

VESIKIERTOISEN
LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN
HYÖTYSUHTEEN PARANTAMINEN
LÄMPÖPUMPPUTEKNIIKALLA

Tiivistelmä

Tekijä Kärki, Petteri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 40	Valmistumisaika Kevät 2020
Työn nimi Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen parantaminen lämpöpumpputekniikalla		
Tutkinto Insinööri AMK		
Tiivistelmä <p>Matalalämpöistä energiaa hyödyntävien tekniikoiden, kuten maalämpöpumppu, ilmalämpöpumppu ja ilmavesilämpöpumppu on lisääntynyt huomattavasti Suomessa 2000 luvulla uudisrakentamisessa. Saneerauskohteissa, joissa lämmitysjärjestelmä on toteutettu vesikiertoisena, lämmitysjärjestelmän uusiminen energia tehokkaampaan on usein niin suuri investointi, että kestää monta vuotta, kunnes investointi on maksanut itsensä takaisin.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia teoriassa, olisiko perinteisten vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta mahdollista nostaa lämpöpumpputekniikalla. Integroimalla jo olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään kylmäainepiiri. Ilman ulkopuolelta otettavaa ilmaista energiaa, eli järjestelmään ei tulisi ulkotiloihin sijoitettavaa maalämpökaivoa tai ilmalämpöpumpuista tuttua ulkoyksikköä. Näin saataisiin myös saneeraus kustannuksia pienennettyä.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin siis teoreettisesti mahdollisuutta parantaa vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta absorboimalla kiinteistön lämmitysverkoston paluvedestä siinä olevaa lämpöenergiaa lämpöpumppu tekniikan avulla. Eli paluveden lämpösisältö otettaisiin talteen paremmalla hyötysuhteella kuin mitä perinteisellä lämpökattila tekniikalla pystytään menovettä lämmittämään. Kyseessä oleva järjestely sai nimekseen tässä työssä paluuvesilämpöpumppu.</p> <p>Työn tuloksena saatiin teoriassa laskennallisesti tarkasteltua, että tällä järjestelyllä voisi olla mahdollista nostaa vesikiertoisten lämmitysjärjestelmän hyötösuhdetta. Todetaan kuitenkin, että laskelmat ovat jokseenkin suuntaa antavia.</p> <p>Työ tehtiin itsenäisenä tutkimuksena sillä ei ollut toimeksiantajaa.</p>		
Asiasanat Hyötysuhde, lämpöpumppu, paluuvesi, lämpökerroin		

Abstract

Author Kärki, Petteri	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2020
	Number of pages 40	
Title of publication Improvement of the efficiency of a waterborne heating system with heat pump technology		
Name of Degree Bachelor of Engineering		
Abstract <p>The use of low-heat energy technologies such as geothermal heat pump, air heat pump and air-water heat pump have been increasing notably in Finland during the 21st century, especially in new building construction. In renovation projects where the heating system is executed as a waterborne heating system, the investment to replace a heating system with a more energy efficient one is often so large that it will take many years until the investment has paid off.</p> <p>The aim of this thesis was to study in theory whether it would be possible to increase the efficiency of conventional waterborne heating systems by using heat pump technology, by integrating a refrigerant circuit into an existing heating system, without the use of cost free external energy. So this kind of system would not have an outdoor geothermal well or an outdoor unit familiar from air heat pumps, thus reducing the cost of renovation.</p> <p>Thus, the thesis investigated theoretically the possibility to improve the efficiency of the waterborne heating system by absorbing the heat energy contained in the return water of the heating system of the building by means of a heat pump technology. That is, the heat content of the return water would be recovered with a higher efficiency than what traditional boiler technology is capable of heating the outgoing water. The arrangement in question was named "the return water heat pump" in this work.</p> <p>As a result of the study, it was theoretically shown by calculations that with such an arrangement it could be possible to increase the efficiency of the waterborne heating system. However, it is noted that the calculations are somewhat indicative.</p> <p>The work was done as an independent study as it had no client.</p>		
Keywords Efficiency, heat pump, return water, coefficient of performance		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	VESIKIERTOINEN KESKUSLÄMMITYS	3
2.1	Keskuslämmitys.....	3
2.2	Lämmityksen säätäminen	5
2.3	Lämmitysveden virtaama.....	7
2.4	Yleisimmät keskuslämmityksen lämmönlähteet	8
2.4.1	Öljylämmitys	8
2.4.2	Maakaasulämmitys.....	9
2.4.3	Puupellettilämmitys.....	10
2.4.4	Sähkölämmitys	12
2.4.5	Maalämpöpumppu.....	13
2.4.6	Ilma-vesilämpöpumppu.....	14
3	LÄMPÖPUMPPU.....	16
3.1	Historiaa	16
3.2	Kylmäpiirin toimintaperiaate.....	17
3.2.1	Tulistuksen jäähdytyksen käyttö	18
3.2.2	Vaihtoventtiilin käyttö.....	20
3.3	Lämpöpumpun pääkomponentit ja niiden toiminta	21
3.4	Kylmäaineet.....	21
3.5	Kompressorit	22
3.6	Kompressorin tehon säätö.....	24
3.7	Termostaattinen ja elektroninen paisuntaventtiili.....	25
3.8	Lämmönsiirtimet	27
4	PALUULÄMPÖPUMPPU	29
4.1	Paluulämpöpumpun lämpökerroin	30
4.2	Paluulämpöpumpun rakenne	32
4.3	Exergia-analyysi ja paluulämpöpumpun teoreettinen teho	33
4.4	Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen nousu paluulämpöpumpulla	35
5	POHDINTAA.....	36
6	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	38

1 JOHDANTO

Suomi on osana Euroopan unionia sitoutunut Pariisin ilmastopöytäkirjaan. Eduskunta-puolueiden yhteisen linjauksen mukaan tavoite edellyttää pitkän aikavälin ilmastotoimien rakentamista siten, että EU:n hiilineutraalius saavutetaan ennen vuotta 2050.

Suomi on vähentänyt päästöjään yli 21 prosenttia vuoden 1990 tasosta ja saavuttaa EU:n vuoden 2020 ilmastotavoitteet etuajassa. Kuitenkin 1,5 asteen tavoite tarkoittaa myös Suomen päästövähennysten tiukentamista. (Valtioneuvosto 2019, 3.1)

Suomessa energian käyttö on erittäin tehokasta verrattuna moneen muuhun maahan. Suomi on kuitenkin harvaan asuttu maa, pitkät välimatkat, haja-asutusalueilla huonosti järjestetty joukkoliikenne, täällä on kylmä ilmasto ja korkea elintaso. Tämä johtaa siihen, että energian kulutus henkilöä kohden on keskimäärin länsimaata suurempi.

Matalalämpöistä energiaa hyödyntävien tekniikoiden kuten maalämpöpumppu, ilmalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu on lisääntynyt huomattavasti Suomessa 2000-luvulla. Etenkin uudisrakentamisessa. Saneerauskohteissa, joissa lämmitysjärjestelmä on toteutettu vesikiertoisena, investointi lämmitysjärjestelmän uusimiseksi energia tehokkaampaan on usein niin suuri, että kestää monta vuotta, kunnes investointi on maksanut itsensä takaisin.

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella teoriassa, onko perinteisten vesikiertoisten lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta mahdollista nostaa käyttämällä lämpöpumpputekniikkaa jo olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään ilman ulkopuolelta otettavaa ilmaista energiaa. Eli järjestelmään ei tulisi ulkotiloihin sijoitettavaa maalämpökaivoa tai ilmalämpöpumppuista tuttua ulkoyksikköä ja näin saataisiin saneeraus kustannuksia pienennettyä. Hyötysuhteen nostaminen pienentäisi siis energian kulutusta, mutta samalla vähentäisi myös hiilidioksidipäästöjä. Eritoten päästöjen pienentäminen kohdentuisi lämmitysjärjestelmiin missä lämmityskattilaa lämmitetään palavalla polttoaineella kuten öljy, kaasu, pelletti ja puu.

Tarkastelelta lähestyttiin niin, että miten kyseinen järjestely voitaisiin tehdä mahdollisimman edullisesti keksimättä mitään uutta teknologiaa vaan käytettäisiin jo olemassa hyväksi todettuja laitteita, jolloin näihin soveltuisi myös jo olemassa olevat lämpöpöydin, sekä termodynamiikan laskentakaavat. Näin ollen niitä on myös helpompi tarkastella teoreettisesti.

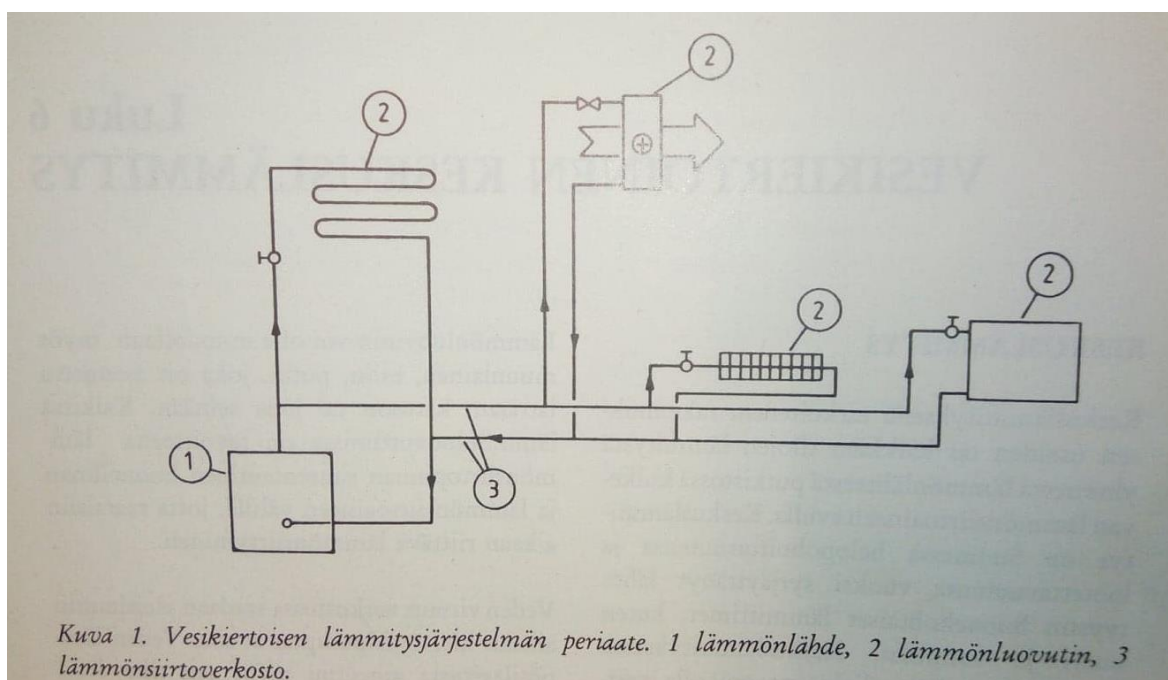
Koska lämpöpumpputekniikalla yleensä hyödynnetään matalalämpöistä, energiaa niin sen integroiminen itse lämpökattilaan ei olisi kovin järkevää tai edes mahdollista korkeiden

lämpötilojen takia, kun otetaan huomioon höyrystimessä olevan kylmäineen kriittinen piste. Sitä kautta päädyin tarkastelemaan ratkaisua, jossa lämpöpumpun lämmönkeruupiiri sijoitetaan niin, että kiinteistön lämmitysverkostosta lämpökattilalle palaava vesi johdetaan lämpöpumpun höyrystimeen, jonka läpi se virtaa ja samalla lämmittää kylmäainetta. Tällöin kylmäaineeseen abortoituva lämpö ei ylitä niin helposti tai usein kriittistä pistettä, mutta toisaalta lämmönkeruupiirissä ei tarvitse käyttää glykolia tai etanolia jäädytysriskin takia, joten keruunesteenä voidaan käyttää vettä.

2 VESIKIERTOINEN KESKUSLÄMMITYS

2.1 Keskuslämmitys

Lämmitysjärjestelmällä, jolla lämmitetään rakennuksen kaikkia tai useita tiloja yhteisestä lämmönlähteestä putkistossa kulkevan lämmönsiirtoaineen avulla, tarkoitetaan keskuslämmitystä. Helppohoitoisuutensa ja luetettavuutensa vuoksi keskuslämmitys on nykypäivän Suomessa korvannut aikaisemmin yleiset huonekohtaiset lämmittimet, kuten uunit ja kamiinat. Niitä käytetäänkin nykyään yleisimmin lähinnä lisälämmönlähteenä. Lämpöä siirtävänä väliaineena keskuslämmityksessä voi olla vesi, höyry tai ilma. Vesi on näistä ehdottomasti yleisin hyvän lämmönsiirtokykynsä vuoksi. Vesikiertoisen keskuslämmitysjärjestelmän osat voidaan jakaa seuraavasti (kuva 1): lämmönlähde, lämmönsiirtoverkosto ja lämmönluovuttimet.



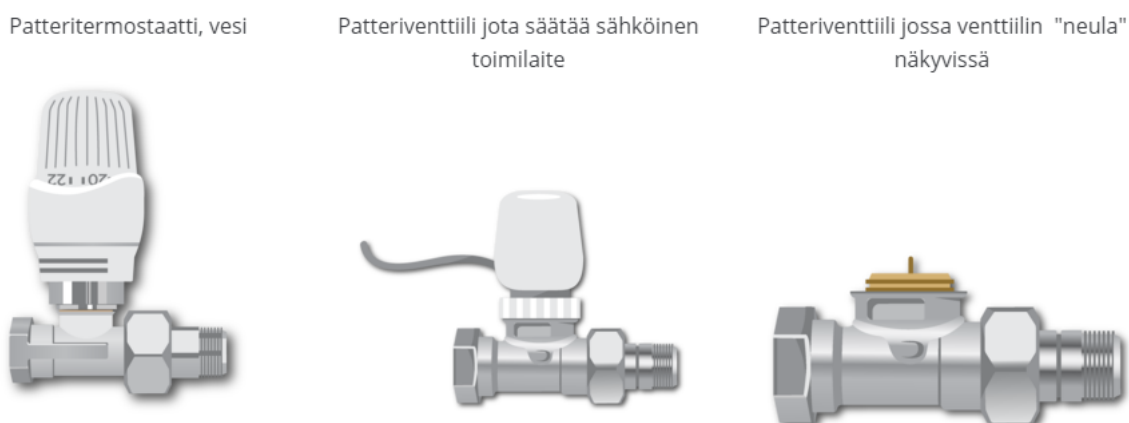
Kuva 1. Vesikiertoinen keskuslämmitysjärjestelmä (Seppänen 1995, 120)

Lämmönlähteenä voi olla lämmityskattila kuten esimerkiksi öljy-, pelletti-, sähkö-, hake-, tai kaasukattila. Kaukolämmössä käytetään rakennuskohtaista alakeskusta, missä rakennuksen lämmitysjärjestelmässä kiertävä vesi lämmitetään kaukolämpöverkoston veden avulla. (Seppänen 1995, 119-123)

Rakennuksen lämmönsiirtoverkoston rungon muodostavat meno- ja paluuesiputket. Nykypäivänä komposiittiputket ovat korvaamassa vanhat teräksiset ja kupari putket. Myös muoviputkia käytetään. Tärkeän osan verkostosta muodostaa myös erilaiset varusteet,

kuten sulku- ja säätöventtiilit, lämpömittarit, suodattimet, yksisuuntaventtiilit, sekoitusventtiili ynnä muut laitteet. (Seppänen 1995, 119-123.)

Lämmitysverkostossa kiertävästä vedestä lämpö siirtyy lämmönluovuttimen kautta huoneeseen. Patterilämmitys on perinteinen tapa toteuttaa vesikiertoinen lämmönjako. Yleisin järjestelmä on niin sanottu kaksiputkijärjestelmä, jossa meno- ja paluuedellä on omat putkistonsa. Kaikkiin pattereihin menee saman lämpöistä vettä. Nykyaikaisessa patterilämmityksessä putkitus toteutetaan alajakoisena, toisin sanoen putket sijoitetaan rakenteisiin näkymättömiin. Rakenteisiin sijoitettavat putket asennetaan suojaputkiin, jolloin putket ovat vaihdettavissa. Pattereissa kiertävän veden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Lämmityksen hienosäätö tehdään pattereiden termostaattiventtiileillä (kuvio 2). Patteri on tavallisimmin sijoitettu ulkoseinälle ikkunan alle. (Seppänen 1995, 119-123): (Motiva 2020b.)

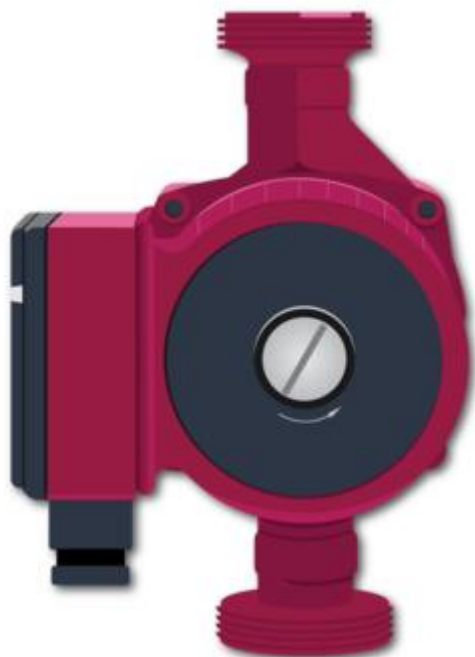


Kuvio 2. Pattereiden termostaattiventtiileitä (Motiva 2020a)

Lämmönluovutin voi olla rakenteeltaan erilainen esimerkiksi lämmönluovutusputki, joka on useimmiten asennettu lattiarakenteeseen eli lattialämmitys. Vesikiertoinen lattialämmitys on selvästi yleisin lämmönjakotapa uusissa pientaloissa. Lattiarakenteeseen asennetuissa putkissa kiertää korkeintaan noin 40-asteinen vesi. Vesikiertoinen lattialämmitys sopii kaikkiin huonetiloihin ja lähes kaikkien pintamateriaalien kanssa käytettäväksi. Lattialämmitysputket voidaan asentaa niin betonilaattaan kuin puurakenteeseen lattiaan. Kosteisiin tiloihin kannattaa suunnitella erillinen lattialämmityspiiri, sillä näiden tilojen lattialämmitystä halutaan usein pitää päällä kesälläkin. (Motiva 2020b.) Kaikissa lämmönluovuttimissa on tavoitteena lämmönsiirtopinnan suurentaminen huoneilman ja lämmönsiirtoaineen välillä, jotta saataisiin aikaan riittävä lämmönsiirtyminen (Seppänen 1995, 119-123).

Veden virtaus verkostossa saadaan yleisimmin aikaan kiertovesipumpun avulla. Veden lämpötilaeroista aiheutuu myös sen tiheydessä eroja, jotka saavat aikaan kiertovoiman.

Tällaista painovoimaan perustuvaa luonnonkiertoista järjestelmää käytettiin ennen kiertovesipumppujen yleistymistä keskuslämmitysjärjestelmissä. (Seppänen 1995, 119-123). Kiertovesipumppu (Kuvio 3) pyörii vesikiertoisessa järjestelmässä kohteen mukaan noin 9–12 kuukautta vuodesta. Vanhat pumput ovat energiasyöppöjä, saattavat olla mitoitettu ylisuureksi ja muodostavat riskin lämmityksen luotettavuudelle. Jos kiertovesipumppu ei toimi, lämmitys ei toimi (Motiva 2020a).



KUVA: Perinteinen kiertovesipumppu

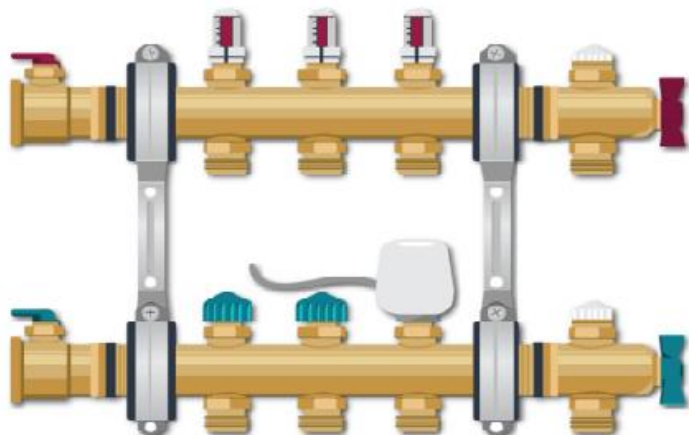
Kuvio 3. Kiertovesipumppu. (Motiva 2020a)

2.2 Lämmityksen säätäminen

Lämmitysverkkoon menevän veden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Mitä kylmempää on, sitä lämpimämpää vettä kierrätetään. Asukkaat voivat itse säätää säätökäyrää. Oikein aseteltu säätökäyrä takaa halutun sisälämpötilan. (Motiva 2020b). Sisäilmastotutkimusten mukaan suurin osa ihmisistä on tyytyväisiä, kun oleskelutilojen huonelämpötila on hieman yli 21 °C. Sitä pidetään myös terveellisenä ja energiataloudellisena lämpötilana (Motiva 2020c).

Lämmitysverkon hienosäätö tehdään patteriventtiilien ja lattialämmityksessä jakotukin (kuvio 4.) säätöventtiilin avulla. Oikein säädetty ja tasapainotettu lämmönjakoverkosto pitää huonelämpötilat tasaisina ja säästää energiaa. Patteritermostaateilla ja lattialämmitystä

säätävillä huonekohtaisilla termostaateilla estetään yllilämpö, jos huoneeseen tulee lämpöä esimerkiksi tulisijoista, auringon säteilyistä tai muista lämpökuormista. (Motiva 2020c)



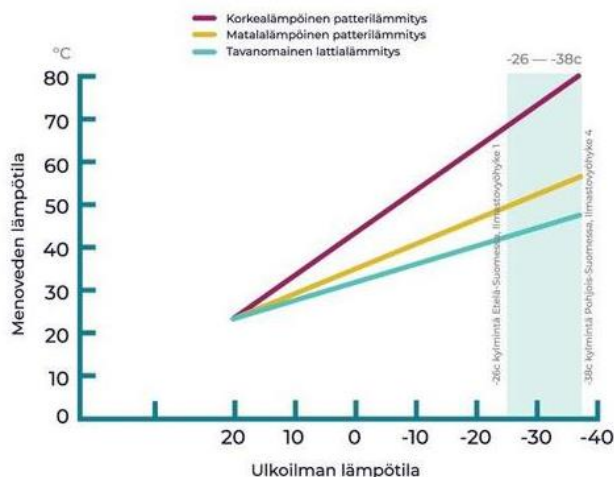
Vesikiertoisen lattialämmityksen jakotukki

Kuvio 4. Lattialämmityksen jakotukki (Motiva 2020a).

Lämmityksen säätökäyrällä (Kuvio 5) ohjataan vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilaa. Lämmityksen menoveden lämpötilaa ohjataan ulkolämpötilan mukaan – mitä kylmempi sää on, sitä korkeampi on menoveden lämpötila. Näin talon yllilämmitys minimoituu, energiaa säästyy ja mahdollinen lämpöpumppu toimii mahdollisimman suotuisissa olosuhteissa. (Motiva 2020a)

Lämmönsäätöautomaatiikka kannattaa asennuttaa järjestelmään, jos sitä ei ennestään siinä ole. Uusiin vesikiertokohteisiin se asennetaan lähes aina, ja se on kuulunut useimpiin 2000-luvun vesikiertoon kytkettäviin lämmityslaitteisiin jo vakiona. Automaatiikka mittaa ulkolämpötilan ja ohjaa sen mukaan menovesilämpötilaa valitun säätökäyrän (Kuvio 5) ja suuntaussiirron mukaisesti. (Motiva 2020a)

Tavoitteena on, että ulkolämpötilavaihtelut eivät juurikaan muuta sisälämpötilaa. Vanhemmat säätölaitteet ovat useimmiten analogisia, kun taas uudet termostaatit ovat selvästi aiempaa useammin digitaalisia ja ohjelmoitavia. (Motiva 2020a)



Yleisemmin säätökäyrän asettelussa muutetaan säätökäyrän jyrkkyyttä (kulmakerroin) ja sen korkeustasoa (= ns. suuntaissiirto):

- Vain kovilla pakkasilla huonelämpötilat ovat liian korkeat – valitaan loivempi säätökäyrä.
- Vain kovilla pakkasilla huonelämpötilat ovat liian matalat – valitaan vastaavasti jyrkempi säätökäyrä.
- Huonelämpötilat ovat tasaiset eri ulkolämpötiloilla, mutta liian korkeat – lasketaan käyrää suuntaissiirron avulla.

Kuvio 5. Menoveden säätökäyrä ulkoilman lämpötilan suhteessa. (Motiva 2020a)

2.3 Lämmitysveden virtaama

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän putkiverkoston tavoitteena on viedä jokaiseen huoneeseen sen säädetyn lämmöntarpeen edellyttämä lämpöteho. Tarvittava lämpöteho saadaan lämmöntarvelaskelmien perusteella. Kokonaistehoon kuuluu johtumislämpöhäviöt ja ilmavuodot. Ilmanvaihto lisää kokonaistehon tarvetta riippuen ilmanvaihtotavasta. Uudisrakennuksissa on lähes aina koneellinen ilmanvaihto, joka voidaan toteuttaa raitisilman esilämmityksellä (Kuvio 6). Vanhemmassa rakennuskannassa ilmanvaihto on toteutettu painovoimaisena tai koneellisena poistona, jolloin raitisilma otetaan suoraan raitisilmaventtiileistä ilman esilämmitystä. Lämmitysveden massavirta eli virtaama määräytyy tarvittavan lämpötehon ja lämmönluovuttimen lämpötila eron avulla. (Seppänen 1995, 119-123). Se saadaan kaavasta 1 (LVI 12-10343, 2002, 6):

$$q_v = \frac{\Sigma\Phi}{c_{pv} \rho_v (T_m - T_p)} \quad (1)$$

q_v = kiertopiirin vesivirta, dm^3/s

$\Sigma\Phi$ = kiertopiirin kokonaisteho, kW

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg °C

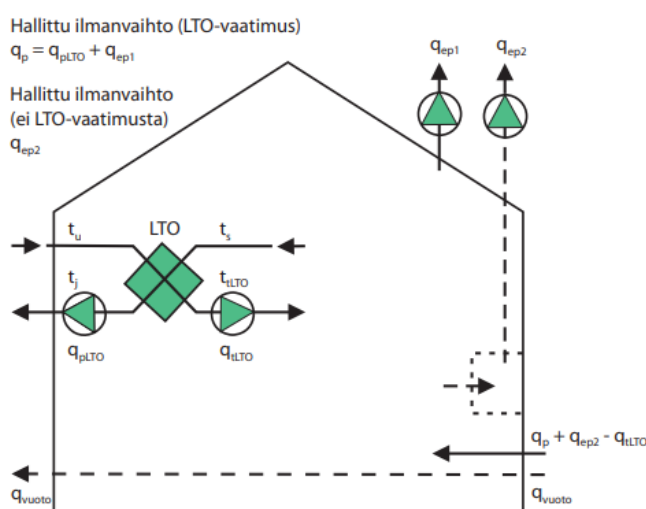
ρ_v = veden tiheys, 1000 kg/m³

t_m = menoveden lämpötila, °C

t_p = paluueden lämpötila, °C

Lämpötilaerotus $T_m - T_p$ on siis ratkaiseva lämmitysveden virtaaman ja putkien mitoituksen kannalta. Mitä suurempi lämpötilaero on, sitä pienemmäksi tulee virtaama ja putkien halkaisija. Samalla kuitenkin lämmönluovuttimen keskilämpötila alenee, jolloin tarvitaan suurempi patteripinta-ala saman lämpötehon saavuttamiseksi. Lämpötilaeron pienentyessä putket kasvavat, mutta lämmittimen lämmönluovutus pinta pienenee vastaavasti. Lämpötilaeron valinnassa on siis kysymyksessä teknistaloudellinen optimointi. Kokemusperäisesti on päädytty arvoon ($T_m - T_p = 30^\circ\text{C}$). Aiemmin käytettiin pienempää lämpötilaeroa 20°C . Lämpötila vaikuttaa veden ominaisuuksiin, joten se tulee ottaa huomioon. Vaikutus on kuitenkin vähäinen. Yleisimmin käytettävät mitoituslämpötilat ovat:

$T_m/T_p = 70/40^\circ\text{C}$ $60/40^\circ\text{C}$ $60/50^\circ\text{C}$. (LVI 12-10343. 2002, 2)



Kuvio 6. Raitisilman esilämmityksen periaatekuva. (LVI 38-10454, 2010, 1)

2.4 Yleisimmät keskuslämmityksen lämmönlähteet

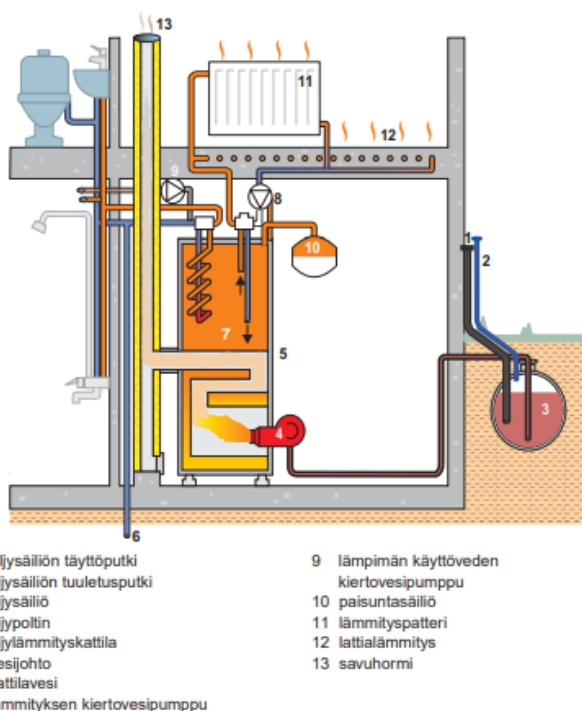
2.4.1 Öljylämmitys

Öljylämmitysjärjestelmä koostuu öljykattilasta, öljypolttimesta, säätölaitteista ja öljysäiliöstä (Kuvio 7). Järjestelmä tuottaa sekä huonetilojen että lämpimän käyttöveden tarvitseman energian, joten erillistä lämminvesivaraajaa ei tarvita. Lämpö jaetaan huoneisiin vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä. Nykyaikaisten öljylämmityskattiloiden hyötysuhde on erittäin hyvä, noin 90-95 prosenttia, ja palaminen on hyvin puhdasta.

Öljylämmityksen osuus uusissa pientaloissa on tällä hetkellä hyvin pieni, johtuen öljyn hinnan noususta ja vaihteluista. Kehitteillä ja osin jo käytössä on polttonesteitä, joissa osa

polttoaineesta on biopohjaista. Öljylämmitys voidaan yhdistää aurinkolämmitykseen, jolloin noin 25-35 prosenttia lämmöntarpeesta voidaan kattaa aurinkolämpöjärjestelmällä. Lisäksi tarjolla on kaksoispesäkattiloita, jolloin öljyn rinnalla voidaan käyttää puuta.

Öljylämmityskattilassa on mahdollisten häiriöiden varalta sähkövastukset. Ammattilaisen tekemä määräaikaishuolto takaa puhtaan palamisen ja polttoaineen tehokkaan käytön. Kattila nuohotaan ja poltin huolletaan noin kerran vuodessa. Öljysäiliö on hyvä puhdistaa 5-10 vuoden välein säiliön mukaan. (Motiva 2020d)

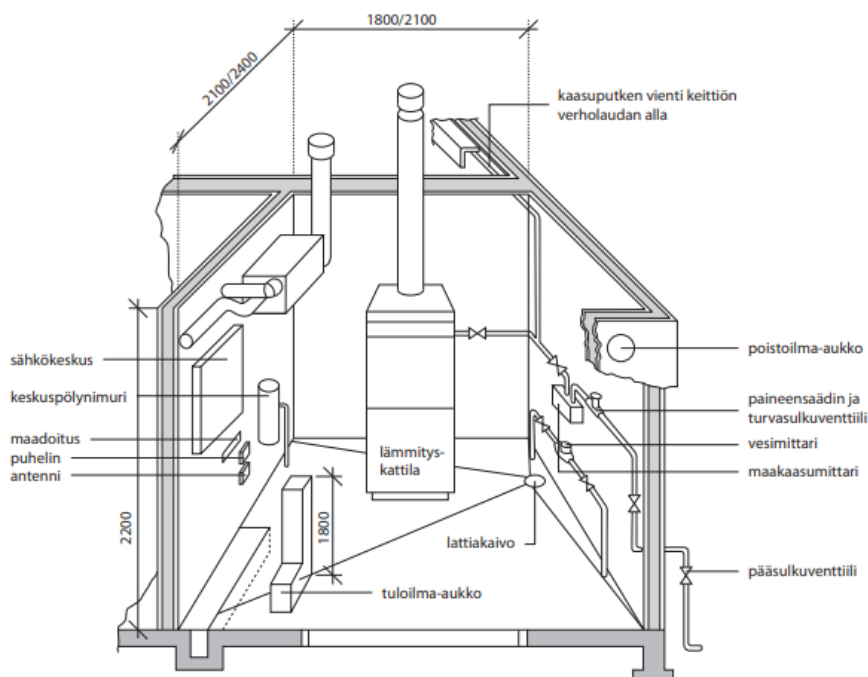


Kuva 2.
Kevytöljylämmitysjärjestelmän osat.

Kuvio 7. Öljylämmitysjärjestelmä. (LVI 11-10394. 2005, 5)

2.4.2 Maakaasulämmitys

Maakaasulla toimiva lämmitysjärjestelmä koostuu lämmityskattilasta, siihen liitetystä kaasupolttimesta ja vesikiertoisesta lämmönjakojärjestelmästä (Kuvio 8). Jos lämmitysenergiaksi on valittu maakaasu, sitä kannattaa hyödyntää myös esimerkiksi keittiön liedessä. Järjestelmä on hyvin samankaltainen kuin öljylämmityksessä ja lähes kaikkia öljylämmityskattiloita voidaan käyttää myös kaasulla. Maakaasua ei kuitenkaan varastoida kuten öljyä, vaan järjestelmä liitetään paikkakunnan jakeluverkostoon. Maakaasun jakelu-yhtiö huolehtii jakeluputkiston asennuksesta sekä mittaus- ja säätölaitteista kaasumittarille saakka. (Motiva 2020d.)



Kuva 10. Omakotitalo- ja vastaavissa kiinteistöissä kaikki kunnallistekniset yhteydet kannattaa koota samaan tilaan. Paikallisilla energialaitoksilla sekä rakennusvalvontaviranomaisilla on lisäksi paikkakuntakohtaisia vaatimuksia, jotka on selvitettävä aina jo suunnitteluvaiheessa.

Kuvio 8. Maakaasulämmitysjärjestelmä periaatekuva (LVI 62-10463, 2011, 15)

2.4.3 Puupellettilämmitys

Puupelletit ovat uusiutuvaa bioenergiaa. Ne ovat sylinterin muotoisia puristeita, jotka on valmistettu teollisesti mekaanisen puunjalostusteollisuuden sivutuotteista kuten sahanpurusta ja kutterinpurusta. Pellettien käsittelyominaisuuksia voidaan parantaa luonnonmukaisilla sideaineilla vaikuttamatta pellettien palamisominaisuuksiin. (Kuvio 9) (RT 52-10876, 2006, 1). Pelleteissä on puuenergiaa hyvin tiiviissä muodossa – yksi kuutio pellettejä sisältää saman energiamäärän kuin 300-330 litraa kevyttä polttoöljyä. Puupelletit ovat kotimaista polttoainetta, ja niiden ympäristökuormitus on hyvin pieni. (Motiva 2020d.)

Tuottaja	Oy Yritys Ab	Osoite
Alkuperä	1.2.1.1	Kuoreton puu
Kauppanimike	Pelletti	
Valmistusmaa ja paikkakunta	Suomi, Jyväskylä	
Velvoittavat (CEN/TS 14961:fi)		
Mitat (mm) (halkaisija D ja pituus L)	D08 ($D \leq 8 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ja $L \leq 4 \times \text{halkaisija}$)	
Kosteus (p-% saapumistilassa)	M10 ($\leq 10 \text{ p-%}$)	
Tuhkapitoisuus (p-% kuiva-aineesta)	A0.7 ($\leq 0,7 \text{ p-%}$)	
Mekaaninen kestävyys (p-% pellettejä testauksen jälkeen)	DU97,5 ($\geq 97,5 \text{ p-%}$)	
Hienoaineksen määrä tehtaan portilla (p-% < 3,15 mm)	F1.0 ($\leq 1 \text{ p-%}$)	
Lisäaineet (p-% raaka-aineesta)	Täkkelys ($< 1 \text{ p-%}$)	
Opastavat (CEN/TS 14961:fi)		
Irtotiheys (kg/irto-m ³)	BD600 ($\geq 600 \text{ kg/irto-m}^3$)	
Energiatiheys (kWh/kg)	E4,7 ($\geq 4,7 \text{ kWh/kg}$)	

*Kuva 2.
Esimerkki korkealuokkaisen puupelletin laadunvarmistustodistuksesta.*

Kuvio 8. Puupellettien ominaisuuksia (RT 52-10876, 2006, 2)

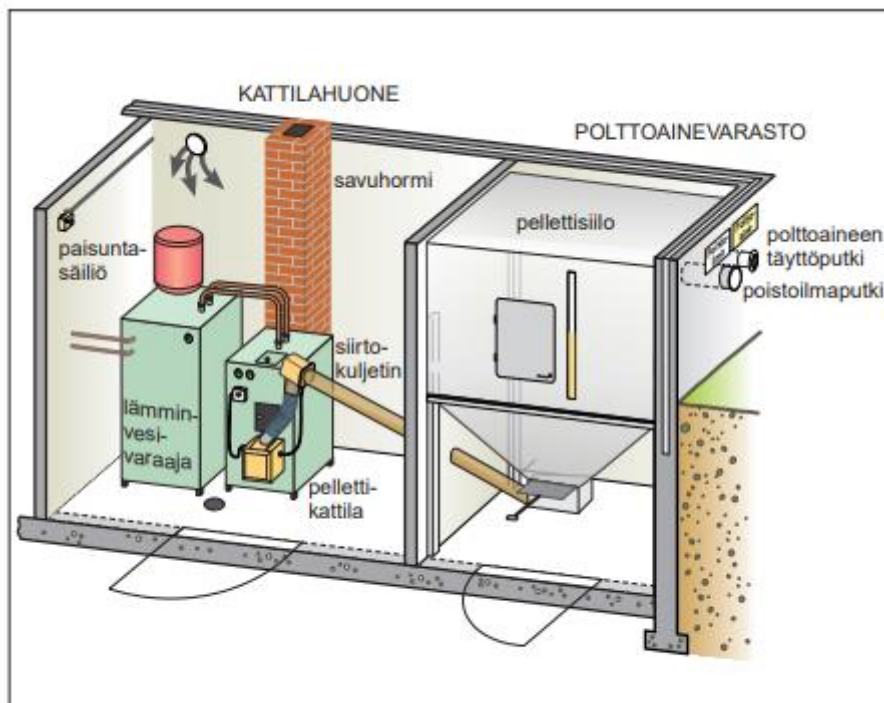
Pelletit siirretään varastosta polttimelle siirtoruuvilla. Pellettejä poltetaan erityisesti pellettien polttoon suunnitelluissa polttimissa. Polttimen ohjausyksikkö säätelee polttoaineen syöttöruuvien, palamisilmapuhaltimen ja polttimen toimintaa lämmöntarpeen mukaan (Kuvio 9). Pellettipoltin voidaan asentaa erityisesti pelletin polttoon suunniteltuun kattilaan, mutta myös useimpiin öljy- ja puukattiloihin. (Motiva 2020d). Puupellettejä voidaan polttaa myös muille kiinteille biopolttoaineille suunnitelluilla stokeripolttimilla. (RT 52-10876. 2006, 2)

Pelletti voidaan toimittaa asiakkaalle säiliöautolla, kun tilausmäärä on vähintään 4 tonnia. Tontin suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon se, että säiliöauton on päästävä vähintään 15 m etäisyydelle pellettivarastosta. Pellettiä voidaan hankkia myös 500 kg:n suurisäkeissä. (Motiva 2020d). Pellettisiilo on irtopellettien säilyttämiseen suunniteltu lieriön tai suorakaiteen muotoinen alaspäin kapeneva tila, jossa pelletit valuvat painovoimaisesti siilon pohjalla olevaan kuljettimeen. Pellettisiilo voi olla tehdasvalmisteinen tai paikalla rakennettu. (RT 52-10876, 2006, 2)

Pellettikattila nuohotaan ja tuhkat poistetaan säännöllisesti. Joissain kattilatyypeissä huolto on tehtävä 1-2 kuukauden välein, täysautomaattisissa kattiloissa muutaman kerran vuodessa. Kattilan säädöistä sekä polttimen, palopesän ja kattilan puhdistuksesta huolehtiminen pitää myös palamisen hiukkaspäästöt pieninä. Siilo on hyvä puhdistaa muutaman

vuoden välein, sillä siilon pohjalle kertyy hienoainesta, joka saattaa haitata pelletin siirtoa.

Pellettilämmityksen markkinaosuus uusissa pientaloissa on vielä melko pieni, mutta on odotettavissa, että se kasvattaa suosiotaan. (Motiva 2020d.)



Kuva 1.
Pellettilämmitysjärjestelmä.

Kuvio 9. Pellettilämmitysjärjestelmä (RT 52-10876, 2006, 2)

2.4.4 Sähkölämmitys

Vesikeskuslämmityksen lämmönlähteenä voidaan käyttää myös sähköä. Lämmöntuottolaitteena on silloin joko sähkövastuksilla varustettu varaaja tai sähkökattila. (Motiva 2020d). Sähkö on Suomessa yleinen rakennusten lämmönlähde varsinkin pientaloissa. (LVI 10-10397, 2006, 6).

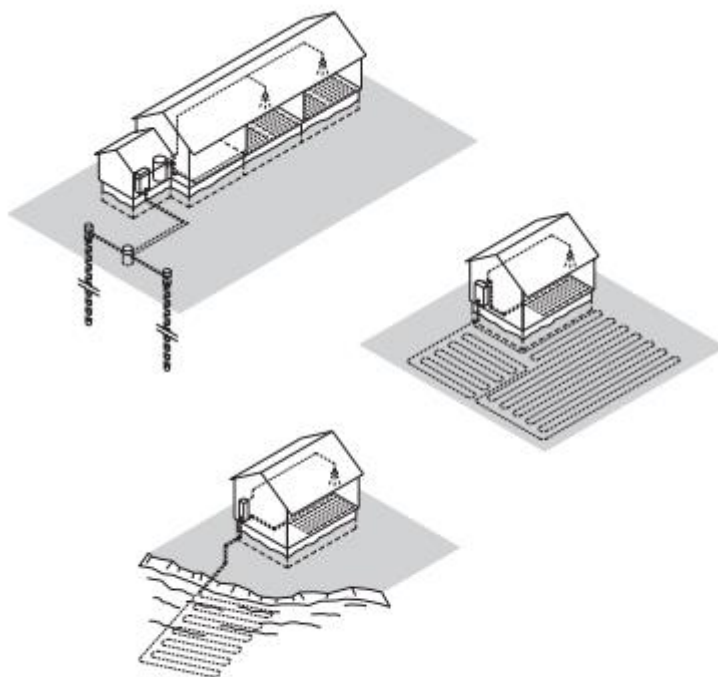
Sähkövaraajan koko on tyypillisesti 1-2 m³. Sillä tuotetaan sekä tilojen lämmitysenergia että lämpimän käyttöveden tarvitsema energia. Tavoitteena on, että yösähkön osuus on noin 90 prosenttia. Tällä tavoin selvittää huomattavasti pienemmällä varaajakoolla, jolloin hankintahinta on pienempi. Sähkövaraajia voidaan käyttää myös puukattiloiden yhteydessä. Suuri varaaja mahdollistaa myös aurinkoenergian hyödyntämisen. (Motiva 2020d)

Sähkökattila tuottaa joka hetki talon tarvitseman lämmitysenergian sähkövastuksilla. Lämpö jaetaan huonetiloihin vesikiertoisella lämmönjakojärjestelmällä. Lämpöä ei yleensä varata yösähköllä, mutta järjestelmään voidaan liittää myös varaaja. Sähkökattila sopii

parhaiten pienehköihin, noin 100 m²:n kokoisiin omakotitaloihin sekä taloihin, joissa lämmitystarve on pieni, jolloin varaavuudesta ei saada niin suurta hyötyä. (Motiva 2020d)

2.4.5 Maalämpöpumppu

Maalämpö on aurinkoenergiaa, joka on varastoitunut maa- ja kallioperään sekä vesistöjen pohjasedimenttiin auringonsäteilyn ja maan sisäosista vapautuvan lämmön vaikutuksesta. Lämpöpumpun kompressorin avulla maaperästä saatu lämpöenergia nostetaan lämmityksessä tarvittavalle tasolle ja lämpö siirretään lämmitysjärjestelmään ja lämpimään käyttöveeseen. Maalämpöjärjestelmään kuuluva lämmönkeruuputkisto voidaan sijoittaa kallioperään, maaperään tai vesistöön, tai se voi olla myös näiden yhdistelmä (Kuvio 10). Tontin tai rakennuspaikan maaperäolosuhteet sekä tarvittavat luvat selvitetään riittävän tarkasti jo suunnitteluvaiheessa, jotta voidaan valita ja suunnitella oikean tyyppinen ja kohteeseen sopiva lämmönkeruujärjestelmä. Maalämpöjärjestelmä voidaan kytkeä niin uuden pientalon vesikiertoiseen lattialämmitykseen kuin myös jo olemassa olevan rakennuksen patterilämmitykseen. Maalämpöjärjestelmän kannattavuus on sidoksissa rakennuksen energiantarpeeseen. Investoinnin kannattavuutta kannattaa tarkastella esimerkiksi 10–20 vuoden käyttöikäkustannusten kautta pientaloissa. (LVI 11-10623.2011, 1)



Kuva 1. Maalämmitysjärjestelmässä lämmitysenergia otetaan kallioperästä, maaperästä tai vesistöistä.

Kuvio 10. Maalämpöjärjestelmään kuuluva lämmönkeruuputkisto. (LVI 11-10623, 2011, 1)

Lämmönkeruupiiri tulee mitoittaa talon tilojen lämmityksen ja käyttöveden tarvitseman vuotuisen energian mukaisesti. Reilusti mitoitettu lämmönkeruupiiri maksaa itsensä takaisin hieman paremman lämpökertoimen muodossa pitkällä aikavälillä. Lämpöpumpun tehomitoitus ei juurikaan vaikuta lämmönkeruupiirin mitoitukseen. Maaperässä maan kosteuden määrä vaikuttaa oleellisesti vaakaputkistona olevan lämmönkeruupiirin energiatehokkuuteen. Lämpökaivon ja pienten vesistöjenkin osalta runsaat vesivirtaukset parantavat lämmönkeruupiirin tehoa selvästi. (Motiva 2020d)

Maalämpöpumpun investointikustannukset ovat melko suuret, mutta käyttökustannukset ovat edulliset. Suuremmissa taloissa investointikin on suurempi. Vastaavasti saneerauskohteiden investointi on suurempi kuin uudistalojen kohdalla. Maalämpöinvestointi uuteen 150 m²:n taloon on noin 12 000-16 000 €. Lämmitysmuotoa vaihdettaessa vanhaan 150 m²:n taloon investointi on noin 15 000-22 000 €. (Motiva 2020d)

Maalämpöpumppujärjestelmissä lämpöenergiaa siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Tämä edellyttää ulkopuolisen energian tuomista prosessiin. Lämpöpumppujen avulla voidaan merkittävästi pienentää rakennuksen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittavan ostoenergian määrää. Lämpöpumppuja voidaan myös käyttää jäähdytykseen. (LVI 11-10623. 2011, 3)

Maalämpö voidaan mitoittaa osatehoiseksi tai täysitehoiseksi. Täysitehoinen maalämpöpumppu tuottaa lämmitys- ja käyttöveden kompressorinsa avulla laskennallisesti ilman sähkövastuksia vuoden ympäri. Etuna on pienempi sulakekoko ja energiankulutukseltaan taloudellisin mitoitustapa. (Motiva 2020d)

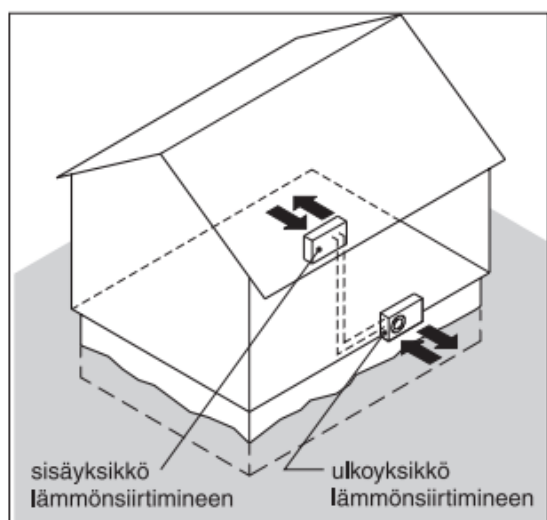
Osatehomitoituksessa maalämpöpumppu mitoitetaan yleensä noin 60-80 prosenttia suuruudelle verrattuna laskennalliseen huipputehontarpeeseen, jolla tuotetaan laskennallisesti noin 95-99 prosenttia vuotuisesta energiantarpeesta. Loput 1-5 prosenttia tuotetaan maalämpöpumpun vara/lisälämmitysvastuksella. Osatehomitoituksen etuna on yleensä hieman nopeampi investoinnin takaisinmaksuaika ja pidempi kompressorin kestoikä, haittapuolena muun muassa suurempi huipputehontarve sähköverkosta. (Motiva 2020d)

2.4.6 Ilma-vesilämpöpumppu

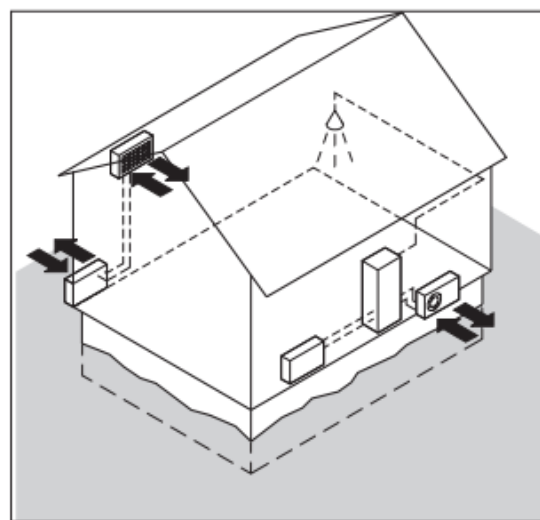
Ilma-vesilämpöpumppu eli ulkoilma-vesilämpöpumppu, UVLP on uusin lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä lämmitysratkaisu. Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa ulkoilmasta ja siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään (Kuvio 11). Kompressorilla voidaan lämmittää myös tilojen lämmitys- ja käyttövesi noin +50 celsiusasteen tasolle saakka, jonka ylimenevä osa on lämmitettävä esimerkiksi sähkövastuksella. (Motiva 2020d)

Ulkoilman etuna on helppo saatavuus. Lämmönotto suurinakaan määrinä ei aiheuta vaikutuksia ympäristöön. Pahin haitta on matala lämpötilataso suurimman lämmön tarpeen aikana. Ulkolämpötilan laskiessa höyrystyslämpötila laskee, samoin lämpöteho ja lämpökerroin. Ilmaa ei voi höyrystimessä myöskään jäädyttää kovin paljoa. Seurauksena on suuri ilmavirta, mikä aiheuttaa suuren puhallintehon (n. 30...40W lämmitystehon kW kohti) sekä puhaltimen meluongelman. Kompressorin käyttöalue rajoittaa ulkoilmalämpöpumpujen toiminnan ulkolämpötilan -25...-15 °C yläpuolelle (Aittomäki. 2012, 350) Koska ilma-vesilämpöpumppu tuottaa vähiten energiaa silloin kun lämmitystarve on suurimmillaan, järjestelmä tarvitsee rinnalleen täydelle lämmitystarpeelle mitoitettun toisen lämmitysjärjestelmän. Yleensä varalämmitysjärjestelmänä käytetään ilma-vesilämpöpumpun omia sähkövastuksia, joilla lämmitystarve katetaan kovimpien pakkasten aikana. (Motiva 2020d)

-20 celsiusasteen pakkasilla laadukkaan ja uudehkon ilma-vesilämpöpumpun lämpökerroin on useimmiten lattialämmityksen yhteydessä noin 1,4-1,8 kun sulatusjaksot on huomioitu. Vesipatterilämmityksen korkeamman lämpötila-alueen olosuhteissa vanhemmilla tai huonosti pakkasolosuhteisiin soveltuvilla ilma-vesilämpöpumpuilla lämpökerroin voi tipua kovimmilla pakkasilla sähkölämmityksen tasolle. Laitekohtaiset energiatehokkuuserot ovat suuria. (Motiva 2020d)



Kuva 8.
Ilma-ilma-lämpöpumpun kaaviokuva.



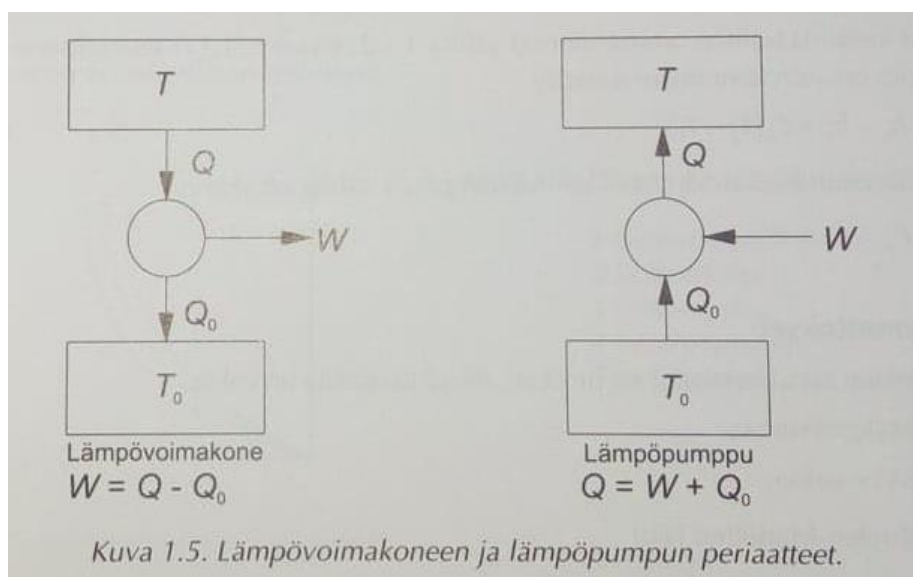
Kuva 9.
Ilma-vesi-lämpöpumpun kaaviokuva.

Kuvio 11. Ilmalämpöpumpujen kaaviokuva. (LVI 11-10332, 2002, 7)

3 LÄMPÖPUMPPU

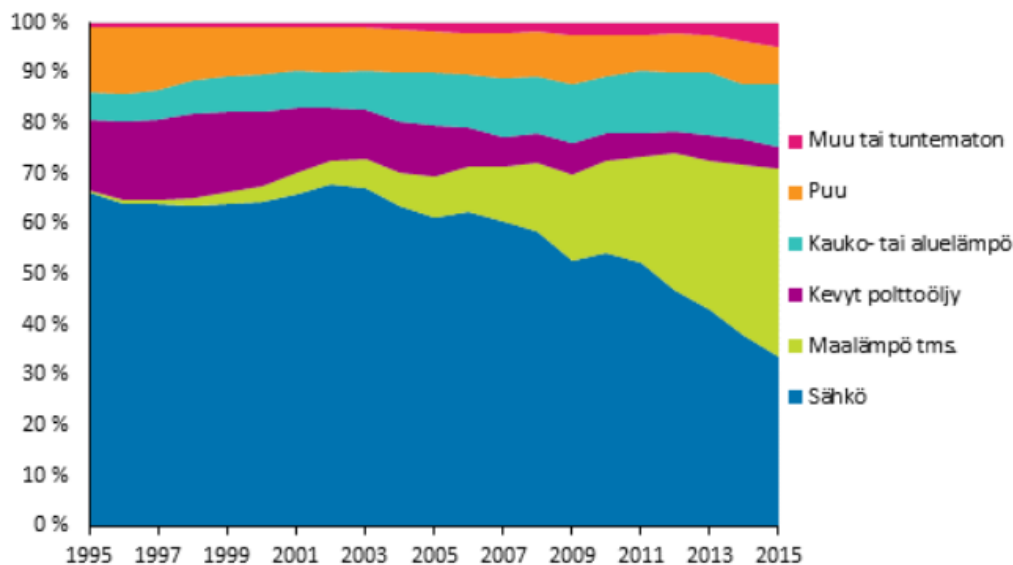
3.1 Historiaa

Lämpöpumppu ei ole uusi keksintö. Se perustuu ranskalaisen fyysikon Sandi Carno`n vuonna 1824 esittelemään idealisaatioon lämpövoimakoneesta, jonka hyötysuhde on mahdollisimman suuri. Tämä perustuu termodynamiikan toiseen pääsääntöön ja määrittelee, mikä on suurin lämpövoimakoneesta saatavissa oleva työ tai lämpöpumpussa tarvittava pienin työ (Kuvio 12). Molemmat teoreettiset rajatapaukset toteutuvat palautuvilla prosesseilla, joiden perusprosessi on Carnot-prosessi. (Aittomäki, A. 2012, 5). Tähän prosessiin perustuvan lämpöpumpun toimintaperiaatteen esitteli joitakin vuosia myöhemmin englantilainen fyysikko William Thomson. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 27)



Kuvio 12. Lämpövoimakoneen ja lämpöpumpun toimintaperiaate (Aittomäki, A. 2012, 5)

Ensimmäiset rakennuksiin soveltuvat lämpöpumput valmistettiin kuitenkin vasta 1920-luvulla. Sveitsissä, joka kärsi hiilipulasta toisen maailmansodan aikaan otettiin ensimmäisenä lämpöpumput kohtalaisen laajaan käyttöön. Toisen maailmansodan jälkeen lämpöpumput jäivät vähäisemmälle huomiolle, kun niin sanotun primäärisen polttoaineen kuten kivihillen ja öljyn saatavuus jälleen helpottui. Lämpöpumpputekniikasta kiinnostuttiin uudelleen vasta 1970-1980 välisenä aikana vallitsevan öljykriisin myötä. Kiinnostus hiipui jälleen öljyn hinnan taas myöhemmin pudotessa ja lämpöpumpputekniikan käyttö ja kehittyminen jäi vähemmälle. Vasta tällä vuosikymmenellä sen suosio lähti nousuun (Kuvio 13) ja on viime vuosina entisestään kiihtynyt ilmastonmuutostietoisuuden kasvusta, sekä öljyn ja muiden energian raaka-ainehintojen nousun vaikutuksesta. (Perälä & Perälä 2013, 27.)



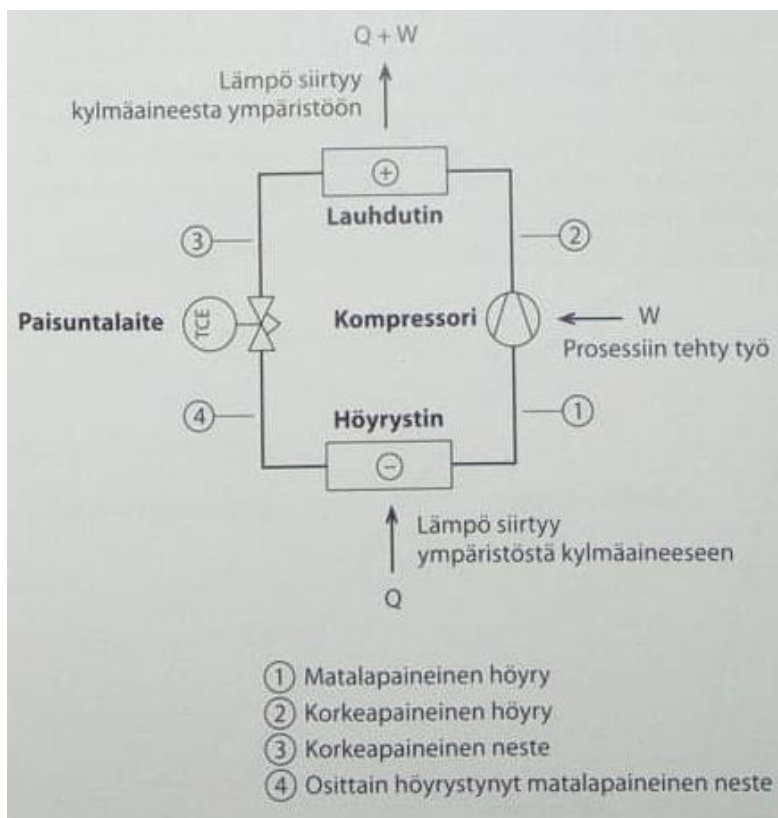
Lähde: Rakennus- ja asuntotuotanto, Tilastokeskus

Kuvio 13. Lämmönlähteiden osuuksien muutos 1995-2015. (Tilastokeskus. 2016 a)

3.2 Kylmäpiirin toimintaperiaate

Lämpöpumppujärjestelmissä hyödynnetään kylmäteknistä kiertoprosessia. Tässä kiertoprosessissa siirretään tehdyn työn avulla lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Kylmäteknisessä kiertoprosessissa työaineena toimii kylmäaine, jonka höyrystäminen ja lauhduttamiseen eri painetasoilla koko kiertoprosessi perustuu. Kuviossa 14 on esitetty lämpöpumpuissa käytettävä kiertoprosessin periaate ja se missä olomuodossa kylmäaine eli ns. ideaalikaasu esiintyy prosessin eri vaiheissa. (Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011, 17)

Höyrystimessä matalapaineinen ja lämpötilainen kylmäaine sitoo lämpöä ympäristöstään ja höyrystyy. Kylmäaineen olomuodon muuttuessa nesteestä kaasuksi kylmäaineeseen sitoutuu suuri määrä lämpöenergiaa. Kaasumainen kylmäaine imetään kompressoriiin, jossa kaasu puristetaan korkeampaan paineeseen. Paineen noustessa kaasumaisen kylmäaineen lämpötila nousee voimakkaasti. Kompressorilta kuuma kylmäainekaasu johdetaan lauhduttimelle. Lauhduttimessa kaasumaisen kylmäaineen lämpö siirtyy nesteeseen. Lauhduttimessa kaasumainen kylmäaine tiivistyy nesteeksi, jolloin siihen höyrystymisessä sitoutunut energia vapautuu ja siirtyy. Paisuntalaite ylläpitää paine-eroa höyrystimen (matalapaine) ja lauhduttimen (korkeapaine) välillä. Paisuntaventtiilin tehtävänä on myös anostella kylmäainetta höyrystimeen. (LVI 11-10623.2011, 3)



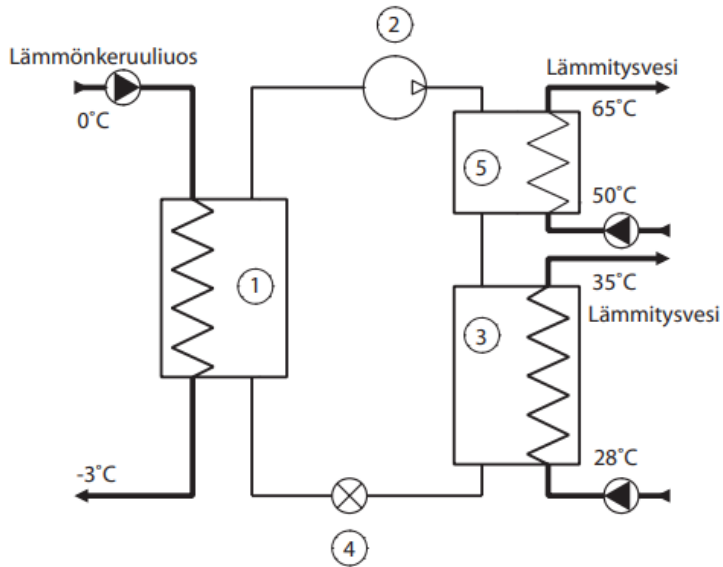
Kuvio 14. Kylmäteknisen kiertoprosessin periaate. (Kaappola., ym. 2011, 17)

3.2.1 Tulistuksen jäähdytyksen käyttö

Markkinoilla on saatavana pieniä lämpöpumppuja joko vaihtoventtiili tai tulistuksen poistolämmönsiirrin -periaatteella toimivia laitteita. Tulistuksen jäähdytystä voidaan käyttää esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen. Vaihtoventtiiliohjauksella varustetuissa lämpöpumppuissa vaihtoventtiili ohjaa lämmitetyn veden joko talon lämmitysjärjestelmään tai lämminvesivaraajaan. (Räisä, J. 2013, 4)

Rakenteeltaan tulistuksen jäähdytystä käytettäessä lämpöpumpun kylmäainepiirissä on yksi lämmönsiirrin enemmän kompressorin (2) ja lauhduttimen (3) välissä (Kuvio 15). Tulistuksen jäähdytyksen siirrin (5) niin sanottu tulistin on mitoitettu korkeille lämpötiloille ja pienille nesteen virtaamille. Tulistuksen jäähdytyksen maksimiteho on noin 10...30 % kompressorin lämmitystehosta. (LVI 11-10623.2011, 3). Kuuma kylmäainekaasu johdetaan kompressorilta tulistuksen jäähdytyksen vaihtimelle (5), jolloin kylmäainekaasun lämpötila on 70...110 °C. Tulistuksen jäähdytystä (5) voidaan käyttää esimerkiksi varaajan yläosan lämmittämiseen korkeisiin lämpötiloihin. Kuumakaasu ei kuitenkaan jäähy nesteeksi. Kylmäainekaasu johdetaan tämän jälkeen lauhduttimelle (3), jolloin kylmäainekaasun lämpötila on noin 50...60 °C. Paisuntaventtiili (4) ylläpitää paine-eroa höyrystimen

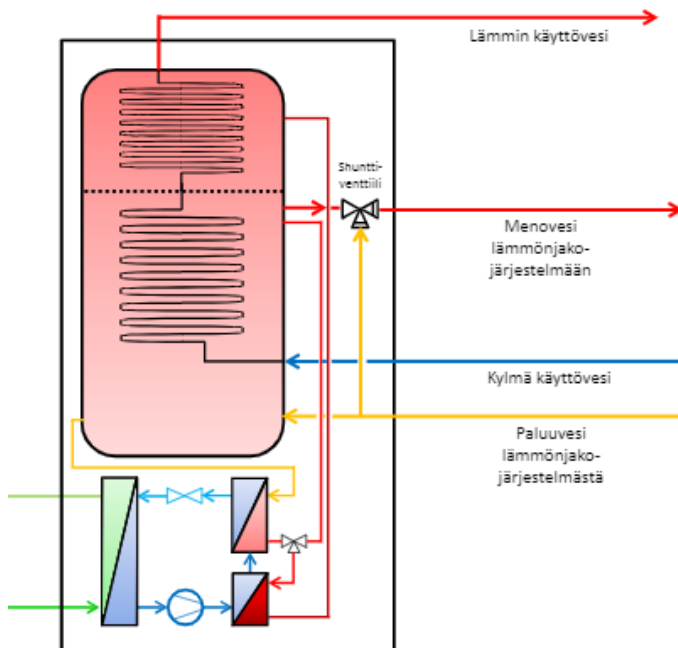
(matalapaine) ja lauhduttimen (korkeapaine) välillä. Paisuntaventtiilin tehtävänä on myös annostella kylmäainetta höyrystimeen. (LVI 11-10623, 2011, 3)



- 1 Höyrystin
- 2 Kompressori
- 3 Lauhdutin
- 4 Paisuntaventtiili
- 5 Tulituksen jäähdytin

Kuva 3. Kylmäpiirin pääosat tulituksen jäähdytyksellä.

Kuvio 15. Tulituksen jäähdytys periaate kuva. (LVI 11-10623.2011, 3)

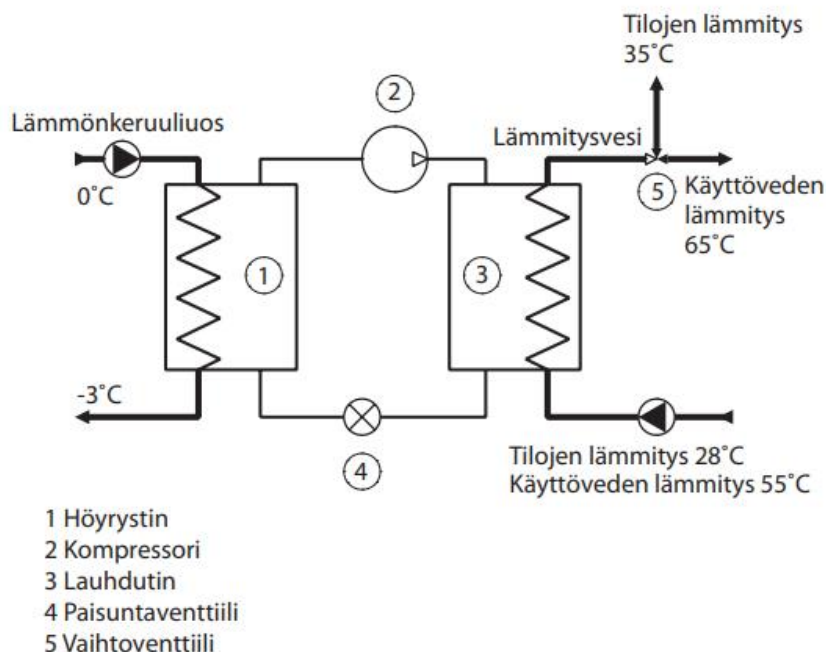


Kuvio 16. Tulistuslämpöpumpun rakenne periaatekuva. (Lehtinen, J. 2013, 7)

3.2.2 Vaihtventtiilin käyttö

Vaihtuvan lauhdituksen lämpöpumpulla (Kuvio 16) tehdään lämpöä erikseen talon lämmitysverkostoon ja käyttövedelle niiden tarpeen mukaan. Käyttövettä lämmitettäessä kohdistetaan pumpun koko teho hetkellisesti käyttövesivaraajassa olevaan kierukkaan. Kierukan läpi kulkeva kuuma vesi lämmittää varaajassa olevan käyttöveden nopeasti tavoitelämpötilaan. Näin lämmintä vettä saadaan nopeasti lisää. Käyttövesivaraajat voivat olla pienempiä ja laitteisto tarvitsee vähemmän tilaa. Kun lämminvesivaraajan lämpötila saavuttaa asetusarvonsa pumpun ohjaa vaihtventtiilillä lämpimän veden lämmitysverkostoon ja muuttaa sen lämpötilaa suoraan oikeaan arvoon ulkolämpötilan mukaan. Lämmitysverkosto tarvitsee korkeita lämpötiloja vain pienen osan vuodesta, joten järjestelmässä käytetään pääsääntöisesti matalalämpöistä vettä, jonka tuottaminen on energiatehokkaampaa, ja tämä antaa pumpputyypille hyvän vuosilämpökertoimen. (Lehtinen, J. 2013, 8)

Vaihtelevalla lauhdituksella toimivissa lämpöpumpuissa (Kuvio 17) on tyypillisesti vaihtventtiili (5), jolla lauhduttimelta (3) tuleva lämpö ohjataan joko käyttöveden lämmitykseen tai tilojen lämmitykseen. Vaihtventtiiliä käytettäessä lämmitysjärjestelmään voidaan joutua asentamaan lämpöpumpun ulkopuolelle kiertopumppu, jolla varmistetaan veden jatkuva virtaus. Tällä vältetään voimakasta lämmitysverkoston lämmön vaihteluista ja putkiston lämpöliikkeestä aiheutuva napsahtelu. Kuviossa 16 näkyvien höyrystimen (1) ja kompressorin (2) toiminta on kuvattu kohdassa 3.2. Kuuma kylmäainekaasu johdetaan lauhduttimelle (3), jolloin kaasumaisen kylmäaineen lämpötila on 70...110 °C. Lauhduttimelta lähtevän lämmitysveden lämpötila voi olla jopa 65 °C. Lauhduttimelta nesteeksi tiivistynyt kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilille (4). Paisuntaventtiili (4) ylläpitää paineroa höyrystimen (matalapaine) ja lauhduttimen (korkeapaine) välillä. Paisuntaventtiilin tehtävänä on myös annostella kylmäainetta höyrystimeen. (LVI 11-10623.2011, 4)



Kuva 4. Kylmäpiirin pääosat vaihtelevalla lauhdutuksella.

Kuvio 17. Vaihtoventtiilillä varustettu kylmäainepiiri. (LVI 11-10623.2011, 4)

3.3 Lämpöpumpun pääkomponentit ja niiden toiminta

Lämpöpumpun ovat nykyään pitkälle kehittyntä tekniikkaa. Vakio-osista koottavien pumppujen pääkomponentit kylmäaineprosessissa ovat kompressori, höyrystin, lauhdutin, paisuntaventtiili ja putkistot kiertovesipumppuineen. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 41) Lämmönkeruuputkisto siirtää lämmönlähteestä saatavaa lämpöenergiaa höyrystimelle. Lämmitysputkistoon lämpö siirtyy lauhduttimessa. Perinteinen lämpöpumppuprosessi perustuu hiilivetypohjaisten kylmäainesten höyrystymiseen matalassa paineessa ja lauhtumiseen korkeassa paineessa. Eri kylmäainesten hyvyys muuttuu eri toimintalämpötiloissa. Lämpötilatasot vaihtelevat lämmöntarpeen ja järjestelmän mukaan. (Räisä, J. 2013, 6)

3.4 Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, joita käytetään lämmönsiirtämiseen lämpöpumppujen kylmäpiireissä. Kylmäainesten käyttö perustuu niiden kykyyn muuttaa olomuotoa nestemäisestä kaasumaiseksi ottaessaan vastaan lämpöä ympäristöstään matalamassa paineessa, tai kaasumaisesta nestemäiseksi luovuttaessaan lämpöä ympäristöönsä korkeammassa paineessa. Tätä olomuodon muutosta kutsutaan faasimuutokseksi. Faasimuutosta hyväksikäyttäen saadaan suuriakin lämpökuormia siirrettyä suhteellisen pienellä kylmäaineen massavirralla. Kylmäainesten ominaisuudet riippuvat suuresti siihen

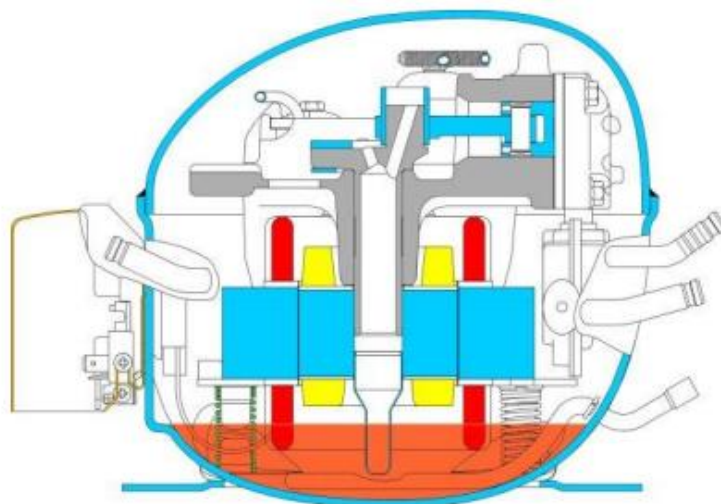
vaikuttavasta paineesta ja lämpötilasta. (Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011, 31)

Nykyään lämpöpumppujen kylmäaineina käytetään yleisesti synteettisiä fluorivetyjä eli HFC-yhdisteitä. Kauppanimeltään mm. R4040 ja R410A. Aikaisemmin käytetyt synteettiset CFC-yhdisteiden eli freonien käyttö on nykyisin kielletty, sillä ne tuhoavat ilmakehän otsooneja ja ovat lisäksi pahoja kasvihuonekaasuja. Sanyo käyttää eräissä lämpöpumpuissaan kylmäaineena hiilidioksidia. Se vaatii suuren yli 100 baarin käyttöpaineen ja vaatii siten laitteistolta suuremmat vaatimukset, mutta se siirtää lämpöä myös erittäin tehokkaasti. Hiilidioksidi on myrkytöntä ja palamatonta ja lisäksi se on erittäin huokeaa verrattuna muihin kylmäaineisiin. Hiilidioksidia käyttävä vesi/ilmalämpöpumppu voi luovuttaa lämmön veden huomattavasti korkeammassa jopa $+70^{\circ}\text{C}$ (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 46)

3.5 Kompessorit

Lämpöpumppujen kriittisin osa on kompressorin ottaman tehon, eli ottotehon suhteessa prosessin luovuttamaan antotehoon pystytään laskemaan karkeasti systeemin hyötysuhde eli lämpökerroin. Kompressorin tehtävä on kylmäaineen paineen koroittaminen höyrystyslämpötilasta lauhtumislämpötilaan. Paine-eron vaikutuksesta kylmäaineneste virtaa lauhtuttimesta höyrystimeen paisuntaventtiin kautta. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 41)

Kompessorit jaetaan rakenteen mukaan hermeettisiin, puolihhermeettisiin ja avokompressoreihin. Hermeettisessä kompressorissa sähkömoottori ja kompressorin ovat tiiviin, hitsatun kuoren sisällä (Kuvio 18). Hermeettiset kompressorit ovat yleensä imukaasujäähdytteisiä. Yleisimpiä hermeettisiä kompressoreita ovat pienet mäntä- ja kierukkakompessorit (scroll-kompressorit). Hermeettisiä mäntäkompressorit ovat yleisiä kotitalouksien jää- ja pakastinkaapeissa sekä pienissä kaupan kylmälaitteissa ja kylmähuoneissa. Niitä on käytetty aiemmin myös ilmastoinnin jäähdytyslaitteissa. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 41)



Kuvio 18. Hermeettisen mäntäkompressorin poikkileikkaus. (Kaappola, ym. 2011, 51)

Hermeettisiä scroll-kompressoreita käytetään suurta kompressoritehoa vaativissa kohteissa kuten maalämpöpumpuissa, ilma-vesilämpöpumpuissa, pienemmissä vedenjäähdytyskoneissa, tulo- ja kierrätysilmaa jäähdyttävissä suora höyrystyskoneistoissa sekä kaappi- ja vakioilmastointikoneissa. Mäntäkompressorin verrattuna scroll-kompressorissa on huomattavasti vähemmän liikkuvia osia ja käynti on huomattavasti värinättömämpi. Se onkin korvannut uusissa lämpöpumpuissa mäntäpumpun lähes kokonaan.

Scroll-kompressorin puristaa kylmäaineen kokoon kahden tiiviisti toistensa kanssa kosketuksessa olevan kierukan väliin jäävässä tilassa. Kierukoista toinen on kiinteä ja toinen tekee pientä liikettä pyörimättä kuitenkaan akselinsa ympäri. Kierukat koskettavat joltain osin koko ajan toisiaan. Kierukoiden väliin jäänyt kylmäainehöyry puristetaan kolmen kieroksen aikana imupuolelta painepuolelle (Kuvio 19). Scroll-kompressorin käynnistyessä kylmäaine on paineetonta ja sen paine kasvaa kompressorissa vähitellen. Tämä alentaa kompressorin käynnistysvastusta, joten käynnistykseen ei tarvita niin suurta voimaa kuin mäntäkompressorissa. Scroll-kompressorin käynti on myös tasaisempaa koska siinä ei ole edes takaisin liikkuvia mäntiä. Näiden seikkojen takia käynti on lähes värinätöntä. Mallin mukaan kompressorin tuleva höyry jäähdyttää sähkömoottorin täysin tai osittain. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 42).



Kuvio 19. Scroll-kompressorin poikkileikkaus ja puristusprosessi. Muokattu (Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011, 54).

3.6 Kompressorin tehon säätö

Kompressorin sähkömoottorin kierrosluku määrittelee sen tuoton ja lämpöpumpun lämmitystehon eikä sitä voi muuttaa ilman erikoisjärjestelyä. Lämpöpumppua on kuitenkin voitava säätää kulloisenkin lämmöntarpeen mukaan. Normaalilla 50 Hz:n vaihtosähköllä kompressorin sähkömoottori pyörii 2900 tai 1450 kierrosta minuutissa. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 42-47)

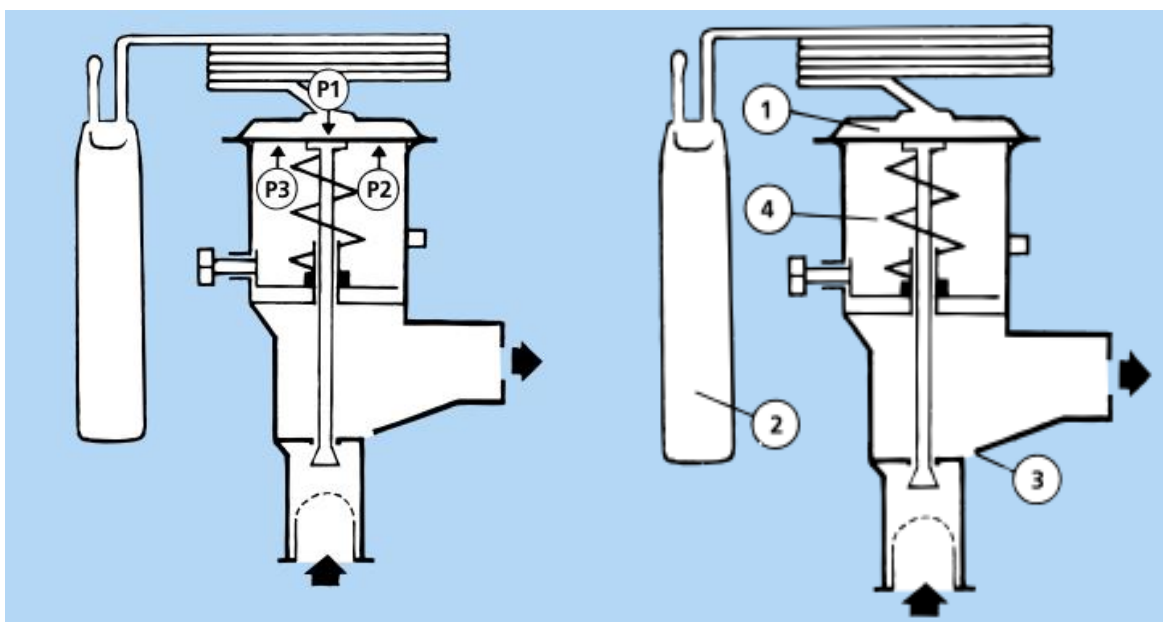
Lämmityksen tehoa voidaan säätää kahdella eri tavalla. Yksinkertaisempi tapa on niin sanottu on/off-säätö, jossa termostaatti käynnistää kompressorin ja se käy niin kauan vakionopeudella kuin lämpöä tarvitaan. Kun termostaattiin asetettu lämpötila saavutetaan, kompressorin sammuu. Tämä sykli toistuu aina tarpeen vaatiessa. On/off-säätö on rakenteeltaan yksinkertainen, mutta kompressorin toistuvat käynnistykset lyhentävät sen käyttöikää ja aiheuttavat melua. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 42-47)

Invertteri eli taajuusmuuttajasäätö on yleistynyt viime aikoina niiden nopean kehityksen ja hinnan laskun myötä. Invertteri muuttaa verkkovirran taajuutta elektronisesti käytännössä portaattomasti. Tällöin kompressorin käyntinopeutta voidaan säätää sen sijaan, että se jatkuvasti sammutetaan kokonaan tai käynnistetään ja ajetaan täysillä kierroksilla. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 47)

3.7 Termostaattinen ja elektroninen paisuntaventtiili

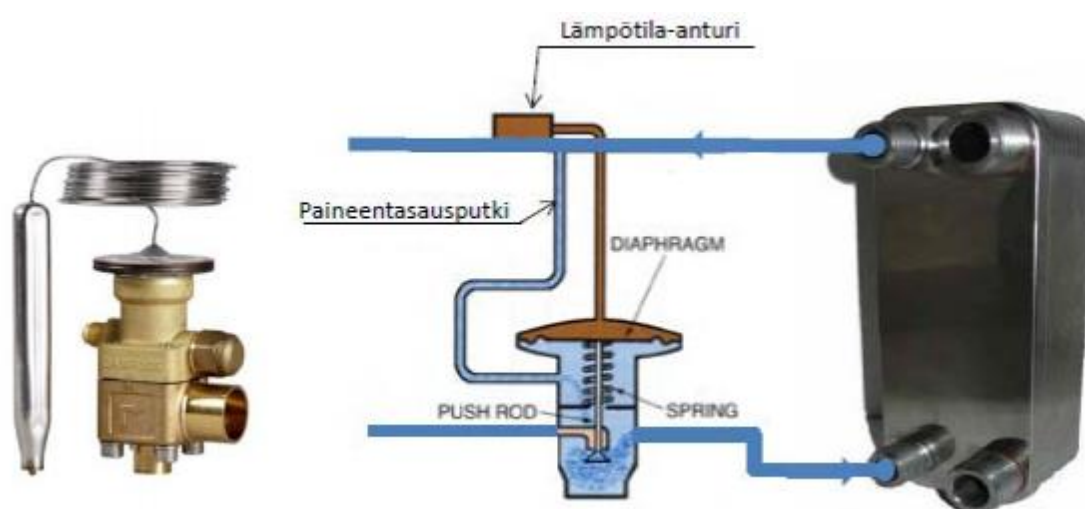
Paisuntaventtiili on venttiili, jolla säädetään kylmäaineen syöttöä höyrystimeen. Kylmäainekierrossa paisuntaventtiili erottaa kompressorin matala- ja korkeapainepuolen toisistaan. Paisuntaventtiili ja höyrystin muodostavat kokonaisuuden. Paisuntaventtiilin toiminta ohjaa höyrystimen jälkeen vallitsevan tulistuneen kylmäaineen lämpötila. Höyrystimen jälkeen mitattu tulistuslämpötila ohjaa paisuntaventtiilin kautta tapahtuvaa kylmäaineen ruiskutusta höyrystimeen. Paisuntaventtiilin on oltava mahdollisimman nopeatoiminen, jotta se pystyy pitämään höyrystimessä tulistuneen kylmäainehöyryn lämpötilan lähes vakiona. Siten estetään kylmäainenesteen pääsy kompressoriin. Paisuntaventtiilit voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: termostaattinen ja elektroninen. (Hakala, Pertti. & Kaappola, Esko. 2011, 57)

Termostaattinen paisuntaventtiili (Kuvio 20) koostuu termostaattisesta elementistä ja venttiilirungosta, jotka on erotettu toisistaan kalvolla (1). Anturi (2) on yhdistetty termoelementtiin kapillaariputkella. Rungossa on venttiili-istukka (3) ja jousi (4). Kuviossa 20 on näytetty, kuinka termostaattisen paisuntaventtiilin toimintaa ohjaa kolme eri peruspainetta. Kalvon yläpuolinen anturipaine (P1) vaikuttaa venttiiliä avaavasti. Kalvon alapuolinen höyrystinpaine (P2) vaikuttaa venttiiliä sulkevasti. Jousipaine (P3), joka myös vaikuttaa kalvon alapuolella, vaikuttaa venttiiliä sulkevasti. Paisuntaventtiilin säätäessä vallitsee tasapaino kalvon yläpuolisen anturipaineen sekä kalvon alapuolella vaikuttavien höyrystispaineen ja jousipaineen välillä. Tulistusta säädetään jousen avulla. (Danfoss. 2002 a, 3-4)



Kuvio 20. Paisuntaventtiilissä vaikuttavat paineet ja osat. (Danfoss. 2002 a, 3)

Ulkoisella paineentasauksella varustettu paisuntaventtiili eroaa sisäisellä paineentasauksella varustetusta lähinnä siinä, että venttiilissä on kalvon alapuolella yhde. Ulkoista paineentasauksusta käytetään aina, jos höyrystyminen painehäviö on suuri. Nykyisin yleisesti käytettävien levylämmönsiirtimien yhteyteen on syytä asentaa ulkoisella paineentasauksella varustetut paisuntaventtiilit. Paisuntaventtiili asennetaan nesteputkeen virtaussuunnassa höyrystimen eteen ja venttiiliin lämpötila-anturi kiinnitetään höyrystimen jälkeiseen imuputkeen mahdollisimman lähelle höyrystintä. Ulkoisella paineen tasauksella varustettujen venttiilien paineentasausputki liitetään imuputkeen välittömästi lämpötila-anturin jälkeen. Kuviossa 21 on näytetty kapillaariputken ja lämpötila-anturin oikea asennuspaikka. (Kaappola, ym. 2011, 57)

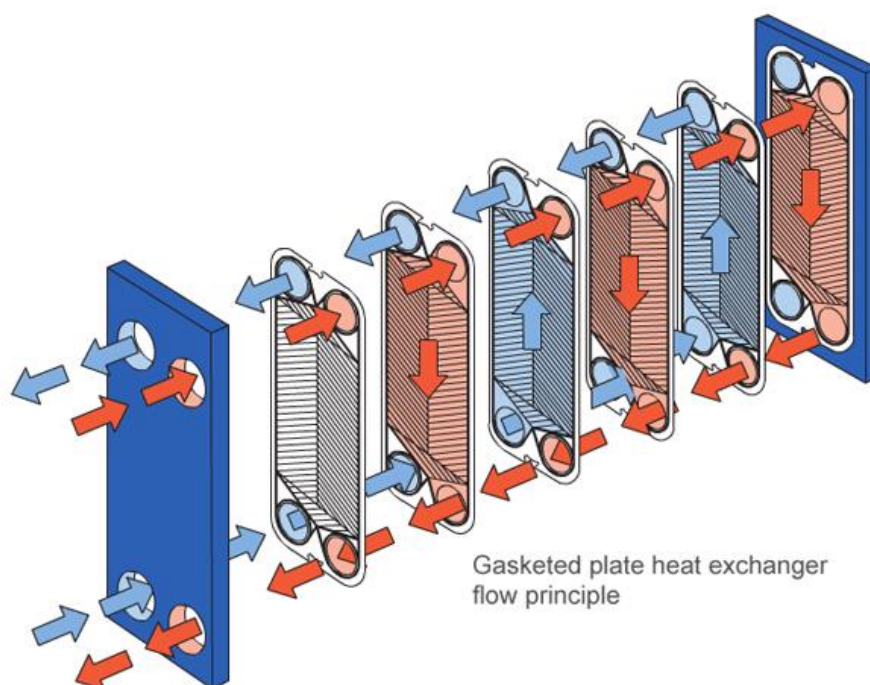


Kuvio 21. Ulkoisella paineentasauksella varustettu mekaaninen paisuntaventtiili. (Räisä, J. 2013, 9)

Elektronista paisuntaventtiiliä käytetään lähinnä kaupan kylmlaitteissa ja vedenjäähdytyskoneissa. Toimintaperiaatteeltaan ne voivat olla pulssittavia, askelmoottoreita tai jatkuvasti säätäviä. Elektroninen on nopeatoimisempi kuin mekaaninen paisuntaventtiili. Tämän takia se ei tarvitse erillistä ulkoista paineentasauksusta. Elektronisen paisuntaventtiilin pääosat ovat säädin, sähköisesti toimiva venttiili sekä lämpötila- ja paineanturi. Säädin määrittää paine- ja lämpötilamittauksen perusteella kylmäaineen tulistumisen ja tämän perusteella ohjaa paisuntaventtiilin toimintaa. Suuremmissa ja teollisissa lämpöpumpuissa käytetään elektronisia paisuntaventtiilejä, koska ne pystyvät mukautumaan vaihteleviin käyttöolosuhteisiin ja niillä saavutetaan mahdollisimman pieni tulistus. (Kaappola, ym. 2011, 58)

3.8 Lämmönsiirtimet

Kylmäainepiirissä on yleensä höyrystin, lauhdutin ja mahdollisesti tulistuksen poistovaihdin. Ne ovat nykyisin lähinnä levylämmönsiirtimiä. Niillä on erinomainen kyky siirtää lämpöä pieneen tilavuuteen nähden sekä kylmäaine- että nestepuolella. Levylämmönsiirtimet kytetään vastavirtaperiaatteella, eli kylmäaine ja neste virtaavat toisiaan vastaan (Kuvio 22). Materiaalina on yleensä käytetty haponkestävää terästä. Levylämmönsiirtimet koostuvat poimutetuista levyistä, jotka on juotettu toisiinsa kuparilla tai nikkelillä. Joka toisessa levyvälissä kiertää kylmäaine ja joka toisessa välissä neste, johon siirretään tai josta siirretään lämpöä. Levylämmön siirrin voi olla rakenteeltaan myös hitsattu, tiivisteellinen tai puolihitsattu, jossa kylmäainetta sisältävä levy pari on hitsattu ja nestettä sisältävä levy pari on varustettu tiivisteellä. (Kaappola, ym. 2011, 56-60)



Kuvio 22. Tiivisteellä varustettu levylämmönsiirrin toimintaperiaatekuva. (Alfa Laval. 2020 a.)

Höyrystin on lämmönsiirrin, jossa paisuntaventtiilin jälkeen alempaan paineeseen siirtyneen kylmäaineen annetaan kiehua, jolloin se muuttuu höyryksi. Höyrystyminen vaatii lämpöenergiaa, jonka kylmäaine sitoo itseensä höyrystimen toisiopiirissä kiertävästä aineesta, yleensä jäätymättömästä liuksesta tai ilmasta. (LVI 11-10332. 2002, 2) Kylmäaine johdetaan lämmönsiirtimeen sen alaosasta ja höyry poistuu sen yläosasta. Vastavasti jäähdytettävä neste (lämmönkeruunpiiriltä tuleva neste) johdetaan lämmönsiirtimeen

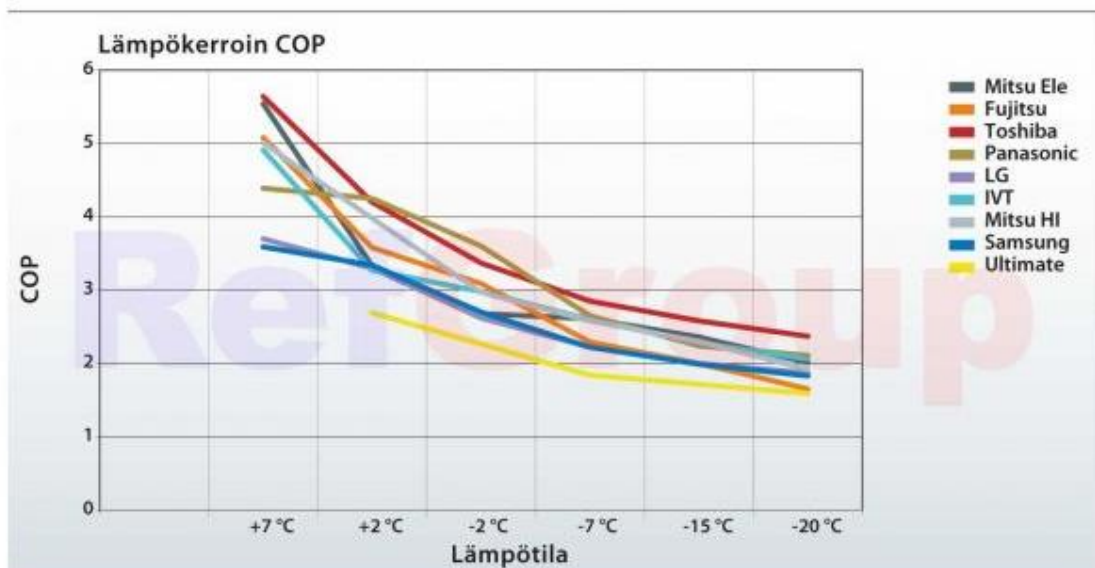
sen yläosasta ja jäähtynyt neste (lämpöenergian luovuttanut neste) poistuu sen alaosasta. (Kaappola, ym. 2011, 56-60)

Lauhdutin on lämmönsiirrin, jossa kuuma kaasu nesteytyy (lauhtuu) luovuttaen höyrystimessä sitomansa höyrystymislämmön toisiopiirissä kiertävään aineeseen, yleensä lämmitysverkoston veteen, käyttöveteen tai ilmalämmityksen yhteydessä ilmaan. Luovutettuaan höyrystymislämmön kylmäainehöyry tiivistyy jälleen nesteeksi. (LVI 11-10332. 2002, 2)

Kylmäainehöyry johdetaan lämmönsiirtimeen sen yläosasta ja lauhtunut neste poistuu sen alaosasta. Vastaavasti lauhduttava neste (lämmitysverkosta palaava vesi) johdetaan lämmönsiirtimeen sen alaosasta ja lämmennyt neste (lämmitysverkkoon menevä vesi) poistuu yläosasta. (Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011, 56-60)

4 PALUULÄMPÖPUMPPU

Lämpöpumpuissa yleensä hyödynnetään ympäristöstä saatavaa matalalämpötilaista ilmaista energiaa kuten aiemmin selitetty. Paluulämpöpumpun ideana on hyödyntää jo olemassa olevan vesikiertoisen keskuslämmityksen paluueden lämpöenergiaa paremmalla hyötysuhteella kuin mitä perinteinen lämmityskattila pystyy lämpöenergiaa lämmitysvedeen siirtämään ja näin parantaa koko systeemin hyötysuhdetta. Esimerkiksi öljylämmityksen paluueden lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin, mitä esimerkiksi maalämpöpumpun keruupiiristä tulevan lämmönkeruunesteen lämpötila n. 0...5°C. Mitoituslämpötila öljylämmityksen paluuedelle on LVI-ohjekortin LVI 12-10343 mukaan 40°C kaksiputkissa lämmitysjärjestelmässä. Näin ollen voidaan olettaa korkealämpöisen energialähteen takia, että paluulämpöpumpussa lauhtumispaine on pienempi kuin tavallisissa lämpöpumpu systeemeissä, sekä höyrystymislämpötila on ylempi, joten voidaan olettaa myös hyötysuhteen olevan tällöin parempi. Kyseinen ilmiö voidaan konkreettisesti havaita tutkimmalla, kuinka ilmalämpöpumppujen lämpökertoimet (COP Coefficient of Performance) nousevat tai laskevat kun lämmönlähteessä eli ulkoilmassa tapahtuu muutoksia (Kuvio 23). Tämän lisäksi tiedetään, että perinteisten lämmityskattiloiden hyötysuhde on huomattavasti pienempi kuin lämpöpumpuissa.



Kuvio 23. Kuvassa on havainnollistettu kuinka lämpökerroin (COP) muuttuu lämpötilan ulkolämpötilan muuttuessa. (RefGroup Oy. 2020a)

4.1 Paluulämpöpumpun lämpökerroin

Otetaan pienemmän lauhtumispaineen hyödyntämisen esimerkiksi Suomen ympäristöopisto SYKLI: n teettämä energiaväylä tutkimus. Kyseisessä esimerkissä on yhdistetty kaavaan 2 lämpöpumpun lämpökertoimen teoreettinen maksimiarvo Carnot'n lämpökerroin ja tämä on kerrottu Carnot-hyvyyskertoimella. Tällä luvulla voidaan arvioida lämpöpumpun todellista lämpökertointa. Energiaväylä-hankkeessa selvitettiin teollisen ylijäämälämmön jakamismahdollisuuksia naapurikiinteistöille. Energiaväylän matalalämpötilaista lämpöä siirretään matalalämpötilaisen (lämpötilatason oletettu olevan luokkaa 15...30°C) siirtoverkoston kautta kuluttajien lämpöpumppukeskuksille, jossa lämpötila nostetaan hyödyntämiskelpoiselle tasolle. Tässä mallissa myös yksittäisillä kuluttajilla on mahdollisuus ajaa ylijäämälämpönsä takaisin väylään ja sitä kautta muiden kuluttajien käyttöön. (Suomen ympäristöopisto SYKLI. 2016a)

Energiaväylän idea on hyödyntää ylijäämälämpövirtoja, joiden lämpötilataso on yleensä niin matala, että niitä ei pysty suoraan hyödyntämään rakennusten lämmityksessä. Väliin tarvitaan tällöin lämpöpumppuprosessi, jonka avulla matalalämpötilaisen lämpövirran avulla voidaan tuottaa korkeammassa lämpötilassa olevaa hyödyntämiskelpoista lämpöä mekaanisen energian avulla. (Kauppila, K. 2017, 1-3)

Lämpöpumpun hyötysuhde eli lämpökerroin (COP) määritellään tuotetun lämmön suhteena tarvittavaan mekaaniseen työhön, käytännössä lämpökerroin lasketaan lämpöpumpun tuottaman lämmön ja käyttämän sähkön suhteena. Todellinen lämpöpumppu ei kuitenkaan ole koskaan häviötön eikä se toimi Carnot'n lämpöpumpun tavoin. Todellisen lämpöpumpun lämpökerroin on aina Carnot'n lämpökertointa pienempi. Todellisen lämpöpumpun lämpökertoimen suuruutta voidaan arvioida kertomalla Carnot-lämpökerroin Carnot-ideaalisuuskertoimella η_{ct} . Lämpökerroin riippuu termodynamiikan lakien mukaisesti lämpöpumppuprosessin päälämpötiloista. Tällöin kaava 2 voidaan kirjoittaa seuraavaan muotoon:

$$COP_{1t} = \eta_{ct} (T_L / (T_L - T_H)) \quad (2)$$

COP_{1t} = Todellinen lämpökerroin

η_{ct} = Ideaalisuuskerroin, arvo yleensä välillä 0,4... 0,7

T_L = Lämpöpumpun lauhtumislämpötila Kelvineinä (C-asteet + 273,15), joka on käytännössä 1...3°C korkeampi, kuin lämpöpumpulla tuotetun lämmitysveden lämpötila

T_H = Lämpöpumpun höyrystymislämpötila Kelvineinä, joka on käytännössä 5...10°C alempi, kuin lämpöpumpun lämmönlähteenä käyttämän veden tai liuoksen lämpötila

Kaavan mukaisesti hyötysuhde on sitä parempi, mitä alempi on lauhtumislämpötila tai mitä ylempi on höyrystymislämpötila. Käytännön lämpöpumpputekniikka kuitenkin asettaa rajansa sille, millä alueella lämpötilat voivat oikeasti liikkua. (Kauppila, K. 2017, 1-3)

Höytysuhteen lisäksi lämmönlähteen lämpötilan nousu lisää käytännön lämpöpumppulaitoksista saatavaa lämmitystehoa olennaisesti perustuen kompressorin tuottaman kylmäaineen massavirran kasvuun ja painesuhteen alenemiseen. Kuviossa 23 on laskettu käytännön esimerkki tapauksesta, jossa samaan kompressoriin perustuva lämpöpumppu käyttää lämmönlähteenään 1) Luonnon maaperää esim. lämpökaivoa, jolloin maasta tulevan liuoksen lämpötila on talvella tyypillisesti 0°C. 2) Lämpimämpää liuosta, esimerkiksi energia-avajän vesi, jonka lämpötila on esimerkissä +25°C. (Kauppila, K. 2017, 1-3)

Taulukko 1	Lämmönlähteen lämpötilan vaikutus lämpöpumpun suoritusarvoihin	
	1) Lämmönlähteenä maaperä	2) Lämmönlähteenä energia-avajän vesi
Lämmönlähteen lämpötila	0 C	25 C
Lämmityskuorman lämpötila	50 C	50 C
Lämmitysteho	100	216
Suhteellinen tehon lisäys		116 %
Lämpökerroin, COP	3,4	5,3
Suhteellinen COP:n parannus		57 %

Kuvio 23. Lämmönlähteen lämpötilan vaikutus lämpöpumppujen suoritusarvoihin. (Kauppila, K. 2017, 3)

Lasketaan paluulämpöpumpulle lämpökerroin kaavan 2 mukaan kun oletetaan, että energialähteenä käytetyn paluuvien lämpötila on 35°C:

$$\eta_{ct} = 0,6$$

$$T_L = 65^\circ\text{C} + 273,15 \text{ K} = 338,15\text{K}$$

$$T_H = (35^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) + 273,15 = 303,15\text{K}$$

$$\text{COP}_{it} = 0,6 * ((338,15\text{K} / (338,15\text{K} - 303,15\text{K})) = 5,8$$

Lämpökertoimeksi saadaan 5,8. Tulos on hyvä, mutta teoreettinen ja optimistinen vaikka siihen on huomioitu ideaalisuuskerroin toiselta nimeltään carnot-hyvyyskerroin, mutta toisaalta siinä ei ole vielä otettu huomioon varsinaisen lämmönlähteen eli lämmityskattilan

käyttämää energiaa. Tarkempi arvo saadaan haluttaessa, kun otetaan huomioon lämpökertoimen korjaus lämmönsiirtoaineen lämpötilaeron suhteen. Meno- ja paluuveden lämpötilaero lämpöpumpun lauhduttimessa määritellään kaavan 3 avulla. (Eskola, ym. 2012, 19)

$$\Delta T = \frac{\phi_{lpn}}{m_n c_n} \quad (3)$$

ΔT = meno- ja paluuveden lämpötilaero lauhduttimessa, °C

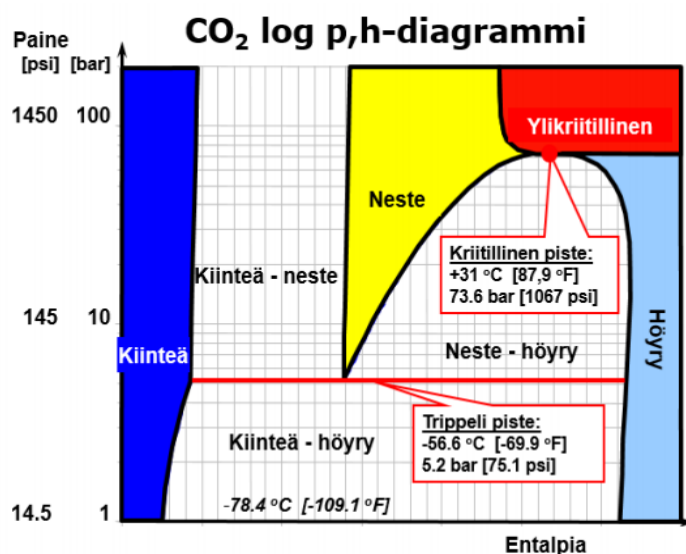
ϕ_{lpn} = lämpöpumpun lämmitysteho, W

m_n = menoveden massavirta lauhduttimessa, kg/s c_n lämmönsiirtoaineen lämpökapasiteetti, J/(kg·K).

Lämpöpumpun lämmitysteho lasketaan työssä myöhemmin. Sitä kautta päästään laskemaan myös COP arvo, jossa otetaan huomioon lämmityskattilan käyttämä energia.

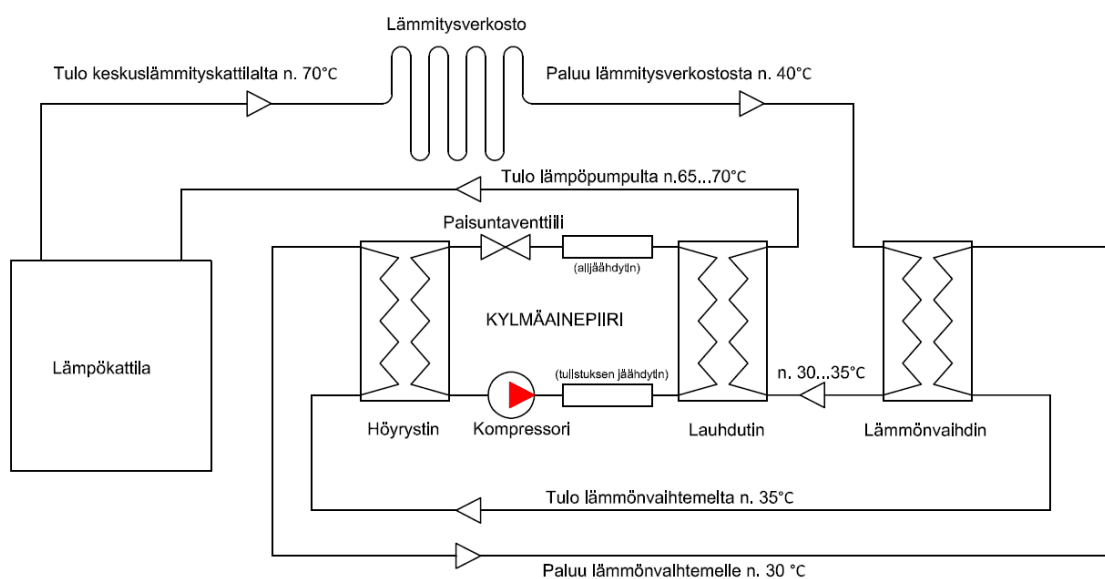
4.2 Paluulämpöpumpun rakenne

Koska lämpöpumpputekniikalla yleensä hyödynnetään matalalämpöistä energiaa, niin sen integroiminen itse lämpökattilaan ei olisi kovin järkeen käypää tai edes mahdollista korkeiden lämpötilojen takia, kun otetaan huomioon höyrystimessä olevan kylmäineen kriittinen piste. Kylmäaineeksi valikoituisikin todennäköisesti hiilidioksidi, koska hiilidioksidi voi toimia myös ylikriittisellä alueella, jolloin sitä kutsutaan ylikriittiseksi fluidiksi (Kuvio 24). Jos aineen lämpötila on suurempi kuin sen kriittinen lämpötila, sitä ei voida nesteyttää. Kriittisen pisteen lämpötilaa ja painetta kutsutaan kriittiseksi lämpötilaksi ja kriittiseksi paineeksi. Hiilidioksidin kriittinen piste on n. 31°C.



Kuvio 24. CO₂-kylmäineen käyttäytyminen. (Muuronen, M. 2016, 5)

Sitä kautta päädyin tarkastelemaan ratkaisua, jossa lämpöpumpun lämmönkeruupiiri sijoitetaan niin, että kiinteistön lämmitysverkostosta lämpökattilalle palaava vesi johdetaan lämpöpumpun höyrystimeen, jonka läpi se virtaa ja samalla lämmittää kylmäainetta (Kuvio 25). Tällöin kylmäaineeseen absortoituva lämpö ei ylitä kriittistä pistettä läheskään koko ajan, ja toisaalta lämmönkeruupiirissä ei tarvitse käyttää glykolia tai etanolia jäätymisriskin takia, joten keruunesteinä voidaan käyttää vettä. Paluveden lämpötila riippuu myös itse lämmitysverkostosta, onko käytössä patteriverkosto vai lattialämmitys. Lattialämmityksessä sekä meno, että paluveden lämpötila on huomattavasti alhaisempi.



Kuvio 25. Paluulämpöpumpun toimintaperiaate

4.3 Exergia-analyysi ja paluulämpöpumpun teoreettinen teho

Yleinen maalämpöpumpujen keskimääräinen teho on noin 10kW, joten käytetään sitä myös tässä laskennan perustana. Exergia-analyysin avulla voidaan laskea lämpöpumpun tarvitseman minimitehon prosessin saavuttamiseksi kaavalla (4). (Lampinen, M. 2010, 175). Voidaksemme laskea minimitehon on tiedettävä ensin virtaama, jonka kaava (1) esiteltiin luvussa 2.2. Sijoitetaan kaavaan seuraavat luvut:

$\Sigma\Phi$ = kiertopiirin kokonaisteho, 10kW

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg °C

ρ_v = veden tiheys, 1000 kg/m³

t_m = menoveden lämpötila, 70°C

$t_p = \text{paluueden lämpötila, } 40^\circ\text{C}$

Saadaan:

$$q_v = \frac{10 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{C} * 1000 \text{ kg/m}^3 (70^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})} = 0,08 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,08 \text{ kg/s}$$

Paluuedestä imettävällä lämmöllä halutaan lämmittää talon lämmitysvesi lämpötilasta $T_A = 35^\circ\text{C}$ lämpötilaan $T_B = 70^\circ\text{C}$. Lämmitysveden virtaama on $q_v = 0,08 \text{ kg/s}$. Lämmönlähteenä on paluuvesi, joten ympäristönlämpötilana on $T_p = 40^\circ\text{C}$. Meno -ja paluueden entalpia eli lämpösisällöt h_A ja h_B sekä entropian muutos faasimuutoksen yhteydessä (höyrytymisen ja nesteytyminen) s_A ja s_B . Joten sijoittamalla kaavaan (4) saadaan:

$$P_{\min} = q_v [(h_B - T_p s_B) - (h_A - T_p s_A)] \quad (4)$$

Seuraavaksi lasketaan meno -ja paluueden lämpösisällöt h_A ja h_B kaavalla (5) sekä entropian muutos faasimuutoksen yhteydessä s_A ja s_B kaavalla (6). Kun veden referenssipisteeksi sovitaan $T_0 = 273,15 \text{ K}$, saadaan kaavoista (5) ja (6) jätettyä paine-ero termit pois. (Lampinen, M. 2010, 175):

$$h_A = c_{pv} (T_A - T_0) = 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * 35 ^\circ\text{C} = 146,51 \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

$$s_A = c_{pv} \ln T_A / T_0 = 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \ln 308,15/273,15 = 0,5 \text{ kJ/kgK} \quad (6)$$

$$h_B = c_{pv} (T_B - T_0) = 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * 70 ^\circ\text{C} = 293 \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

$$s_B = c_{pv} \ln T_b / T_0 = 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \ln 343,15/273,15 = 0,955 \text{ kJ/kgK} \quad (6)$$

Sijoittamalla lukuarvot kaavaan (4) saadaan:

$$P_{\min} = 0,08[(293-308,15*0,955) - (146,51-308,15*0,5)] = 0,531 \text{ kW},$$

Paluulämpöpumpun tehoksi saadaan kaavalla (7) (Lampinen, M. 2010, 175):

$$\Phi = q_v (h_B - h_A) = 0,08 \text{ kg/s} (293\text{K} - 146,51\text{K}) = 11,7 \text{ kW} \quad (7)$$

joten teoreettista prosessia vastaava lämpöteho, joka paluuedestä saadaan:

$$\Phi_m = \Phi - P_{\min} = 11,7 \text{ kW} - 0,531 \text{ kW} = 11,2 \text{ kW}$$

Termodynaamisesti paras mahdollinen lämpökerroin on siten:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\phi}{P_{\min}} = \frac{11,7 \text{ kW}}{0,531 \text{ kW}} = 22 \quad (8)$$

Exergia-analyysi on kätevä tapa analysoida miten hyväksi, jokin systeemi voidaan teoriassa kehittää. Se siis antaa ideoita mahdollisuuksista, mutta se ei välttämättä vastaa kysymykseen, mikä olisi yksinkertaisin ja teknisesti paras tapa toteuttaa idea. (Lampinen, M. 2010, 175)

4.4 Lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen nousu paluulämpöpumpulla

COP arvo ilmoittaa, kuinka paljon lämpöpumpulla saadaan tuotettua lämpöä suhteessa käytettyyn sähköön, joka tarvitaan pyörittämään kompressoria. Paluulämpöpumpun tuottamassa lämpöenergiassa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että lämmönlähteestä otettava energia ei ole ilmaista tai hukkalämpöä. Näin ollen se tulee ottaa myös huomioon hyötysuhteessa. Alkuperäisen lämmönlähteen käyttämä teho lämmitysveden lämmitykseen saadaan johdettua virtaaman kaavasta (1).

$$\Phi = \rho_v \cdot c_{pv} \cdot q_v \cdot \Delta T \quad (9)$$

$$\Phi = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot 0,08 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot 5^\circ\text{C} = 1,674 \text{ kW}$$

Oletetaan tässä, että ΔT on sama kuin mitä höyrystimeen menevän paluuvien ja höyrystimestä tulevan paluuvien lämpötilanerotus n. 5 astetta, joka on puolestaan suurin piirtein sama kuin mitä maalämpöpumpun höyrystimen tulevan ja palaavan lämmönkeruuliuksen lämpötilaero on tyypillisesti 3–5 K. Näin ollen jo olemassa olevalla lämmönlähteellä lämmitettäisi enää vain lämpöpumpun höyrystimessä tarvittava teho, minkä lämpöpumppu tarvitsee loppulämmön tuottamiseen. Voidaan soveltaa kaavaa (10) lämpökertoimen laskeiseksi, jossa otetaan huomioon myös lämpökattilan käyttämä teho (Aittomäki, A. 2012, 336):

$$\varphi = \frac{\phi_{saatu}}{P_{min} + P_{apu}} = \frac{11,2 \text{ kW}}{0,531 \text{ kW} + 1,674 \text{ kW}} = 5,1 \quad (10)$$

Näin ollen voidaan karkeasti laskea, että lämmitysjärjestelmän paluuvien puolelle laitettu lämpöpumppu voisi ideaali tapauksessa parantaa koko lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta n. 500...600% jos vanhalla lämmityskattilalla lämmitettävä osuus laskee n. 25 °C astetta, eli vanhalla lämmitysmenetelmällä paluuvien lämmitetään 40°C:ta 70°C:een => $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ ja lämpöpumpun avulla vanhalla lämmityskattilalla tarvitsisi ideaali tapauksessa lämmitettä vain lämpöpumpun höyrystimen ottama lämpöteho n. $\Delta T = 5^\circ\text{C}$. Joten $30^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$. Luvut ovat karkeita, mutta suuntaa antavia.

5 POHDINTAA

Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että lämpöpumpputekniikan käyttö jo olemassa olevaan vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään on mielenkiintoinen idea. Idean testaaminen ja kaupallistaminen käytännössä vaatisi kuitenkin aluksi saneerattavan kohteen tai mieluummin tutkimuslaboratorion.

Arvioidessa varovaisesti kyseisen idean mahdollista hintaa verrattuna muihin markkinoilla oleviin järjestelmiin voidaan ottaa verrokiksi esimerkiksi ilma-vesilämpöpumppu, joka asennetaan esimerkiksi öljy- tai sähkölämmityskattilan rinnalle. Kyseisen järjestelmän hinta on arvioitu asennettuna pumpun ja talon koosta riippuen 8000-20000€ välille ja kotitalousvähennyksen jälkeen 7000-18000€ välille. (Lämpöykkönen Oy. 2020). Kun taas paluulämpöpumpun hinnaksi voisi muodostua tarvittun ottotohon ja rakenteen perusteella vastaavan tehoisen ilmalämpöpumpun hinta ja tämän lisäksi ylimääräinen levylämmönvaihdin. Internetistä hintavertailu palvelua apuna käyttäen saadaan keskiverto hinnaksi ilmalämpöpumpulle asennettuna n. 2100€. Levylämmönvaihtimelle jossa teho on 10 – 75 kW ja soveltuu erilaisiin lämmitys- ja jäähdytyssovelluksiin hinta on noin 300€. (Lämpötori.fi. 2020). Pyöristetynä hinta tällaiselle konfiguraatiolle voisi olla 3000-4000€ luokkaa. Täytyy kuitenkin muistaa, että tämän työn laskelmissa ei ole otettu huomioon käyttöveden lämmitykseen kuluva energia, mutta useissa esimerkiksi öljylämmityskattiloissa käyttövesi lämmitetään lämmityskattilan sisällä olevalla lämminvesikierukalla ja lämpiää samalla energialla kuin itse kiinteistön lämmitysvesi. Mahdollinen edullisempi hinta ja tätä kautta lyhempi takaisinmaksuaika saattaisi kannustaa ja madaltaa kynnystä ihmisiä perehtymään matala-energiainvestointeihin.

Kylmäaineen valinta kyseiseen lämpöpumppujärjestelmään on avainasemassa järjestelmän toimivuuden kannalta. Vaikka vanhemmissa kiinteistöissä voi olla pelkästään patteriverkosto millä taloa lämmitetään, joka voi johtaa siihen, että kylmäaineen kriittinen piste ylitetään paluueden lämpötilan ollessa liian korkea. Siihen pitää varautua valitsemalla oikeanlainen kylmäaine, kuten esimerkiksi hiilidioksidi tai jokin muu kylmäaine, jolla on korkeampi kriittinen piste tai kylmäaine pystyy toimimaan ylikriittisellä alueella. On myös kehittyneitä ohjausjärjestelmiä, erilaisia kytkentöjä ja säätöventtiilejä millä kriittisen pisteen ylitys voidaan hallita. Usein kuitenkin uudemmissa tai jo saneeratuissa kiinteistöissä on monesti myös vähintään pesutiloissa vesikiertoinen lattialämmitys, minkä paluueden lämpötila on patteriverkoston paluueden lämpötilaa matalampi.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena päätavoitteena oli kehittää laitteisto kiinteistön jo olemassa olevan lämmitysjärjestelmän saneerausta varten energiatehokkaammaksi ilman, että koko järjestelmä uusitaan tai, että vanhan järjestelmän rinnalle tulee uusi järjestelmä. Eli tavoitteena oli integroitu lämpöpumppu vanhaan järjestelmään. Lisäksi tavoitteena oli oman tietotaidon lisääminen lämpöpumpputekniikasta ja kehittää uusia ideoita ja tutkia mahdollisuuksia käyttää niitä. Työ suoritettiin tutkimalla ja soveltamalla alan kirjallisuutta, sekä tutkimuksia.

Työssä tutustuttiin ensin tavanomaisempiin vesikiertosiin keskuslämmitysjärjestelmiin ja lämpöpumpputekniikkaan. Kun idea kylmäainepiirin käyttämisestä perinteisen vesikiertoisen keskuslämmitysjärjestelmän hyötysuhteen parantamiseen syntyi, täytyi sille suunnitella yksinkertainen tapa toteuttaa jo olemassa olevalla tekniikalla. Näin saatiin myös laskettua suuntaa antavasti, että menetelmä voisi olla syventävän lisätutkimuksen arvoinen. Huomattiin myös, että kyseinen laitteisto voisi olla toteutettavissa tehonsa puolesta suhteellisen edullisesti verrattuna muihin markkinoilla oleviin järjestelmiin kuten esimerkkinä käytetty ilma-vesilämpöpumppu.

Työn yhtenä tavoitteena oli myös kehittää idea laitteistosta, jonka edullinen hinta ja suhteellisen yksinkertainen asennus ilman ulos porattavaa lämpökaivoa tai seinään kiinnitettävää puhallin ulkoyksikköä voisi madaltaa monen kynnystä siirtyä käyttämään matalaenergiasta tekniikkaa kiinteistönsä lämmittämiseen. Tästä seuraisi myös kasvihuonepäästöjen pienentyminen. Laitteisto sopisi myös isompiin kiinteistöihin kuten rivi- ja kerrostaloihin.

Työssä huomattiin, että lämmönkeruupiirissä ei tarvitse käyttää glykolia tai etanolia jäätymisriskin takia, joten keruunesteenä voidaan käyttää vettä. Toisaalta kylmäaineen valinta voi tuottaa haasteita kriittisen pisteen takia.

LÄHTEET

Seppänen, O. 1995. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-yhdistysten liitto. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

LVI 12-10343. 2002. LVI-ohjekortti. Vesikiertoinen patterilämmitys.

LVI 38-10454. 2010. LVI-ohjekortti. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto.

LVI 11-10394. 2005. LVI-ohjekortti. Kevytöljylämmitys.

LVI 62-10463. 2011. LVI-ohjekortti. Maakaasulämmitys

RT 52-10876. 2006. LVI-ohjekortti. Puupellettilämmitys

LVI 10-10397. 2006. LVI-ohjekortti. Rakennusten lämmitys.

LVI 11-10623.2018. LVI-ohjekortti. Maalämpöpumput pientalot.

LVI 11-10332. 2002. LVI-ohjekortti. Lämpöpumput.

Lampinen, M. 2010. Termodynamiikan perusteet. Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd. Helsinki: Hakapaino Oy.

Aittomäki, A. 2012. Kylmäteknikka. Suomen Kylmäyhdistys Ry. Porvoo: Bookwell Oy.

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

Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011. Kylmäteknikan perusteet. Opetushallitus. Helsinki. Juvenesprint Oy.

Hakala, Pertti. & Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus. Tampere. Suomen Yliopistopaino Oy.

Lari Eskola, Jokisalo, J & Sirén, K. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas PDF. Ympäristöministeriö. Aalto-yliopisto [viitattu 11.03.2020]. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ia_rakentaminen/Lainsaadanto_ia_ohjeet/Rakentamismaaraysko-koelma/Energiatehokkuus

Räisä, J. 2013. Maalämpöpumppulaboratorio oppimisympäristönä. Insinööriyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu Thesus-tietokanta. [Viitattu 22.02.2020] Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/59560>

Muuronen, M. 2016. Hiilidioksidin (CO₂) käyttö kylmäaineena, kylmälaitostyytit ja kylmälaitoksen mitoitus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu Thesus-tietokanta. [Viitattu 15.03.] Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/111886>

Lehtinen, J. 2013. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. Lämpövinkki Oy [Viitattu 23.02.2020]. Saatavissa: <http://docplayer.fi/110904-Maalampopumpun-ja-maalammon-valinta.html>

Valtioneuvosto 2019. Rinteen hallituksen hallitusohjelma. 3.1 Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. [Viitattu 31.01.2020] Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/rinteen-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>

Motiva. 2020a. Vesikiertoinen lämmitys – ylläpito ja säätö. Motiva Oy [Viitattu 09.02.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/hyva_ arki_ kotona/kodin_ saatolaitteet/vesikiertoinen_ lammitys_ -_ yllapito_ ja_ saato

Motiva. 2020b. Vesikeskuslämmitys. Motiva Oy [Viitattu 09.02.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_ valinta/lammonjaon_ vaihtoehdot/vesikeskuslammitys

Motiva. 2020c Hallitse huonelämpötiloja. Motiva Oy [Viitattu 09.02.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/hyva_ arki_ kotona/hallitse_ huonelamptiloja

Motiva. 2020d. Lämmitysmuodot. Motiva Oy [Viitattu 15.02.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_ valinta/lammitysmuodot

Tilastokeskus. Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennus- ja asuntotuotanto. Syyskuu 2016, Maalämmön osuus lämmönlähteenä kasvussa. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 22.2.2020].

Saatavissa: https://www.stat.fi/til/ras/2016/09/ras_2016_09_2016-11-25_kat_001_fi.html

Danfoss. 2002a. Termostaattiset paisuntaventtiilit [Viitattu 02.03.220] Saatavissa: <https://lampopumput.info/foorumi/attachments/paisuntaventtiilit-pdf.28962/>

Alfa Laval. 2020a. Tiivisteelliset levylämmönvaihtimet [Viitattu 08.03.2020]. Saatavissa: <https://www.alfalaval.fi/microsites/tiivisteelliset-levylammonvaihtimet/mallit>

RefGroup Oy. 2020a. Mikä ihmeen lämpöpumppu. [Viitattu 15.03.2020] Saatavissa: <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto>

Suomen ympäristöopisto SYKLI. 2016a. Hankkeet. Energiaväylä. [Viitattu 11.03.2020]. Saatavissa: <https://sykli.fi/hankkeet/energiavayla/>

Kauppila, K. EnerSys CM Oy. 2017. Energiaväylän kuluttajan lämpöpumppukeskus. Suomen ympäristöopisto SYKLI. [Viitattu 08.03.2020]. Saatavissa: <https://sykli.fi/wp-content/uploads/2018/05/energiavaylankuluttajanlampopumppukeskus-final-06032018-1.pdf>

Lämpöykkönen Oy. 2020. Tuotteet. Ilma-vesilämpöpumput. [Viitattu 27.03.2020] Saatavissa: https://lampoykkonen.fi/tuotteet/ilma-vesilampopumput/?gclid=EAlalQobChMIjY-ggrqO66AIVCsKyCh1rQgQcEAAYASAAEgJ6SPD_BwE

Lämpötori.fi. 2020. Tuote. Levylämmönvaihdin. Alfa-Laval. [Viitattu 27.03.2020] Saatavissa: <https://lampotori.fi/tuote/levylammonvaihdin-alfa-laval-cb60-60h-f/>