely tapahtuu. Järjestelmään asennetaan lämmitysverkoston täyttöventtiili, josta lämmitysverkosto täytetään vedellä. Täyttöventtiilillä voidaan lisätä vettä myös jatkossa lämmitysjärjestelmään, mikäli paine verkostossa alenee. Kalvopaisunta-astia pitää huolen paineen vaihtelusta. Puulämmityksessä lämpötilaerot kasvavat suuriksi, jolloin paineen vaihtelut ovat myös isoja. Varojärjestelmänä toimii varoventtiili, joka aukeaa tarvittaessa paineen noustessa liian korkeaksi. Varoventtiilistä vapautuva ylipaine ohjataan putkea pitkin esimerkiksi lattiakaivoon. Lämmin käyttövesi tuotetaan massavaraajassa olevalla käyttövesikierukalla. Varaajassa lämmennyt vesi ohjataan sekoitusventtiilille, joka säätelee käyttövedestä halutun lämpöistä. (Ks. kuvio 10.)

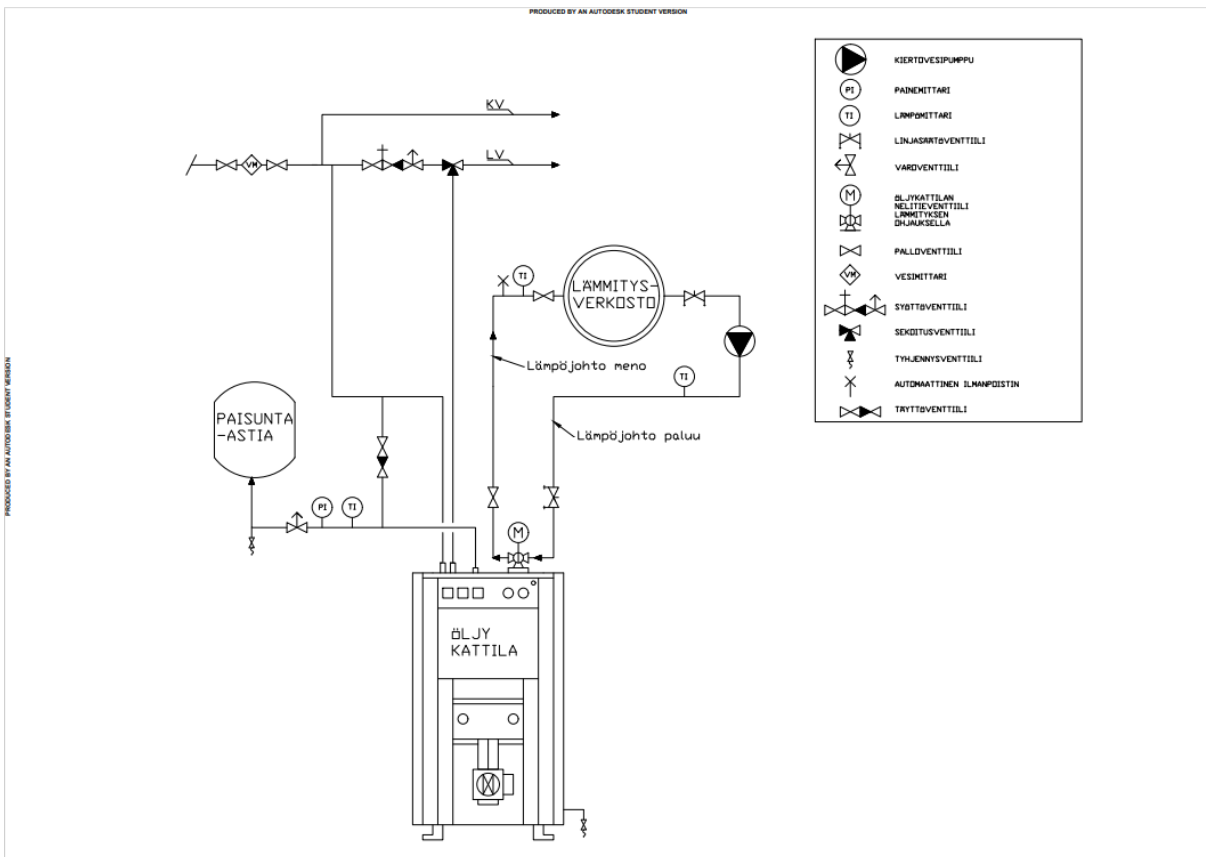


Kuvio 10. Havainnekuva puukattilakytkennästä

## 4.2 Öljylämmitys

Rakennuksen lämmittämiseen tarvittavaa lämmitysenergiaa voidaan tuottaa myös öljykattilalla. Kattilassa oleva öljypoltin polttaa öljyä lämmittäen samalla kattilassa olevaa vesimassaa. Öljykattilaan on integroitu vesivaraaja, joka toimii puskurivaraajana lämmitysverkoston vedelle. Öljykattilan päälle on asennettu 4-tieventtiili, joka sekoittaa lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilaa halutuksi. Lämmityksen säädin on kytkettynä 4-tieventtiiliin. Säädin mittaa ja säätää menoveden lämpötilaa sen mukaan, kuinka paljon lämmitysenergiaa rakennus tarvitsee. Lämmityksen säätö tapahtuu asetetun säätökäyrän pohjalta. Säädin saa mittaustietoa ulkolämpötila-anturilta sekä menoveden lämpötila-anturilta ja säätää säätöventtiiliä tarvittavaan asentoon, jotta riittävä lämpötila verkostossa saavutetaan. Öljykattilalla toteutetussa lämmitysjärjestelmässä radiattorit tai lattialämmitys luovuttavat lämmön rakennukseen. Lämmitysverkostoon kuuluvia pääkomponentteja ovat kiertovesipumppu, linjasäätöventtiili, palloventtiilit sekä lämpömittari. Öljylämmityksessä ei tarvita erillistä iso vesivaraajaa lämmitysverkoston vedelle, sillä poltin pystyy nostamaan ja pitämään tarvittavan lämmön kattilan omassa varaajassa. Järjestelmään asennetaan

puulämmityksen tapaan paisunta-astia ja verkoston täyttöventtiili. Varolaitteistona järjestelmässä käytetään varoventtiiliä, joka paineen noustessa yli raja-arvon päästää ylipaineen putkistoa pitkin viemäriin. Lämmin käyttövesi tuotetaan kattilassa olevalla käyttövesikierukalla. Järjestelmään ei tarvita erillistä lämminvesivaraajaa. Sekoitusventtiili säätelee lämpimän käyttöveden lämmön haluttuun lämpötilaan. (Ks. kuvio. 11.)

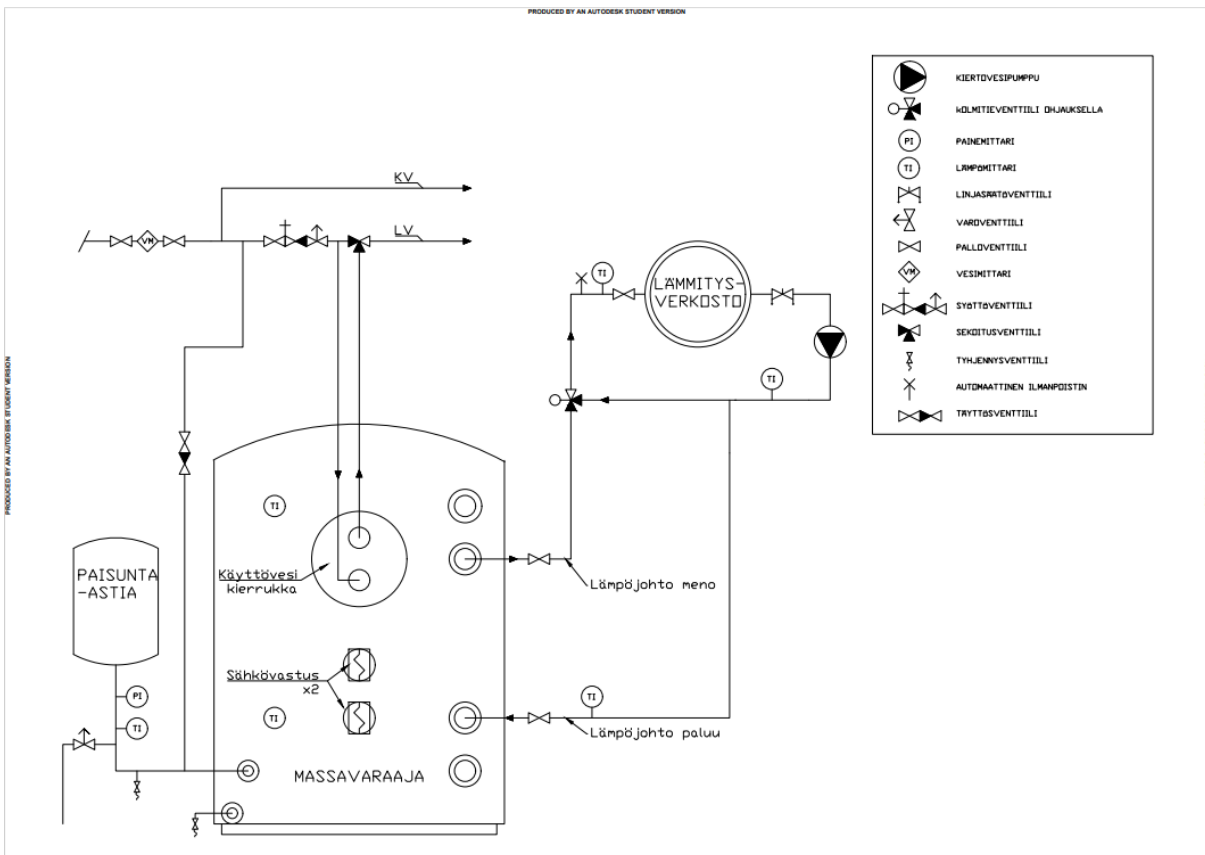


Kuvio 11. Havainnekuva öljykattilakytkennästä

### 4.3 Sähkölämmitys

Vesikeskuslämmitys voidaan toteuttaa lämmittämällä lämmitysverkostoa erillisessä vesivaraajassa. Lämmitysverkostossa kiertävä vesi lämpenee vesivaraajassa sähkövastuksilla. Lämmityksen säädön hoitaa säätöventtiili yhdessä lämmönsäätimen kanssa, jotka muuttavat menoveden lämpötilaa sen mukaan, kuinka paljon lämmitysenergiaa asuinrakennus tarvitsee. Mittaustiedot säädin saa ulkoilmanlämpötilasta ja menoveden lämpötila-anturilta. Säätimeen on asetettu säätökäyrä, jonka pohjalta menoveden lämpötilan säätely tapahtuu. Sähkölämmitteisessä lämmitysjärjestelmässä pääkomponentteja ovat kiertovesipumppu, lämpömittari, lämpötila-anturit, linjasäätöventtiilit sekä

palloventtiili. Lämmitysjärjestelmään asennetaan kalvopaisunta-astia, joka pitää huolen paineen vaihteluista. Järjestelmään asennetaan myös verkoston täyttöventtiilin sekä varolaittejärjestelmä puu- ja öljykattiloiden tapaan. Käyttövesi voidaan tuottaa vesivaraajasta löytyvällä kierukalla tai vaihtoehtoisesti omalla sähköllä toimivalla käyttövesivaraajalla. Sekoitusventtiili säätää käyttöveden lämpötilan halutuksi. (Ks. kuvio 12.)



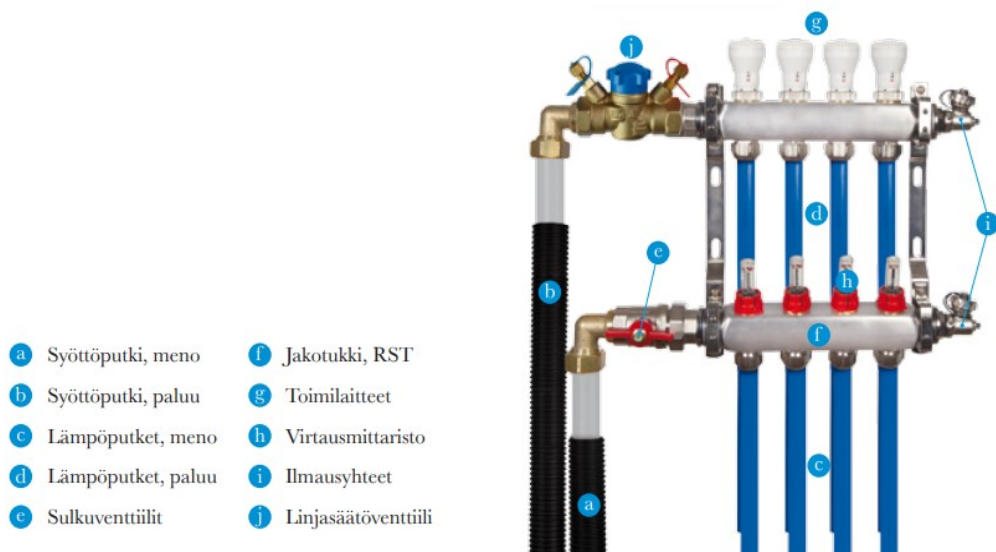
Kuvio 12. Havainnekuva sähkökattilakytkenästä

#### 4.4 Lämmitysverkosto

Yleisimmin vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä lämmönluovuttajana toimivat radiaattorit eli patterit tai lattialämmitysputkisto. Patterit luovuttavat lämpöenergiaa rakennukseen lämmönluovutuspinnojen avulla. Patterit asennetaan pääsääntöisesti ikkunoiden alle. Ikkunan lämmönjohdavuus on suurempi kuin seinällä, jolloin lämpöhäviöiden määrää kompensoidaan paremmin asentamalla patteri ikkunoiden alle. Pattereihin asennetaan patteriventtiilit, jotka säätelävät lämpimän veden virtausta patteriin. Suurin osa pattereista on varustettu huonetermostaatilla. Termostaattiin asetetaan haluttu lämpötila, joka ohjaa patteriventtiiliä säätämään virtauksen optimaaliseksi. Kun

huone saavuttaa halutun lämpötilan, huonetermostaatti ohjaa patteriventtiin kokonaan kiinni, jolloin patterissa ei tapahdu vesikiertoa. Kun huonetermostaatti havaitsee jälleen lämmityksen tarpeen, patteriventtiili avautuu lämpimänveden virtaukselle. Tyypillisesti menovedenlämpötila pattereille on 30°C-60°C. Kylminä ajanjaksoina patteriverkoston menoveden lämpötila saattaa lähennellä jopa 70°C, jotta lämpöhäviöiden määrä saadaan kompensoitua ja patterit pitävät rakennuksen halutussa lämpötilassa.

Lattialämmitysputkisto asennetaan lattiamateriaaliin, kuten betoniin tai välipohjaan. Suunnitellulle asennusvälille asennettu lattialämmitysputki luovuttaa lämpöenergian lattiaan ja sitä kautta koko rakennukseen. Lattialämmityksen etuna patteriverkoston verrattuna on tasaisemmin luovutettu lämpö, joka tuotetaan alhaisemmalla menoveden lämpötilalla. Lattialämmityksen jakotukkiin asennetaan termostaatit tai säätöpyörät jokaiselle piirille erikseen. (Ks. kuvio 13.) Lattialämmityksen säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi elektronisilla huonetermostaateilla tai perinteisinä langallisina versioina. Elektroniset huonetermostaatit vaativat käyttöjännitteeksi 230V tai 24V. Huonetermostaatit ohjaavat jakotukilla olevaa toimilaitetta huoneen lämpötilan mukaan. Mitä enemmän lämmöntarvetta huoneessa on, sitä enemmän termostaatti aukaisee kyseisen lattialämmityspiirin vedenkiertoa. Lattialämmitysverkostossa menoveden lämpötila vaihtelee 30°C-40°C välillä kylmimpinä ajanjaksoina. Tämä nostaa entisestään rakennukseen asennetun ilmavesilämpöpumpun käyttöastetta, sillä alhaisemmalla lämpötilalla toimivan järjestelmän hyötysuhde on parempi, kuin patteriverkoston tarvittava jopa 70°C menoveden lämpötila.

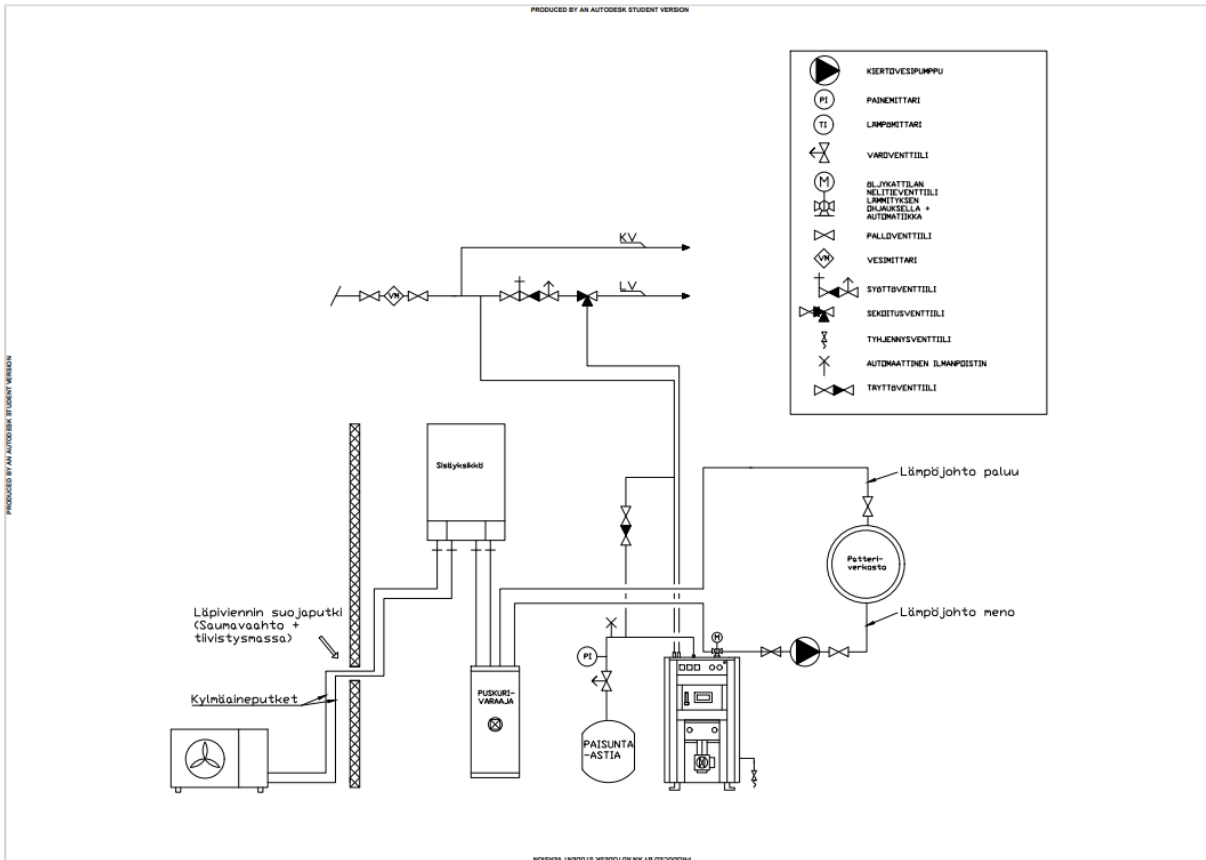


Kuvio 13. Havainnekuva lattialämmitysjakotukista (Enerline vesikiertoinen lattialämmitys n.d)

## 5 Lämpöpumppujärjestelmät

### 5.1 Hybridijärjestelmä

Kun asiakas ostopäätöstä tehdessään valitsee kohteeseensa sopivaa lämpöpumppuratkaisua, vaihtoehdot ovat hybridijärjestelmä tai täysjärjestelmä. Asiakkaan ostoperusteisiin voivat vaikuttaa erilaiset tekijät, kuten uuden laitteiston energiatehokkuus, kustannussäästöt, hankintahinta, päästöjen vähentäminen tai esimerkiksi vanhan laitteiston elinkaaren lopun lähestyminen. Hybridijärjestelmää suunnitellessa tulee huomioida, kuinka paljon vanhassa järjestelmässä on elinkaarta jäljellä ja missä kunnossa vanha laitteisto ylipäättään on. Mikäli vanha laitteisto on soveltuva jatkamaan osana rakennuksen lämmitysenergian tuottoa, on hybridiratkaisu järkevä ratkaisu. (Ks. kuvio 14.)



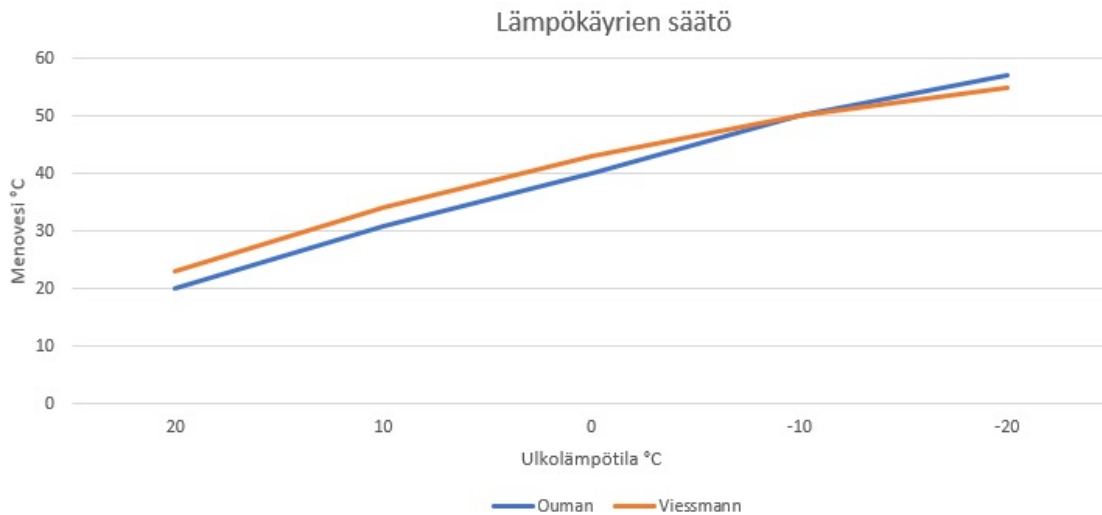
Kuvio 14. Havainnekuva hybridijärjestelmästä

Hybridijärjestelmällä tarkoitetaan teknisesti järjestelmää, joka kytketään osaksi asiakkaan vanhaa lämmitysjärjestelmää ja sisältää useamman lämpöenergianlähteen. Hybridikytkennöissä vanha lämmönlähde, kuten keskuslämmityskattila jää toimimaan osana lämmitysjärjestelmää, joko lisälämmönlähteenä tai vesitilavuuden laajentajana puskurivaraajan sijasta. Hybridiratkaisu säästää asiakasta purkukustannuksissa, sillä erillistä lämmitysjärjestelmän purkua ei tarvitse suorittaa. Vanhoissa omakotitaloissa eristemateriaalina on voitu käyttää asbestia, jonka purkaminen täytyy suorittaa ammattilaisen toimesta, sillä asbestin purku vaatii erikoisluvan. Tämä aiheuttaa asiakkaalle yleensä huomattavia lisäkustannuksia. Hybridijärjestelmässä purkutyöt jäävät pois, mutta paikallisia purku- tai katkaisutöitä joudutaan tekemään. Nämä pienet purku- ja katkaisutyöt kuuluvat aina osaksi kokonaisuutta, kun lämmitysjärjestelmää päivitetään tai uusitaan.

Hybridijärjestelmän asennusaika on lyhyempi kuin täysjärjestelmällä. Mikäli asiakkaan teknisessä tilassa on riittävä määrä tilaa laitteistolle, voidaan hybridijärjestelmä asentaa tekemättä lainkaan

laitteisto-, komponentti- tai kalustesiiroja. Uusi laite asennetaan mallista riippuen seinälle seinäkannattimella tai lattialle säätöjalkojen varaan, mikäli laitteistoksi on valikoitunut sisäyksikkö, jossa lämpimän käyttöveden varaaja on integroituna sisäyksikköön. Laitteiston kytketään haaroittamalla vanhasta lämmitysverkosta liitokset lämpöpumpulle. Esimerkki hybridikytkennästä on esitetty kuviossa 14.

Ilmavesilämpöpumpun sisäyksikköön on integroitu toisiopiirin kiertovesipumppu. Myös lämmitysverkostosta löytyvä kiertovesipumppu voidaan jättää toimintaan sisäyksiköstä löytyvän kiertovesipumpun ohelle. Hybridijärjestelmässä lämpöpumpun automatiikka säädetään toimimaan yhdessä rakennuksesta jo löytyvän automatiikan kanssa. Ilmavesilämpöpumppu mittaa ulkolämpötilaa rakennuksen ulkoseinälle asennetusta ulkolämpötila-anturista ja laite säätelee menoveden lämpötilaa laitteeseen asetetun lämpötilan säätökäyrän perusteella. Tämä toimii suoraan suhteessa ulkolämpötilaan, jonka pohjalta laite ohjaa verkostoon oikean lämpöistä menovettä. Säätökäyrä asetetaan hybridijärjestelmässä toimimaan yhdessä verkostosta jo löytyvän säätimen kanssa. Yleisesti ilmavesilämpöpumpun säätökäyrän tulee olla  $+20^{\circ}\text{C}$  -  $-10^{\circ}\text{C}$  ulkolämpötilalla 2–5 astetta korkeampi kuin toisen säätöpiirin. (Ks. kuvio 15.) Kylmällä ilmalla säätökäyrien ero pienenee ilmavesilämpöpumpusta saatavan lämmitysenergian tuottavuuden heikennettyä. Keskimäärin  $-10^{\circ}\text{C}$  ulkolämpötilassa säätökäyrien ero on vähäistä, ja tästä kylmemmillä ulkoilmoilla rinnakkaislämmönlähteen säätökäyrä ohittaa lämpöpumpun säätökäyrän normaaleissa oloissa. Tämän ansiosta hybridijärjestelmä saadaan toimimaan niin, että kovemmillä pakkasillakin lämmitysenergian saanti on taattu ja hybridijärjestelmästä saadaan optimaalinen hyötysuhde rakennuksen lämmittämiseen. Öljy- puu- tai sähkölämmityskattilalla toteutetussa hybridilämmitysjärjestelmässä on huomioitava kytkentähaarojen paikka ja lämmitysverkoston kiertosuunta on varmistettava takaiskuventtiilein. Takaiskuventtiileillä varmistetaan, ettei virtaava lämmitysvesi pääse kiertämään verkostossa väärään suuntaan, jolloin lämmitysjärjestelmä ei toimi optimaalisesti.



Kuvio 15. Säättökäyrien havainnekuva

Mikäli hybridijärjestelmä jää toimimaan öljy- tai puukattilan yhteyteen, kuluttajalla on mahdollisuus varastoida puuta tai öljyä rinnakkaislämmönlähdettä varten. Rinnakkaislämmönlähdettä käytetään, kun lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia ei yksin riitä rakennuksen riittävään lämmitämiseen. Hybridijärjestelmän rinnakkaislämmönlähde antaa kuluttajalle myös turvaa, sillä se toimii varalämmönlähteenä, mikäli lämpöpumppu vioittuu. Uusiutuvalla energialla toimiva ilmavesilämpöpumppu säästää myös luontoa ja vähentää kuluttajan kasvihuonepäästöjä. Investointihinnaltaan ilmavesilämpöpumpun hybridijärjestelmä on edullisempi kuin esimerkiksi maalämpöjärjestelmä tai ilmavesilämpöpumpun täysjärjestelmä. Ilmavesilämpöpumpun haasteina ovat korkea lämpötilantarve lämmitysverkostossa, riittävä käyttöveden tuotto sekä pakkastalven pituus ja kovuus. Oikea laitteistomitoitus ja varalämmönlähteen merkitys ratkaisevat verkoston korkeat lämmöntarpeen haasteet. Erityisen kovilla ja pitkillä pakkasjaksoilla ilmavesilämpöpumpusta ei saada enää optimaalisia hyötysuhteita tai energian säästöjä, joten hybridikytkentöjen ansiosta voidaan energiaa tuottaa myös polttamalla öljyä tai puuta.

Hybridijärjestelmän haasteena on järjestelmän toimivuus osana rakennuksen lämmitysjärjestelmää. Jokaisen erilaisen järjestelmävaihtoehdon kytkentäperusteet ovat hieman erilaiset. Öljyhybridikytkennästä puhuttaessa, öljykattila jää toimintaan ja ilmavesilämpöpumppu tuottaa lämmitysenergiaa sen rinnalla. Kyseisessä tavassa on ratkaistava, kuinka verkostoon saadaan riittävä virtaus ja vesitulavuus. Puuhybridillä tarkoitetaan puukattilaa, joka yhdessä suuren vesivaraajan kanssa jää toimimaan rinnakkaislämmönlähteeksi ilmavesilämpöpumpun kanssa. Tässä kytkemismallissa on

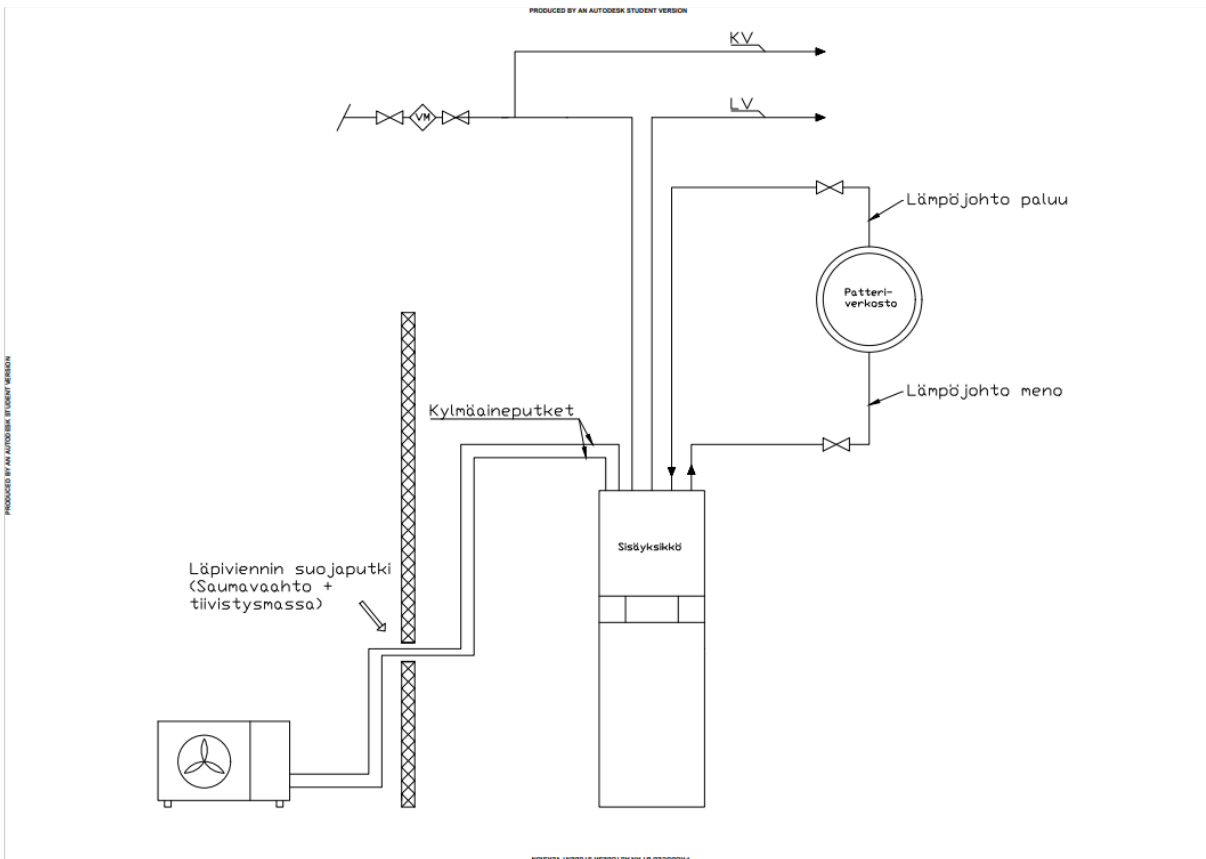
tärkeää varmistaa lämpöpumpun oikea sijainti verkostossa ja yksisuuntaventtiileiden asentaminen järjestelmään niin, että puukattilalla voidaan lämmittää vesivaraajaa vanhaan tapaan tarvittaessa. Kyseisiä järjestelmävaihtoehtoja on useita ja niiden tulokset esitetään liitetiedoissa, jotka ovat salassapitovelvoitettuja.

Ilmavesilämpöpumppujärjestelmien virtausongelmiin pystytään vaikuttamaan kehitetyillä kytkentäkaavioilla sekä tarvittaessa puskurivaraajalla. Virtausongelmia esiintyy, kun lämmitysverkostossa ei esiinny riittävää veden kiertoa. Tarkastelussa oleva Viessmann 222-S 8,5kW ilmavesilämpöpumppu ilmoittaa virtaushäiriötä D6, kun laitteesta löytyvä virtauksenvalvontalaite ei havaitse riittävää virtausta järjestelmässä. Mikäli patteri- tai lattialämmitystermostaatit ovat suljettuina eikä lisää lämmitysenergiaa rakennukseen tarvita, termostaatit sulkevat säätöventtiilit. Säätöventtiilien ollessa suljettuina, ilmavesilämpöpumpun virtaushäiriöt lisääntyvät. Eniten virtaukseen liittyviä häiriöitä syntyy lämmityskauden ulkopuolella, kun lämmitysenergiaa ei tarvitse luovuttaa rakennukseen. Puskurivaraaja on yleisin ratkaisu virtausongelmien pienentämiseksi sen tuoman verkoston lisätilavuuden myötä. Luoduilla kytkentäkaavioilla minimoitiin virtaukseen liittyvät ongelmat ilman puskurivaraajaa kytkentäperusteiden ja oikein sijoiteltujen komponenttien avulla. Nämä ratkaisut löytyvät liitetiedoista, joilla on yrityksen salassapitovelvoite.

## 5.2 Täysjärjestelmä

Täysjärjestelmällä tarkoitetaan ilmavesilämpöpumppulaitteistoa, joka on rakennuksen ainut päälämmönlähde. Täysjärjestelmä sisältää kaikki lämmitysenergiatuottoon tarvittavat komponentit kuten kompressorin ja sähkövastuksen. Toisin kuin hybridijärjestelmässä on kiinteä rinnakkaislämmönlähde, täysjärjestelmässä lämpöpumppu hoitaa rakennuksen lämmityksen tarpeen kokonaisuudessaan. (Ks. kuvio 16.) Lisälämmönlähteenä laitteistosta löytyy integroitu sähkövastus, joka kattaa lämmitysenergiantuoton tarpeen, kun laitteelta vaaditaan huipputehoa kylminä pakkaspäivinä. Täysjärjestelmän etuna on kokonaisuudessaan uusittu lämmitysenergian lämmönlähde ja se, että rinnalle ei jää vanhoja lämmitysjärjestelmän osia. Kuluttajan tekninen tila uusiutuu usein täysin, sillä vanha kattila, varaajat ja muut komponentit puretaan pois. Uusi järjestelmä kytketään vanhaan lämmitysverkostoon, mutta esimerkiksi sisäyksiköstä löytyvä kiertovesipumppu hoitaa lämmitysverkostoveden kierrättämisen kokonaisuudessaan uudessa järjestelmässä. Verkoston ja käyttöveden lämmityksensäätö tapahtuu ilmavesilämpöpumpun sisäyksiön parametreista. Haluttu

säätökäyrä asennetaan lämpöpumppuun, jolloin lämpöpumpusta löytyvä säätöventtiili ohjaa menoveden lämpötilaa ulkoilmalämpötilan mukaan.



Kuvio 16. Havainnekuva täysjärjestelmästä

Hankintahinnaltaan täysjärjestelmä on kalliimpi kuin hybridijärjestelmä. Investoinnin kokonaishintaa täysjärjestelmässä nostavat tarvittavat purkutytöt. Tähän sisältyy vanhan keskuslämmityskattilan, vesivaraajan ja mahdollisen öljysäiliön poisto ja puhdistus. Täysjärjestelmän mitoituksessa on huomioitava rakennuksen energiakulutukseen vaikuttavat tekijät. Täysjärjestelmän mitoituksella on tärkeä rooli kannattavuuden, energiatehokkuuden ja järjestelmän toimivuuden kannalta. Mikäli täysjärjestelmä mitoitetaan rakennuksen energiakulutukseen nähden hieman liian pieneksi, järjestelmä joutuu käyttämään laitteen sähkövastusta jo aiemmin ulkolämpötilan laskettua kuin oikein mitoitettu järjestelmä. Tämä puolestaan lisää sähkönkulutusta ja kasvattaa siten sähkölaskua sekä laitteen takaisinmaksuaikaa. Tilasta riippuen, rakennukseen voidaan asentaa sisäyksikkö, jossa on integroituna lämpimän käyttövedenvaraaja. Rakennukseen voidaan asentaa myös erillinen käyttövedenvaraaja, mikäli integroitu malli ei mahdu esimerkiksi korkeudesta suunniteltuun

tilaan. Täysjärjestelmässä käyttövesi tuotetaan lämpöpumpulla, jossa vaihtoventtiili säätelee, luovutetaanko tuotettu lämpöenergia lämmitysverkostoon vai lämmitetäänkö sillä käyttövettä. Oletuksena laite tekee lämmitysverkoston vettä ja jaksoittain käyttövettä. Vaihtoventtiilin säätöarvoja voidaan muuttaa laitteen parametreista sen mukaan, kuinka suurta lämpimän käyttöveden tarve kohteessa on. Ilmavesilämpöpumppuun on asetettavissa myös aikaohjelmia, jolloin käyttövettä tuotetaan enemmän silloin, kun sen kulutus on kovempaa.

## 6 Pohdinta ja johtopäätökset

Työn tavoitteena oli kehittää ilmalämpöpumppujärjestelmien hybridikytkentöjä. Työn toteutuksena valmistui seitsemän kappaletta suunniteltuja kytkentäkaavioita erilaisista järjestelmävaihtoehdoista. Toimeksiantajan tavoitteena oli parantaa yrityksen prosessia ilmavesilämpöpumppujen myynnissä, asennuksessa ja huoltotoimissa. Työllä kehitettiin myös yrityksen sisäistä viestintää teknisissä asennusratkaisuissa ja luotiin teknisesti toimivat kytkentäkaaviot ilmavesilämpöpumppujen hybridi- ja täysjärjestelmiin. Jo ennen työn aloittamista oli havaittavissa, että organisaatiossa olisi tarve kyseisille kehitysratkaisuille.

Työssä haettiin ratkaisuja hybridijärjestelmissä esiintyviin haasteisiin. Haasteina ilmavesilämpöpumppujärjestelmissä ovat tyypillisesti lämmitysverkoston virtauksen riittävyys lämmityskauden ulkopuolella, riittävä vesitilavuus lämmitysverkostossa ja teknisesti toimivat lämmitysjärjestelmät, joissa ilmavesilämpöpumppu on osana energian tuotantoa. Ratkaisuja etsittiin vanhojen kohteiden, kokemusten ja kirjallisuuskatsauksen avulla. Aineiston- ja kirjallisuuskatsauksen perusteena oli vahventaa aiemmin hankittua tietoa aiheesta.

Opinnäytetyön keskeisimmät tutkimuskysymykset olivat:

1. Miten hybridikytkennöissä varmistetaan riittävä virtaus lämmitysverkostossa?
2. Kuinka hybridijärjestelmästä saadaan teknisesti toimiva ratkaisu asiakkaan ostoperusteeseen nähden?
3. Miten hybridikytkennät tulee toteuttaa, jotta järjestelmä toimii ilman puskurivaraajaa?

Opinnäytetyön keskeisimpien tutkimuskysymysten vastaukset sisällytettiin liitetiedostoihin, joilla on yrityksen salassapitovelvoite. Opinnäytetyön kannalta tarkastelu näiden kysymysten pohjalta

auttoi ratkaisemaan hybridijärjestelmien ongelmia, mutta salassapitovelvoitteen takia niitä ei työssä voitu julkaista missään muodossa. Jokaiseen tutkimuskysymykseen löydettiin havainnoinnilla, suunnittelulla ja toteutuksella riittävät ratkaisut. KytKentäkaavioiden toiminnallisuus ja kehitettyjen ratkaisujen käyttökelpoisuus tulevat paremmin ilmi vasta sen jälkeen, kun kytKentäkaaviot päätyvät toimeksiantajalla käytäntöön asennus- ja myyntikentälle.

Opinnäytetyössä päästiin toimeksiantajan määrittelemiін tavoitteisiin kokonaisuudessaan. Työn tietoperusta pohjautui artikkeleihin, tilastoihin, kirjallisuuteen ja yrityksen sisäiseen tietoon. Artikkelit olivat usein toissijaisia lähteitä ja niiden luotettavuus herättää kysymyksiä. Työn tietoperustana käytetty kirjallisuus on luotettavaa, sillä tekniikka ja fysiikan laki eivät olet muuttuneet, ainoastaan tekniikka on kehittynyt. Kirjallisuutta aiheesta löytyi kuitenkin valitettavan vähän, joka osaltaan heikentää tietoperustan luotettavuutta. Haasteiden ratkomisessa hyödynnettiin eniten yrityksen sisäistä tietoa. Kokemusten ja vanhojen asennusten perusteella hybridikytkentöjen haasteita pystyttiin ratkomaan helpommin. Ilman salassapitovelvoitetta, työstä olisi lukijalle kehittynyt mielenkiintoisempi ja ratkaisut hybridijärjestelmien ongelmiin olisi voitu esittää sanallisesti sekä havainnekuvin. KytKentäkaavioiden luomisessa käytettiin AutoCAD Plant 3D ohjelmistoa. Energia- ja ympäristötekniikalle kohdennetuissa suunnittelukursseissa kytKentäkaavioiden piirtoa opetetaan kyseisellä työkalulla. Kurssit pohjautuvat enemmän prosessiteollisuuteen, joten jokin muu suunnitteluohjelma olisi voinut antaa vielä visuaalisesti paremman lopputuloksen kytKentäkaavioista.

## Lähteet

Alkuvuoden lämpöpumppumyynnissä ennätysellinen 90 % kasvu. Artikkelit Sulpun verkkosivustolta. Viitattu 23.04.2022.

<https://www.sulpu.fi/alkuvuoden-lampopumppumyynnissa-ennatysellinen-90-kasvu/>

Asennus- ja huolto-ohje. 2017. Asennus- ja huolto-ohje Viessmann ViBooks kirjastosta. Viitattu 03.05.2022.

[https://static.viessmann.com/resources/technical\\_documents/FI/fi/VMA/5117702VMA00001\\_1.pdf?#pagemode=bookmarks&zoom=page-fit&view=Fit](https://static.viessmann.com/resources/technical_documents/FI/fi/VMA/5117702VMA00001_1.pdf?#pagemode=bookmarks&zoom=page-fit&view=Fit)

Enerline vesikiertoinen lattialämmitys. N.d. Asennusohje lämpöyökkösen verkkosivustolta. Viitattu 03.05.2022.

<https://lampoykkonen.fi/wp-content/uploads/2012/10/enerline.pdf>

Eu:n fit for 55-ilmastopaketti tiukentaisi uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden tavoitteita. 2021. Artikkelit valtioneuvoston verkkosivustolta. Viitattu 03.05.2022.

<https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/eu-n-fit-for-55-ilmastopaketti-tiukentaisi-uusiutuvan-energian-ja-energiatehokkuuden-tavoitteita>

Eurooppaan tänä vuonna 2 miljoonaa lämpöpumppua, joista reilut 100 000 Suomeen. 2021. Artikkelit Sulpun verkkosivustolta. Viitattu 27.04.2022.

<https://www.sulpu.fi/eurooppaan-tana-vuonna-2-miljoonaa-lampopumppua-joista-reilut-100-000-suomeen-5f0%9f%91%8f>

Harju, P. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. 4.p. Anjalankoski: Penan Tieto-Opus Ky.

Ilma-vesilämpöpumppu, IVLP. Artikkelit Motivan verkkosivustolta. Viitattu 23.04.2022.

[https://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu\\_ivlp](https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_ivlp)

Kananen J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulu julkaisu -sarja.

Kiinteistöjen energiatehokkuus 2020 – trendit, uhkat ja mahdollisuudet. 2020. Artikkelit lämpöyökkösen verkkosivustolta. Viitattu 14.05.2022.

<https://lampoykkonen.fi/artikkelit/kiinteistojen-energiatehokkus-2020-trendit-uhkat-ja-mahdollisuudet/>

Korkala, T. 2021. Lämmitys – Hoito ja huolto. 3.p. Helsinki: Kiinteistömedia Oy.

Kylmäaineiden jaottelu. 2019. Artikkelin darmentin verkkosivustolta. Viitattu 25.04.2022.  
<https://darment.fi/kylmaaineiden-jaottelu/>

Lämmitys sähköistyy. Lämpöpumppujen myynti kasvoi 25 prosenttia. Artikkelin sulpun verkkosivustolta. Viitattu 13.04.2022.  
<https://www.sulpu.fi/lammitys-sahkoistyy-lampopumppujen-myynti-kasvoi-25-prosenttia/>

Lämpöpumput. 2020. Oppimateriaali Moodlen oppimisympäristö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 05.05.2022.  
<https://moodle.jamk.fi>, Moodle.

Myydyt lämpöpumput vuosittain. 2021. Tilastoja Sulpun verkkosivustolta. Viitattu 22.05.2022.  
<https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2022/01/SULPU-lampopumpputilasto-2021-kuvaajat.pdf>

Perälä, O & Perälä, R. 2013. Lämpöpumput. 3.p. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.

R32 kylmäaine saavuttaa suosiota. Artikkelin darmentin verkkosivustolta. Viitattu 25.05.2022.  
<https://darment.fi/kylmaaine/r32/>

## **Liitteet**

**Liite 1. Öljyhybridikytkentä (salassa pidettävä)**

**Liite 2. Sähköhybridikytkentä (salassa pidettävä)**

**Liite 3. Puuhybridikytkentä massavaraajalla (salassa pidettävä)**

**Liite 4. Hybridikytkentä – kattila puskurivaraajana (salassa pidettävä)**

**Liite 5. Hybridikytkentä sähkökattilan rinnalle (salassa pidettävä)**

**Liite 6. Täysjärjestelmä erillisellä käyttövesivaraajalla (salassa pidettävä)**

**Liite 7. Täysjärjestelmä (salassa pidettävä)**