



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Henri Torsti

ASIAKASPÄÄN LÄHIJÄÄHDYTYS JA
LÄMPÖPUMPPURATKAISUN
TUOTTEISTAMINEN

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Henri Torsti
Opinnäytetyön nimi	Asiakaspään lähijäähdytys ja lämpöpumppuratkaisun tuotteistaminen
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	61
Ohjaaja	Marko Rantasalo

Kaukolämpöyhtiöiden on pyrittävä jatkuvaan liiketoiminnan kehittämiseen kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi muita lämmitysmuotoja vastaan. Kaukolämmön tuotantorakennetta on kyettävä kehittämään ilmastoystävällisempään suuntaan sekä lisäksi asiakkaiden tarpeisiin on kyettävä vastaamaan entistä joustavammin. Tässä työssä tutkitaan ratkaisua, jolla kyetään vastaamaan asiakkaiden jäähdytystarpeeseen kiinteistökohtaisella lämpöpumppuratkaisulla. Opinnäytetyön toimeksiantajan toiminta-alueella varsinaisen kaukojäähdytysverkon rakentaminen ei ole kannattavaa, vaan jäähdytyspalvelua on järkevämpää tarjota kiinteistökohtaisesti.

Tässä työssä keskityttiin CHC-ratkaisuun, joka tarkoittaa yhdistettyä jäähdytyksen ja lämmityksen tuotantoa. Ratkaisu mahdollistaa jäähdytyksessä syntyvän hukkalämmön hyödyntämisen kaukolämpöverkossa.

Työn tietoperustana on referoitu luotettavia kotimaisia ja kansainvälisiä lähteitä sekä käytyjä keskusteluja eri laitetoimittajien kanssa. Työssä tehdyt investointilaskelmat perustuvat laitetoimittajilta saatuihin hintatietoihin.

Työn lopputulos osoitti, että kiinteistökohtainen CHC-lämpöpumppuratkaisu on helposti tuotteistettavissa. Se on myös asiakkaille huoleton ratkaisu, joka mahdollistaa tehokkaan energiakierron koko taajamassa. Ongelmaksi muodostuvat kuitenkin tuotetun jäähdytyksen kokonaiskustannukset, jotka nousevat melko korkeiksi suurten investointikustannuksen johdosta.

ABSTRACT

Author	Henri Torsti
Title	Local Cooling and Productization of Property Cooling as a Service
Year	2021
Language	Finnish
Pages	61
Name of Supervisor	Marko Rantasalo

District heating companies must strive for continuous business development in order to maintain competitiveness against other forms of heating. The structure of district heating must be developed to a more climate-friendly direction. In addition, customer's needs must be met more flexibly. In this thesis the solution that meets the customer's cooling needs with a property-specific heat pump was examined. Building an actual district cooling network is not profitable in the operating environment of the commissioner of the thesis. It is more reasonable to offer property-specific cooling services.

This study focused on the CHC solution, which means combined cooling and heat generation. The solution enables the utilization of waste heat generated by cooling in the district heating network.

The information of the thesis was referenced from domestic and international reports and conversations with different suppliers. The calculations in the study are based on the information given by suppliers.

The study showed that the property-specific CHC solution is easily productizable. It is also a carefree solution for the customer, which enables a rational energy cycle across the suburb. However, the problem of the solution is the total cost of produced cooling energy, which is quite high due to the high investment costs.

Keywords Local Cooling, Property Cooling, Heat Pump, Combined Heat and Cooling

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	TOTEUTUS	11
3	VAASAN SÄHKÖ.....	12
4	KAUKOLÄMPÖ.....	15
	4.1 Kaukolämpö Suomessa.....	15
	4.2 Kaukolämmön tuotanto.....	17
	4.3 Kaukolämmön jakelu ja siirto.....	18
	4.4 Kaukojäähdytys.....	19
	4.5 Matalalämpöinen kaukolämpö.....	21
5	LÄMPÖPUMPUT	23
	5.1 Kompressiolämpöpumpun toiminta.....	24
	5.2 Lämpöpumpun lämpökerroin.....	25
	5.3 Lämpöpumpun tehonsäätö	27
6	KOMPRESSIOLÄMPÖPUMPUN TEKNIikka	28
	6.1 Kompressorit.....	28
	6.1.1 Mäntäkompressori.....	29
	6.1.2 Scroll-kompressori	30
	6.1.3 Ruuvikompressori	31
	6.2 Lauhdutin	32
	6.3 Höyrystin.....	32
	6.4 Paisuntaventtiili.....	33
	6.5 Kylmäaineet	35
7	LÄMPÖPUMPUT OSANA KAUKOLÄMPÖVERKKOA	37
	7.1 Suuret lämpöpumput.....	37
	7.2 Pienet lämpöpumput	39
8	LÄHIJÄÄHDYTYS	42
	8.1 CHC-Lämpöpumppuratkaisu.....	42

8.2	Asennuksessa huomioitavat tekijät	43
8.2.1	Tekninen laitetila.....	44
8.2.2	Sähköistys	44
9	RATKAISUEHDOTUS JÄÄHDYTYKSEN TOTEUTTAMISEKSI.....	45
9.1	Kohde ja lähtötiedot	45
9.2	Tuotantokustannukset	46
9.3	Kytkevävaihtoehto 1	46
9.4	Kytkevävaihtoehto 2	48
9.5	Kytkevävaihtoehto 3	50
9.5.1	Jäähdytyskausi	51
9.5.2	Lämmityskausi	52
9.5.3	Ratkaisun kannattavuus.....	54
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	56
	LÄHTEET.....	59

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Vaasan kaukolämmön polttoainejakauma vuonna 2020. (Vaasan Sähkö 2021)	13
Kuva 2. Vaasan kaukolämmön tuotannon polttoainejakauma 2020. (Vaasan Sähkö 2021)	14
Kuva 3. Polttoainerakenteen muutos vuosina 1962-2020. (Vaasan Sähkö 2021)	14
Kuva 4. Kaukolämmön hankinnan energialähteet Suomessa vuonna 2018 (vasen) ja 2019 (Oikea). (Energiateollisuus 2020)	16
Kuva 5. Kaukolämmön kulutuksen vaihtelu suomessa kuukausitasolla. (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006, 41).....	16
Kuva 6. Kaksi- ja yksiputkijohtojen havainnekuvat. (Mäkelä ym. 2015, 57).....	19
Kuva 7. Kaukojäähdytysverkon asentaminen kaukolämmön yhteisrakentamisessa. Jäähdytysverkon putket ovat kuvassa oikealla ja niiden eristepaksuus on lämmitysverkon putkia ohuempi.....	21
Kuva 8. Lämpöpumppujen jaottelu järjestelmän ja käyttöenergian perusteella. (Aittomäki 2012, 338).....	23
Kuva 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate. (Techeat, maalämpöpumput).....	25
Kuva 10. Ideaalisen COP-arvon riippuvuus höyrystimen ja lauhduttimen lämpötilasuhteesta.....	26
Kuva 11. Mäntäkompressorin toimintaperiaate. (Perälä ym. 2013, 41).....	29
Kuva 12. Scroll-kompressorin puristusprosessi. (Kylmäsovellusten scroll-kompressorit, 3)	30
Kuva 13. Kaksiruuvisen ruuvikompressorin roottorit. (Hundy 2016, 75)	31
Kuva 14. Yksiruuvinen ruuvikompressor. (Hundy 2016, 76).....	32
Kuva 15. Levylämmönsiirrin. (Alfa Laval, käyttöohje).....	33
Kuva 16. Mekaaninen termostaattinen paisuntaventtiili. (Aittomäki 2012, 214)	34
Kuva 17. Lämpöpumpun kytkentäkaavio kaukolämmön paluuputkeen. (Pöyry 2010, 18)	41
Kuva 18. Esimerkkikytkentäkaavio 50–2000 KW. (Helen 2017).....	43
Kuva 19. Vaihtoehdon 1. kytkentäkaavio. (Helen 2017)	47
Kuva 20. Vaihtoehdon 2. kytkentäkaavio. (Muokattu Helenin kuvasta)	49
Kuva 21. Vaihtoehdon 3. pelkistetty kytkentäkaavio.....	50

Kuva 22. Jäähdytyskauden lämpötilatasot	52
Kuva 23. Lämmityskauden lämpötilatasot	53
Taulukko 1. Jäähdytyskauden lämpötilatasot	45
Taulukko 2. Lämpötilatasot jäähdytyskauden ulkopuolella	49

1 JOHDANTO

Kaukolämpö on Suomen kaupunkien ja taajama-alueiden yleisin lämmitysmuoto. Se mielletään asiakkaalle hyvin helpoksi ja varmatoimiseksi lämmitysratkaisuksi. Kaukolämmöllä on edelleen vahva asema rakennusten uudistuotannossa, vaikka kilpailevien lämmitysmuotojen investointikustannusten laskun ja käyttökokemusten myötä kilpailu lämmitysjärjestelmien välillä on kiristynyt. Viime vuosina voimakkaasti kasvaneet ilmastotavoitteet ovat myös osaltaan vauhdittaneet kilpailevien lämmitysmuotojen, kuten maalämmön, markkinaosuuden kasvua.

Kaukolämpöä pystytään tuottamaan hyvin korkealla hyötysuhteella suurissa yhteistuotantolaitoksissa ja kaukolämpöverkko mahdollistaa suurien lämpökuormien siirtämisen tiheästi asutuilla alueilla. Uusien savukaasupesureiden ja korkeiden savupiippujen ansiosta päästöt saadaan pidettyä matalina ja poissa ihmisten hengitysilmosta. Vaikka monet energiayhtiöt ovat vähentäneet fossiilisten polttoaineiden käyttöä viime vuosina tuntuvasti, saattaa kaukolämpö silti näyttäytyä saastuttavana vaihtoehtona joidenkin kuluttajien silmissä.

Kaukolämpöyhtiöiden on kyettävä pitämään kilpailuasemaansa yllä jatkuvalla toiminnan ja tuotantorakenteen kehittämisellä. Uusia ei-polttoon perustuvia lämmöntuotantotapoja on kyettävä integroimaan osaksi lämpöyhtiöiden energijärjestelmiä. Tuotantolaitosten on kuitenkin oltava mahdollisimman isoja, keskitettyjä järjestelmiä, eikä niiden toteuttaminen tapahdu tyypillisesti kovin nopeasti.

Kiinteistön energiakustannukset muodostavat perinteisesti 30–50% suuresti kiinteistön tuottoon vaikuttavista hoitokuluista. (Kontu & Vimpari 2020, 12) Tämä luo kiinteistön omistajalle taloudellista motivaatiota panostaa yhä enemmän kiinteistön omiin energijärjestelmiin. Pitkään jatkunut matala korkotaso on myös osaltaan mahdollistanut suuremmat, kaukolämmön kanssa kilpailevat laiteinvestoinnit. Lisäksi yksi kaukolämmön kilpailukykyä heikentävä tekijä monella asuinalueella on jäädytyksen puuttuminen. Tämä luo kilpailuetua esimerkiksi maalämmölle, jolla jäädytys pystytään tuottamaan yhden ja saman

järjestelmän avulla. Jäähdytystarpeeseen on kyettävä vastaamaan, sillä se saattaa olla kynnyskysymys kiinteistön tulevaa lämmitysmuotoa valittaessa.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda työn toimeksiantajalle Vaasan Sähkö Oy:lle tekninen ratkaisuehdotus asiakaspään lähijäähdytyksen toteuttamiseksi lämpöpumppuratkaisua hyödyntäen. Lisäksi ratkaisua on pohdittava taloudellisesta näkökulmasta analysoimalla ratkaisun kannattavuutta. Ratkaisun suunnittelussa käytetään erään suunnitteilla olevan kiinteistön lähtötietoja.

Luvussa kaksi kerrotaan työn toteutuksesta sekä tutkimusmenetelmistä. Luvussa kerrotaan työn rajauksesta, lähtötiedoista sekä lähdekritiikistä perusteluineen.

Luvussa kolme kerrotaan lyhyesti työn toimeksiantajasta Vaasan Sähkö Oy:stä, sekä yhtiön kaukolämmöntuotannosta. Luvussa kerrotaan yhtiön kaukolämmöntuotantorakenteesta, siitä miten se on muuttunut sekä mitä tavoitteita yhtiöllä on rakenteen uudistamiseksi.

Luvussa neljä käsitellään kaukolämmitystä Suomessa. Luvussa kerrotaan kaukolämmön tuotannosta ja jakelusta. Lisäksi luvussa kerrotaan kaukojäähdytysverkoista sekä uusista, matalalämpöisistä kaukolämpöverkoista.

Luvussa viisi kerrotaan ensin lämpöpumpuista yleisesti, jonka jälkeen esitellään lämpöpumppun toiminta periaate. Luvussa kerrotaan lämpöpumpun tekniikasta, käytettävistä kylmäaineista sekä siitä, miten lämpöpumpun tehokkuus määräytyy.

Luvussa kuusi kerrotaan yleisellä tasolla lämpöpumppujen hyödyntämisestä osana kaukolämpöjärjestelmää. Luvussa käsitellään erikseen suuria- sekä pieniä lämpöpumppuja, niiden tuomia hyötyjä sekä käytön rajoitteita.

Luvussa seitsemän kerrotaan ensin lähijäähdytyksestä ja lähijäähdytyksen toteutus vaihtoehtoista. Luvussa kerrotaan hieman tarkemmin CHC-lämpöpumppujärjestelmästä, sen tarjoamista hyödyistä sekä rajoitteista.

Luvussa kahdeksan esitetään ratkaisuehdotukset asiakaspään lähijäähdytyksen toteuttamiseksi valitussa kiinteistössä. Ratkaisuehdotukset pitävät sisällään kytkentäkaaviot sekä laskelmat tuotantokustannuksista.

Luvussa yhdeksän analysoidaan työn tuloksia. Luvussa arvioidaan työn luotettavuutta sekä pohditaan sitä, miten työ onnistui vastaamaan tavoitteisiinsa. Lopussa esitetään myös jatko- ja kehittämideoita perustellusti.

2 TOTEUTUS

Tässä opinnäytetyössä teoriaosuus on toteutettu perehtymällä alan kirjallisuuteen sekä aikaisempiin tutkimuksiin aiheeseen liittyen. Työn aihe on asiakaspään lähijäähdytys ja lämpöpumppuratkaisun tuotteistaminen. Lähijäähdytys olisi mahdollista toteuttaa muutamalla eri tavalla, mutta työ päätettiin rajata käsittelemään lämpöpumppuratkaisuja sekä niissä käytettyjä tekniikoita. Työssä ei oteta kantaa kiintiestön sisäisiin jäähdytyksen jakelujärjestelmiin, sillä niiden toteutus on kiintiestön omistajan vastulla.

Opinnäytetyön tietoperusta on kerätty luotettavista ja monipuolisista kotimaisista- sekä kansainvälisistä lähteistä. Lähteinä on käytetty tunnettujen asiantuntijoiden kirjoja sekä tutkimuksia. Lähteinä on pyritty käyttämään mahdollisimman uutta tietoa aiheesta. Lisäksi tietoa on kerätty keskustellen eri laitetoimittajien sekä muiden energiayhtiöiden kanssa heidän kokemuksistaan sekä tarjoamistaan ratkaisuista.

Ratkaisuehdotus perustuu pitkälti eri laitevalmistajien tarjoamiin tietoihin sekä keskusteluihin muiden energiayhtiöiden kanssa heidän keräämästään kokemuksesta vastaavien laitteiden käytön osalta. Opinnäytetyön aikataulun johdosta pilottihankkeen toteuttaminen ei ollut mahdollista.

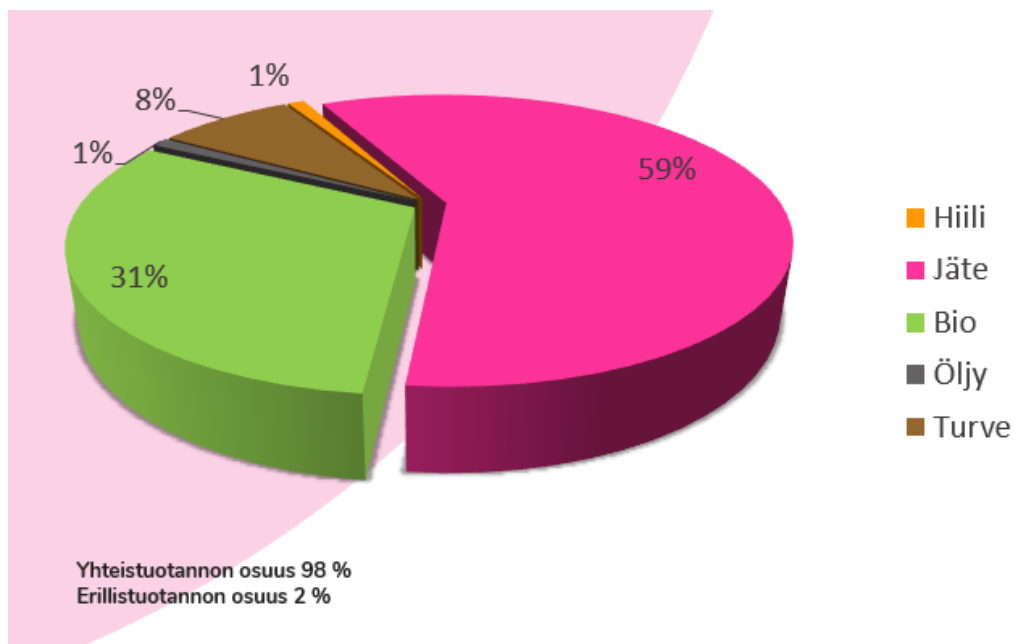
3 VAASAN SÄHKÖ

Vaasan Sähkö on vuonna 1892 perustettu lähes kokonaan Vaasan kaupungin omistama energiakonserni. Konsernin liiketoimintaa ovat sähkön myynti, -tuotanto, -jakelu sekä kaukolämmitys. Vaasan Sähkö-konsernin muodostavat emoyhtiö Vaasan Sähkö Oy:n lisäksi tytäryhtiö Vaasan Sähköverkot Oy sekä osakkuusyhtiöt EPV-Energia Oy ja Smedsby Värmeservice Ab. Vaasan Sähkö myi sähköverkkojen rakentamiseen erikoistuneen Ravera Oy:n toukokuussa 2020 Elevera Oy:lle. Konserni työllistää kokonaisuudessaan noin 120 henkilöä. (Vaasan Sähkö, tietoa Vaasan Sähköstä)

Vaasan Sähkö tuottamasta kaukolämmöstä noin 99 % tuotetaan Westenergyn jäte-energialaitoksessa sekä Vaskiluodon voimalaitoksessa. Molemmat laitokset ovat niin sanottuja CHP-laitoksia, eli niissä tuotetaan yhtäaikaista sähköä että lämpöä. Yhteistuotannolla saavutetaan korkeampi hyötysuhde ja raaka-ainetta kuluu vähemmän.

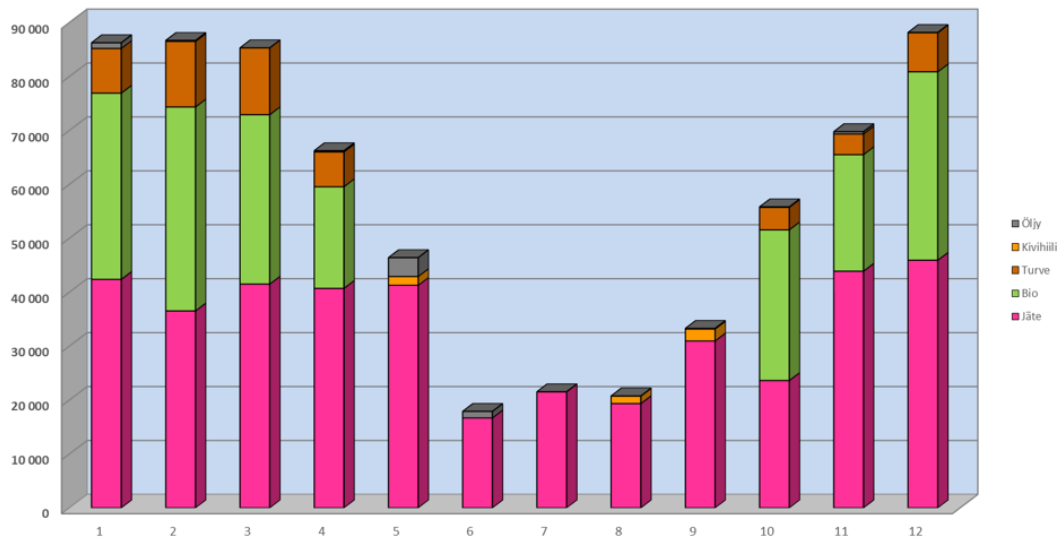
Vuonna 2020 Vaasassa otettiin käyttöön massiivinen lämpövarasto, joka mahdollistaa lämmön varastoimisen maanalaiseen luolastoon. Varasto tarjoaa mahdollisuuden sähkön- ja lämmöntuotannon optimointiin ja täten suojaa sähkön hinnan vaihtelulta sekä mahdollisilta voimalaitosten laiterikoilta. Lämpövarasto mahdollistaa myös lämmön varastoinnin hukkalämmöstä ja eri tuotantolähteistä.

Vaasan Sähkön kaukolämmöntuotannossa käytetyn öljyn sekä kivihiilen osuudet on pystytty supistamaan todella pieniksi. Prosentuaalisesti kummankin osuus yhtiön polttoainejakaumasta vuonna 2020 oli noin 1 %. Yhtiö panostaa kaukolämpöliiketoimintansa tuotantorakenteen uudistamiseen, tavoitteenaan luopua täysin kivihiilen käytöstä vuosien 2023-2025 aikana. Kuvassa 1 on esitetty Vaasan kaukolämmön tuotannon polttoainejakauma vuoden 2020 osalta. (Vaasan Sähkö 2021)



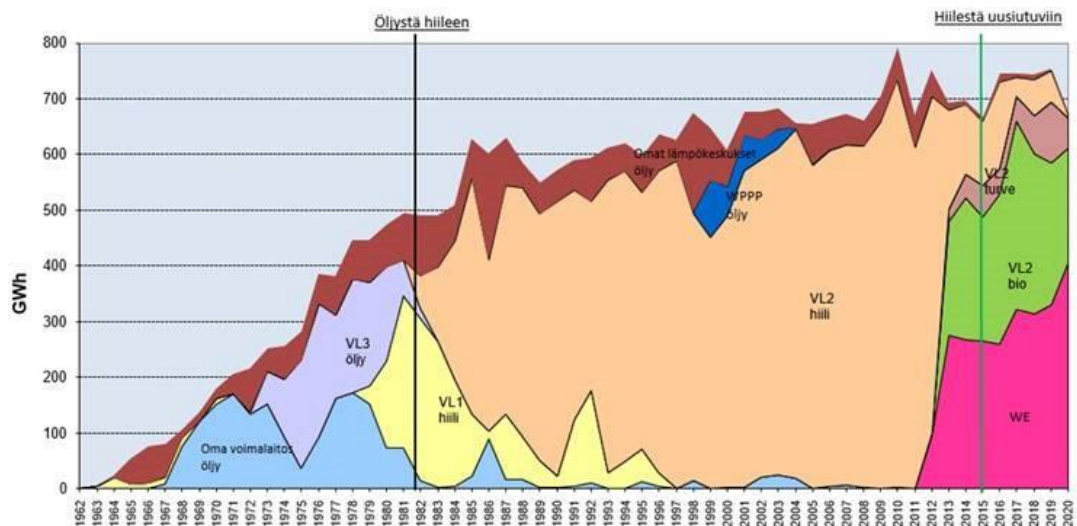
Kuva 1. Vaasan kaukolämmön polttoainejakauma vuonna 2020. (Vaasan Sähkö 2021)

Kuvassa 2 on esitetty Vaasan kaukolämmön tuotannon polttoainejakauma kuukausittain vuoden 2020 osalta. Kuva havainnollistaa hyvin Westenergyn jätteenpolttolaitoksen tuottaman ympärivuotisen peruskuorman kaukolämpöverkkoon sekä Vaskiluodon voimalaitoksen alasajon lämpimäksi kesäajaksi. Vaasan Sähkö käyttää tarvittaessa öljykattiloita kulutuspiikkien tasoittamiseen sekä laitosten vioittuessa lämmöntarpeen täyttämiseen.



Kuva 2. Vaasan kaukolämmön tuotannon polttoainejakauma 2020. (Vaasan Sähkö 2021)

Muutokset kaukolämmön polttoainerakenteessa on havainnollistettu kuvassa 3. Kuvasta nähdään hyvin, miten öljystä luovuttiin 1980-luvun alkupuolella ja miten kivihiilen käyttöä energiantuotannossa on vähennetty rajusti 2010-luvulla Westergyn jätteenpolttolaitoksen rakentamisen myötä. Laitoksen koekäyttö alkoi kesällä 2012 ja kaupallinen käyttö 1.1.2013. (Westenergy 2019)



Kuva 3. Polttoainerakenteen muutos vuosina 1962-2020. (Vaasan Sähkö 2021)

4 KAUKOLÄMPÖ

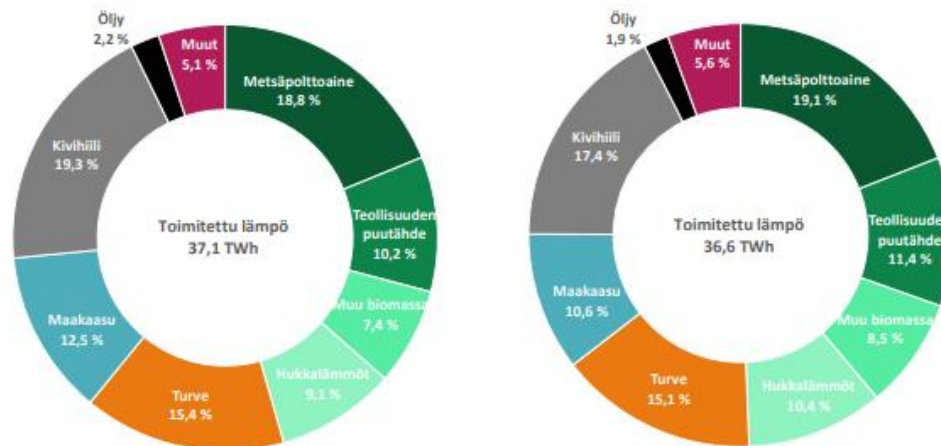
Kaukolämpö on asiakkaalle huoleton lämmitysmuoto, joka mahdollistaa edullisen lämmityksen pienellä alkuinvestoinnilla. Suurien keskitettyjen tuotantolaitosten ansiosta kaukolämpö on hyvin tehokas lämmöntuotantotapa.

4.1 Kaukolämpö Suomessa

Kaukolämpö on Suomen kaupunkien ja taajama-alueiden yleisin lämmitysmuoto, joissa kaukolämpöverkot kattavat käytännössä koko taloudellisesti liitettävissä olevan alueen. Sen taloudelliset hyödyt korostuvat todella tiheästi rakennetuilla alueilla, joissa rakennukset ovat isoja ja suuria tehomääriä voidaan toimittaa lyhyellä lämmönsiirtoverkolla. (Energiateollisuus, kaukolämpö ja -jäähdytys)

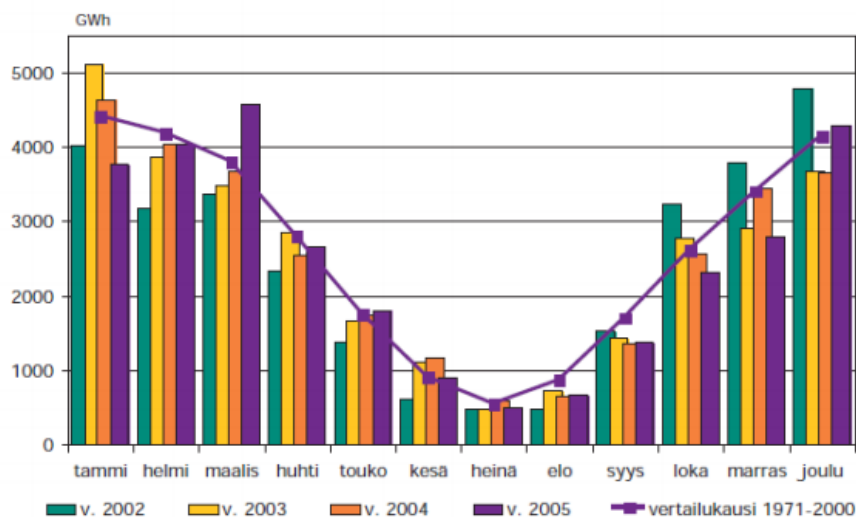
Suomen kaukolämpöverkon kokonaispituus oli vuonna 2019 15 430 kilometriä, jossa kasvua oli vuotta aikaisempaan noin 290 kilometriä. (Energiateollisuus 2020) Verkon pituus kasvaa vuosittain noin 250–500 km pääasiassa olemassa olevan verkon täydentämisellä sekä uusien kiinteistöjen lämpöverkkoon liittämisenä. Virtausputken halkaisija vaihtelee liittymisjohtojen 20 mm:stä Helsingin Vuosaaren voimalaitokselta lähteviin 1 000 mm:n putkiin. (Energiateollisuus, kaukolämpöverkot)

Suomessa vuonna 2019 kaukolämmön hankinta oli yhteensä 36 600 GWh, josta 32 700 GWh tuotettiin polttoaineilla ja loput 3 800 GWh lämmön talteenotolla ja lämpöpumpuilla. Lämpöpumppujen sekä lämmöntalteenoton tuotanto on kasvanut 170 % viimeisten viiden vuoden aikana. Lämmönhankinnasta 66,6 % oli höyryvoimalaitosten vastapainelämpöä tai vastaavaa kaasumoottoreista, dieselmoottoreista tai kaasuturbiineista saatavaa yhteistuotantolämpöä. (Energiateollisuus 2020)



Kuva 4. Kaukolämmön hankinnan energialähteet Suomessa vuonna 2018 (vasen) ja 2019 (Oikea). (Energiateollisuus 2020)

Kuvassa 5 on esitetty kaukolämmön kulutusvaihtelut Suomessa. Kesällä kaukolämpöä käytetään pääasiassa lämpimän käyttöveden lämmitykseen, jolloin tehontarve on ainoastaan noin 10 % tammikuun kulutushuipusta. Suuret kuukausittaiset tehon vaihtelut asettavat omat vaatimuksensa kaukolämpöjärjestelmän tuotantorakenteelle. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 28)



Kuva 5. Kaukolämmön kulutuksen vaihtelu suomessa kuukausitasolla. (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006, 41)

4.2 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämmitys on lämmönlähteiden osalta joustava lämmitysjärjestelmä. Lämmönlähteinä toimivat esimerkiksi CHP-laitokset, lämpökeskukset, teollisuuden hukkalämpö sekä goeterminen lämpö. Suurissa ja tehokkaissa polttoon perustuvissa tuotantolaitoksissa voidaan käyttää useita eri polttoaineita. Erityisesti kivihiili, puuhake ja polttoturve ovat keskenään vaihtoehtoisia polttoaineita. Myös erityyppiset öljyt ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat usein samoissa voimalaitoksissa käytettäviksi. Vaihtoehtoiset polttoaineet mahdollistavat hinnan kilpailuttamisen edullisimman vaihtoehdon löytämiseksi. Lisäksi suurten voimalitosten kattilat ja savukaasupesurit omaavat hyvät hyötysuhteet. (Mäkelä ym. 2015, 22)

Kaukolämmön tuotanto perustuu teholtaan erikokoisten lämmöntuotantolaitosten yhdistelmiin ja niiden mahdollisimman taloudelliseen optimointiin. Tuotantolaitosten käyttöön vaikuttavat kustannusten lisäksi verkoston siirtokapasiteetti ja asiakkaiden tehontarve. Tavoiteena on luoda luotettava ja kustannuksiltaan tehokas järjestelmä. (Mäkelä ym. 2015, 22)

Perinteisessä polttamiseen perustuvissa tuotannossa kaukolämpö tuotetaan joko pelkkää lämpöä tuottavissa lämpökeskuksissa tai korkeamman hyötysuhteen CHP-laitoksissa. CHP-laitoksessa tuotetaan samassa prosessissa sekä sähköä että lämpöä, mikä tehostaa polttoaineen käyttöä. CHP-tuotanto voi perustua moottorivoimalaitokseen, kaasuturbiiniprosessiin tai höyryprosessiin. Näiden kaikkien toiminta perustuu sähköntuotannosta syntyvän hukkalämmön talteenottoon, joka hyödynnetään kaukolämpöverkossa. (Mäkelä ym. 2015, 24)

Lämpökeskuksilla tuotetaan ainostaan kuumaa vettä kaukolämpöverkkoon kaukolämpöasiakkaiden lämmöntarpeen täyttämiseksi. Lämpökeskuksia voidaan käyttää kaukolämpöverkon peruskuorman tuottamiseen, huippulämmön tuottamiseen tai varalaitoksina vikatilanteiden varalla. Lämpökeskus voi olla myös konttiin rakennettu, siirrettävä järjestelmä, jolla pystytään vastaamaan muuttuviin tilanteisiin. Lämpökeskus voi olla varustettu yhdellä tai useammalla kuumavesikattilalla. (Mäkelä ym. 2015, 25–26)

4.3 Kaukolämmön jakelu ja siirto

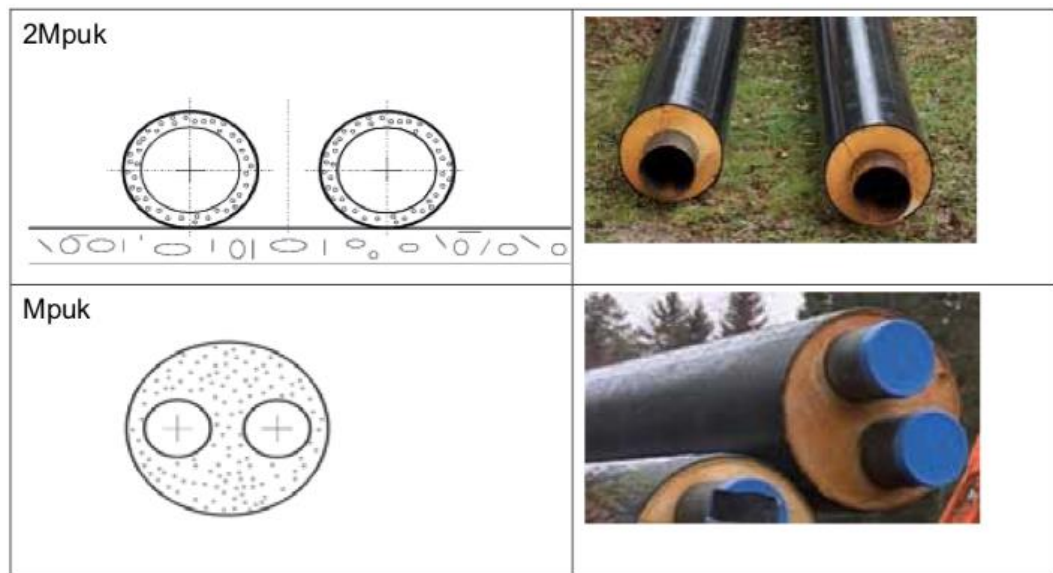
Kaukolämpöverkossa tuotantolaitosten tuottama lämpöenergia siirretään suljetussa järjestelmässä asiakkaalle kuumana vetenä. Kaukolämmön siirtoaineena käytettävästä vedestä poistetaan mekaaniset epäpuhtaudet, happi ja sen pH säädetään putkistolle sopivaksi. Toimenpiteellä pyritään estämään putkiston korrosio sekä epäpuhtauskerrostuminen putkiston sisään. (Koskelainen ym. 2006, 361–365)

Tärkeimpinä ohjaavina tekijöinä kaukolämpöjärjestelmää säädettyä ovat paine-ero meno- ja paluuputken välillä sekä verkoston menolämpötila. Paine-eroa säädetään kaukolämpöveden pumppauksella siten, että jokaisella asiakkaalla on käytettävissään vähintään verkoston minimipaine-ero 60 kPa. Verkostoon virtaavan menoveden lämpötilaa säädetään ilmalämpötilan mukaan. Kaukolämpöveden ylin lämpötila normaaleissa käyttötilanteissa saa olla maksimissaan 115 celsiusastetta. Kesäaikaan verkostoon syötettävän menoveden on oltava vähintään 70 celsiusastetta, jotta kaukolämpöasiakkaiden lämmin käyttövesi kyetään lämmittämään tarpeeksi lämpimäksi. Tehon säätö tapahtuu voimalaitoksella kattilaan syötettävän polttoaineen määrää säätämällä. (Mäkelä ym. 2015,22–23)

Kaukolämpöverkon rakentamisessa käytetään yleisesti kaksiputkijärjestelmää, jossa on yksi meno- ja yksi paluujohto. Nykyisin rakennettavat kaukolämpöjohdot ovat rakenteeltaan tehdasvalmisteisia kokonaisuuksia. Niiden teräksisen virtausputken ja muovisen suojaputken välissä on kuvan 6 mukainen, valmis uretaanivahtoeristys. Kiinnivaahdotettu johtotyyppi tuli Suomessa käyttöön 1970-luvulla ja 1980-luvun jälkeen käytännössä kaikki johdot on rakennettu tällä johto tyypillä. (Koskelainen ym. 2006, 138)

Kaukolämmössä käytetyt johdot ovat joko yksiputkijohtoja, joissa meno- ja paluuvien virtausputket ovat omissa putkissaan tai kaksiputkijohdoissa, joissa teräsputket ovat saman polyuretaanisuojakuoren sisällä. Kaksiputkijohdossa menoputki on sijoitettu paluuputken alle lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Yksiputkijohdoista käytetään työpöirroksissa yleisesti nimilyhennettä 2Mpuk ja kaksiputkijohdoista Mpuk. Kaukolämpöjohtojen mitoitus muovisia virtausputkia

lukuunottamatta perustuu 1,6 MPa (16 bar) suunnittelupaineeseen ja ≤ 120 celsiusasteen käyttölämpötilaan. (Koskelainen ym. 2006, 137)



Kuva 6. Kaksi- ja yksiputkijohtojen havainnekuvat. (Mäkelä ym. 2015, 57)

4.4 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys toimii päinvastaisella tavalla kuin kaukolämmitys. Kaukojäähdytysverkossa kulkee kylmä vesi, joka johdetaan menoputkessa suoraan kiinteistön jäähdytyslaitteistoon tai lämmönvaihtimeen. Lämmennyt kaukojäähdytysvesi johdetaan paluuputkea pitkin takaisin kaukojäähdytyslaitokseen jäähdytettäväksi ennen sen palauttamista takaisin asiakkaalle. Kaukojäähdytyksessä siis siirretään ylimääräinen lämpö asiakkaalta energiayrityksen kaukojäähdytysveteen. Kaukolämmön tavoin jäähdytyksestä sekä laitteistosta vastaa palvelun tarjoaja, minkä vuoksi se on käyttäjän näkökulmasta huoleton vaihtoehto. Kaukojäähdytys on kaukolämmön tapaan kiinteistökohtaista jäähdytystä energiatehokkaampi toteutustapa tiiviisti asutulla alueella. (Koskelainen ym. 2006, 529)

Jäähdytysenergian jakelu voidaan toteuttaa joko keskitetysti tai hajautetusti. Keskitetyssä järjestelmässä jäähdytysenergia tuotetaan suurissa yksiköissä kompressori- tai absorptiokoneilla, lämpöpumpuilla tai vapaalla jäähdytyksellä ilmasta tai esimerkiksi merivedestä. Hajautetussa järjestelmässä jäähdytys

tuotetaan esimerkiksi rakennusryhmälle tai -kompleksille. (Koskelainen ym. 2006, 529)

Kaukojäähdytyksessä meno- ja paluuveden lämpötilaero on noin viidenneksen verrattuna kaukolämmön lämpötilaeroihin. Kylmän veden lämpötilan vuoksi virtausnopeus tulisi rajoittaa arvoon 1–2 m/s teräsputkissa eroosiovaaran takia, kun taas kaukolämpöputkissa nopeus voi olla kaksinkertainen. Kaukojäähdytysteho pystytään siis siirtämään samankokoisissa putkissa huomattavasti pienempi määrä verrattuna kaukolämmitystehtoon. (Koskelainen ym. 2006, 541)

Kaukojäähdytys tarvitsee aina kaukolämmön tavoin oman jakeluverkkonsa. Jäähdytysputkina voidaan käyttää erilaisia putkimateriaaleja ja -tyyppejä, kuten muovi, lasikuitu ja teräs. Maan alle rakennettavissa jäähdytysverkoissa käytetään yleensä kiinnivaahdotettua kaukolämpöjohtoa. Maan ja jäähdytysputken pienen lämpötilaeron johdosta voidaan käyttää kaukolämpökäyttöä ohuempaa eristevahvuutta. Jäähdytysverkon paluuputki voi olla myös täysin eristämätön, mutta kosteuden pääsy putken pinnalle on estettävä muovipinnoitteella. Maanalaisiin tunneleihin tai -parkkihalleihin rakennettavat putket voivat olla myös eristämätöntä teräsputkea, jonka pinnassa on 10–20 mm muovikerros. Putkityyppi helpottaa asennusta erityisesti ahtaissa tiloissa. (Koskelainen ym. 2006, 541)



Kuva 7. Kaukojäähdytysverkon asentaminen kaukolämmön yhteisrakentamisessa. Jäähdytysverkon putket ovat kuvassa oikealla ja niiden eristepaksuus on lämmitysverkon putkia ohuempi.

4.5 Matalalämpöinen kaukolämpö

Matalalämpöisellä kaukolämpöverkolla tarkoitetaan tulevaisuuden kaukolämpöverkkoa, jonka lämpötila pystytään laskemaan perinteistä kaukolämpöverkkoa matalampaan lämpötilaan. Kaukolämmön tarve ja menovedelle vaadittava lämpötila laskevat rakennusten energiatehokkuuden parantuessa sekä matalalämpöisten lämmitysjärjestelmien yleistyessä. Esimerkiksi lattia- ja seinälämmitys voivat lämmittää rakennuksia 40-asteisella kaukolämpövedellä.

Kaukolämpöverkossa virtaavan veden lämpötilan laskeminen mahdollistaa uusien lämmöntuotantomenetelmien hyödyntämisen kaukolämmöntuotannossa. Menoveden lämpötilan laskiessa lämpöpumppujen hyötysuhde kasvaa, joka mahdollistaa uusien lämpövirtojen hyödyntämisen. Lämpötilan laskeminen myös vähentää kaukolämpöverkon häviöitä. (Lund, Østergaard & Mathiesen 2017, 11)

Vaikka uusien kiinteistöjen lämmittämiseen riittäisi hyvin alhainen menoveden lämpötila, on huomioitava, että kiinteistön lämpimän käyttöveden tarpeeseen on kyettävä vastaamaan. Alhaiseen käyttöveden lämpötilaan liittyy myös legionellabakteerin kehittymisriski, mikä vuoksi lämminkäyttövesi on kyettävä lämmittämään yli 60 celsiusasteen lämpötilaan. Mikäli matalalämpöverkkoon syötetään matalalämpoisempää vettä, on käyttöveden lämmitykseen käytettävä erillistä lämpöpumppua tai muuta vedenlämmittintä. (Lund et al. 2017, 6)

Nykyisissä kaukolämpöverkoissa matalämpökohteita on mahdollista hyödyntää lämmittämällä niitä kaukolämmön paluuedellä, jolloin lämmitys tapahtuu matalalämpoisemmällä vedellä. Tällä parannetaan myös kaukolämmön jäähtymää, jolla on positiivisia vaikutuksia kaukolämmön tuotantoon. Tällainen ratkaisu kuitenkin vaatii toimiakseen esimerkiksi erillisen lämpöpumpun, jotta lämpimänkäyttöveden tarve kyetään täyttämään.

5 LÄMPÖPUMPUT

Lämpöpumppujen merkitys osana energiajärjestelmää on ollut jatkuvassa kasvussa. Käyttökohteita lämpöpumpuille on paljon, alkaen pientalojen lämpöpumppujärjestelmistä päätyen suuriin lämmöntalteenottoratkaisuihin sekä kaukolämmityksen laitteisiin.

Lämmön pumpppauksen toteutustapoja on useita ja koneistot sekä prosessit voidaan jakaa usealla perusteella kuvan 6 tapaan. Vaaka-akselin jaottelu perustuu käyttöenergiaan. Lämpöpumpun tekemä työ voi olla joko lämpöenergiaa tai mekaanista energiaa. Avoimen ja suljetun järjestelmän erona on se, onko lämpöpumppuprosessilla erillistä kiertoainetta vai käyttääkö se ainoastaan prosessin virtoja. Kiertoaineellista lämpöpumppuprosessia kutsutaan suljetuksi järjestelmäksi.

Järjestelmä	Käyttöenergia	
	Lämpö	Mekaaninen
Avoim	Ejektori	Avoim höyrykompressori Kaasun paisunta
Suljettu	Absorptiokoneisto	Kompressorikäyttöinen höyrytyskoneisto

Kuva 8. Lämpöpumppujen jaottelu järjestelmän ja käyttöenergian perusteella. (Aittomäki 2012, 338)

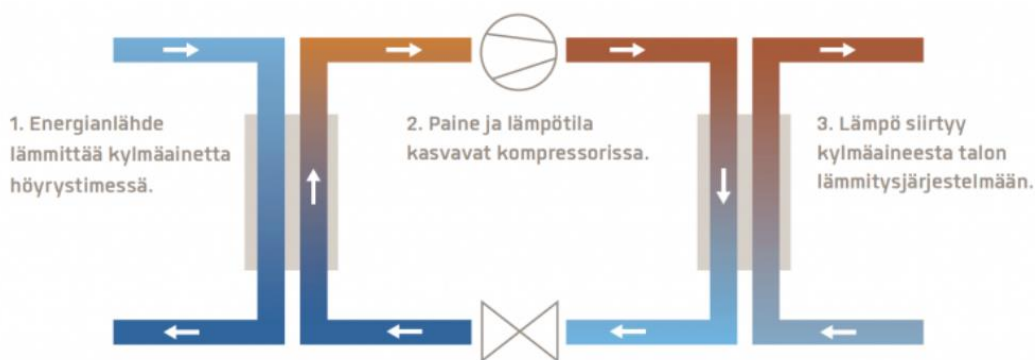
Useimmiten puhuttaessa pelkästä lämpöpumpusta tarkoitetaan suljettuja kompressiolämpöpumppuja, jotka ovat tyypiltään mekaanisia lämpöpumppuja, eli niiden tekemä työ on luonteeltaan mekaanista energiaa. Tässä työssä keskitytään nimenomaan kompressiolämpöpumppuihin.

Kompressiolämpöpumppu on toiminnaltaan ja rakenteeltaan täysin samanlainen kuin jäähdytyskoneikko. Mahdollisina eroina ovat ainoastaan prosessin lämpötilatasot sekä vaatimus korkeasta lämpökertoimesta. Kummankin prosessin kiertoainetta kutsutaan kylmäaineeksi. Pääsääntöisesti käytetyt aineet ovat myös samoja. (Aittomäki 2012, 339–340)

5.1 Kompressiolämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppu mahdollistaa lämpöenergian siirtämisen matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Lämpöpumpun lämmönlähteenä voidaan hyödyntää hyvin monipuolisesti eri lämmönlähteitä. Lisäenergiaa voidaan kerätä esimerkiksi rakennuksen ulkopuolelta maasta, ilmasta tai vedestä. Rakennuksen poistoilma on myös hyvin yleisesti käytetty lämmönlähde. Lämpöpumpun toiminta perustuu laitteistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen, joten kylmäaineella ja sen ominaisuuksilla on hyvin suuri rooli järjestelmän toiminnassa.

Aluksi lämpöpumpun kiertoprosessissa kiertävä kylmäaine kulkee höyrystimeen, jossa se sitoo itseensä lämpöä ulkoisesta energianlähteestä ja höyrystyy. Tarvittava lämpö voidaan ottaa esimerkiksi maahan sijoitetussa putkistossa kiertävästä nesteestä tai tämän työn keskiössä olevasta kaukolämmön paluuedestä. Kompressorin imee höyrystimestä tulevan höyryn ja puristaa sen korkeaan paineeseen, jolloin se kuumenee lähes 100 celsiusasteen lämpötilaan. Paineenalainen kuumentunut kylmäaine johdetaan lämpöpumpun lauhtuttimeen, jossa se lämmönvaihtimen välityksellä luovuttaa keräämänsä lämmön rakennuksen lämmityspiiriin. Lauhtuttimessa jäähtynyt kylmäaine tiivistyy ja muuttuu takaisin nesteeksi. Nestemäinen kylmäaine purkautuu paisuntaventtiilin kautta uudelleen höyrystimeen. Purkautuessa sen paine alenee voimakkaasti ja se jäähtyy alle -20 celsiusasteen lämpötilaan. Jäähtynyt kylmäaine palaa höyrystimeen, jossa se jälleen kerää itseensä lämpöä ja lähtee uudelleen kiertoonsa. (Perälä & Perälä 2013, 27–29)



Kuva 9. Lämpöpumpun toimintaperiaate. (Techeat, maalämpöpumput)

Lämpöpumppuja voidaan tarvittaessa kytkeä sarjaan niin sanottuna kaskadikytkentänä. Kaskadikytkennän periaatteena on kytkeä kaksi tai useampi kylmäainepiiri sarjaan, jolloin toinen voidaan mitoittaa edellistä piiriä korkeammalle lämpötilalle. Piirit erotetaan lämmönsiirtimellä, joka toimii matalalämpötilapiirin lauhduttimena ja korkealämpötilapiirin höyrystimenä. Kumpaankin piiriin voidaan valita niihin parhaiten soveltuva kylmäaine. Tällainen kytkentä parantaa usein hyötysuhdetta, mutta huonona puolena on tekniikan korkeampi hinta. (Aittomäki 2012, 80)

5.2 Lämpöpumpun lämpökerroin

Lämpöpumpun toiminnan tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella. Lämpökertoimesta käytetään englanninkielestä johdettua lyhennettä COP (Capacity Of Performance). Lämpökerroin ilmaisee miten moninkertaisen määrän lämpöä pumppu tuottaa kuluttamaansa energiamäärään verrattuna. Esimerkiksi lämpökertoimella 4 saadaan jokaista 1 kW:n sähkötehoa kohti 4 kW lämpötehoa. Lämpöpumput tarvitsevat prosessissa jonkin verran sähköä pyörittääkseen sähkömoottorilla toimivaa kompressoria. Sähköä kuluu myös pumppuihin ja mahdollisen vesivaraajan lämmitysvastuksiin.

Lämmön keruu- ja luovutuslämpötiloilla on suora vaikutus lämpökertoimen suuruuteen. Ideaalinen Carnot-lämpöpumppuprosessin COP-arvo voidaan laskea seuraavasta yhtälöstä:

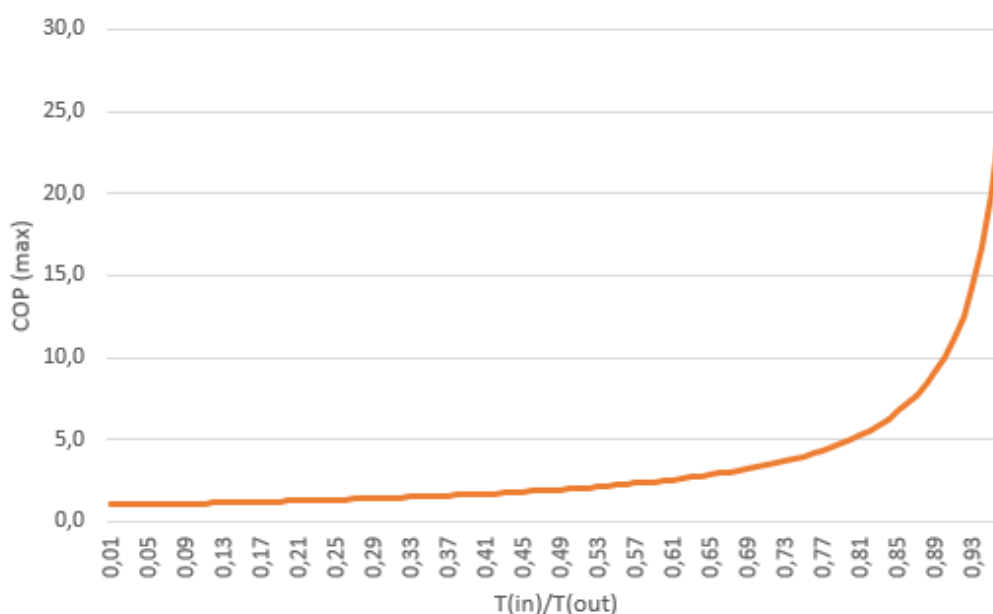
$$\text{Lämpökerroin } COP_{max} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Missä:

$T_1 = \text{Lämmönlähteen lämpötila, } K$

$T_2 = \text{Lämmön luovutuslämpötila, } K$

Lämpökertoimen arvoa laskettaessa on huomioitava, että lämpötilat on syötettävä kaavaan Kelvin-arvoina. Tätä laskutapaa käytettäessä täytyy tiedostaa, että laskutavassa oletetaan kompressorin ja muiden lämpöpumpun laitteiden toimivan sataprosenttisella hyötysuhteella, eli niiden ei oleteta käyttävän ollenkaan energiaa. Käytännössä lämpökertoimet eivät siis ikinä yllä ideaaliselle tasolle. (Perälä ym. 2013, 31)



Kuva 10. Ideaalisen COP-arvon riippuvuus höyrystimen ja lauhduttimen lämpötilasuhteesta.

Laskutavasta kuitenkin huomataan, että lämpökerroin on sitä parempi, mitä pienempi lämmön keruu- ja luovutuslämpötilojen välinen erotus on. Tämä on havainnollistettu kuvassa 10, josta huomataan ideaalisen lämpökertoimen lähestyvän kohti ääretöntä, kun höyrystimen ja lauhduttimen välinen

lämpötilasuhde lähestyy lukua 1. Lämmönlähteen lämpötilaan saattaa olla hankala vaikuttaa, joten korkean COP-arvon saavuttamiseksi tärkeintä on pitää lämpöpumpun luovutuslämpötila mahdollisimman matalana. (Perälä ym. 2013, 31)

5.3 Lämpöpumpun tehonsäätö

Lämpöpumpun tehoa voidaan säätää yksinkertaisella ON/OFF-säädöllä tai invertterisäädöllä. ON/OFF-säädössä termostaatti käynnistää kompressorin jolloin se käy vakionopeudella niin kauan kun lämpöä tarvitaan. Kun lämmöntarve on täytetty, kompressori pysähtyy kunnes termostaatti käynnistää sen uudelleen. Käyntijakson pituus vaihtelee aina lämmöntarpeen mukaan. ON/OFF-säädön heikkoutena on kompressorin katkonainen käynti ja huono säätötarkkuus. Kompressorin jatkuva pysähtyminen ja käynnistyminen lyhentävät sen käyttöikää ja lisäävät kompressorin aiheuttamaa melua.

Invertterisäädössä lämpöpumppuun asennettavalla invertterillä säädetään oikosulkumoottorin vaihtosähkön taajuutta, jolloin kompressorin käyntinopeutta voidaan säätää portaattomasti, täysin tarpeen mukaan. Näin ollen kompressorin toistuvat pysähdykset ja käynnistykset jäävät pois. Nykyään invertterejä käytetään lämpöpumpuissa hyvin yleisesti. (Perälä ym. 2013, 47)

6 KOMPRESSIOLÄMPÖPUMPUN TEKNIikka

Nykyaikaisten lämpöpumppujen tekniikka on luotettavaa ja lämpöpumput voivat olla hyvinkin tehokkaita. Kompressiolämpöpumpun pääkomponentit ovat kompressori, lämmönvaihtimet ja putkisto säätölaitteineen sekä kierto-vesipumppuineen. (Perälä ym. 2013, 41)

6.1 Kompressorit

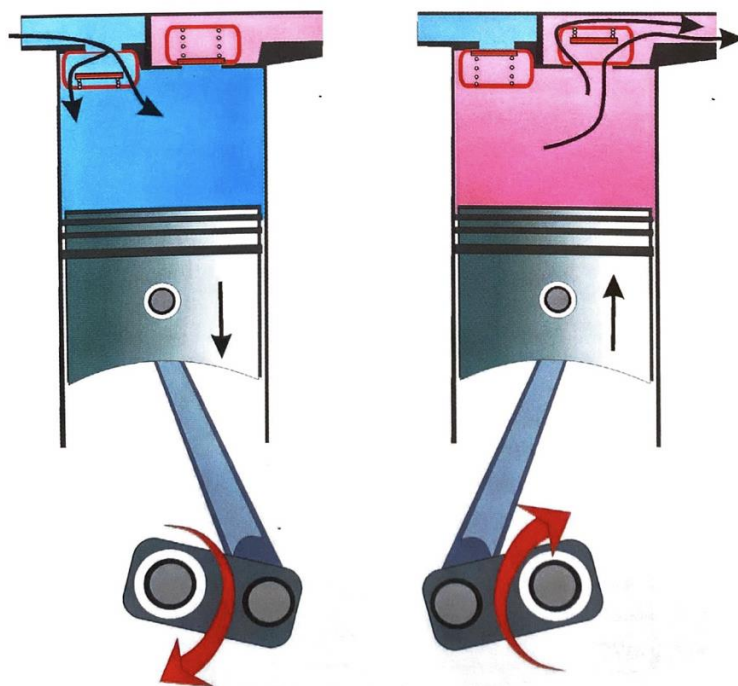
Kompressorit voidaan jakaa hermeettisiin ja puolihhermeettisiin -ryhmiin ulkokuorensa perusteella. Pienemmissä laitteissa kompressori ja moottori ovat usein suljettu hermeettisesti tiiviiseen suojakuoreen, eli suojakuori on suljettu hitsaamalla. Hermeettinen suojakuori ei päästä läpi pölyä eikä likaa, mutta sitä on lähes mahdoton avata, joten vioittunut hermeettinen kompressori on korvattava aina uudella. Puolihhermeettisessä kompressorissa suojakuori on suljettu ruuveilla kiinnitettävällä suojalevyllä. Tämä helpottaa kompressorin huoltamista sen vioittuessa. (Perälä ym. 2013, 43)

Lämpöpumpuissa käytetään jopa 100 kW:n lämmitystehoon saakka hermeettisiä scroll- ja mäntäkompressoreita. Suuremmilla tehoilla käytetään yleisimmin puolihhermeettisiä mäntäkompressoreita. Kokemusten perusteella hermeettiset scroll-kompressorit ovat herkempiä märälle imuhöyrylle kuin hermeettiset mäntäkompressorit. Joissain hermeettisissä mäntäkompressoreissa paineputki kiertää öljytilassa, joka lämmittää öljyä ja höyrystää sinne imukaasun mukana mahdollisesti tulevan nestemäisen kylmäaineen. Kompressorin valintakriteereitä ovat muun muassa kestävyys, hinta, tilantarve, eristettävyys, ääni ja liitäntöjen sijainti. (Hakala & Kaappola 2005, 225)

Lämpöpumpuissa käytettäviä kompressorityyppejä ovat mäntä-, scroll-, ruuvi-, rotaatio ja turbokompressorit. (Kylmäsovellusten scroll-kompressorit, 1) Tämän työn keskiössä olevissa lämpöpumpuissa käytetään ensin mainittuja mäntä-, scroll ja ruuvikompressoreita, joihin myös tässä kappaleessa keskitytään.

6.1.1 Mäntäkompressori

Mäntäkompressori on kompressorien perustyyppi ja se muistuttaa toiminnaltaan hyvin paljon polttomoottoria. Siinä kampiakseli ja kiertokanki liikuttavat mäntää edes takaisin sylinterissä kuvan 11 mukaisesti. Männen liikkua alas, imuventtiili aukeaa ja mäntä imee kylmäainetta imukanavan kautta sylinteriin. Männen liikkua ylös, se paineistaa kylmäaineen ja pumppaa sen paineputkea pitkin kompressorin kuoren läpi lauhduttimelle. Mäntäkompressorit ovat yleisempiä jäähdytyslaitteissa. Niitä käytetään myös lämpöpumpuissa, mutta harvemmin kuin scroll-kompressoria. (Perälä ym. 2013, 41)

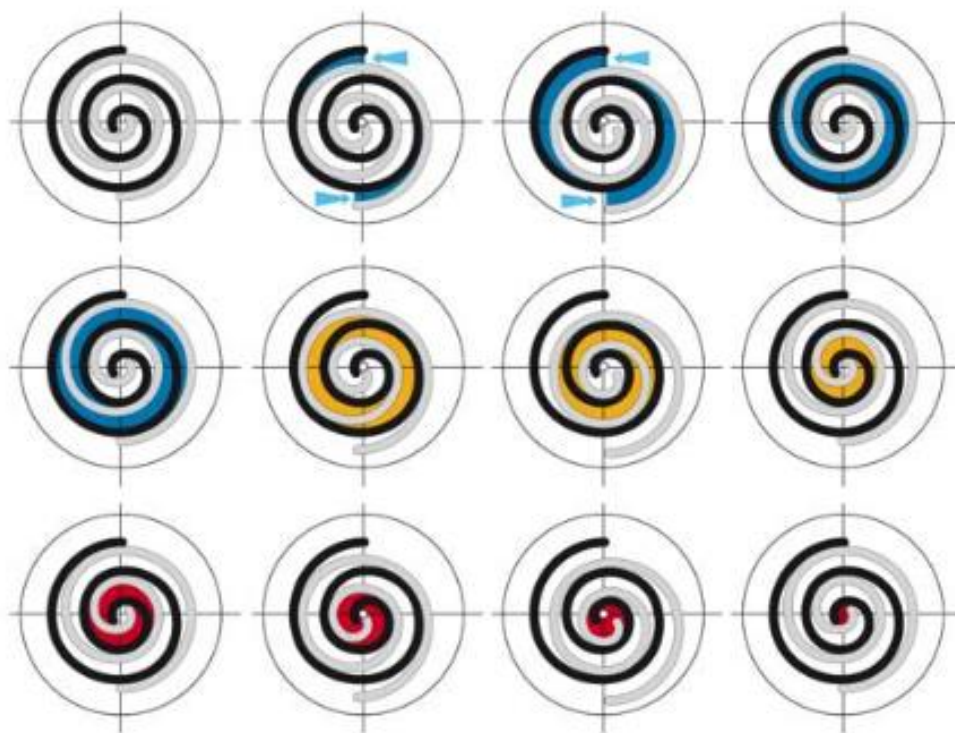


Kuva 11. Mäntäkompressorin toimintaperiaate. (Perälä ym. 2013, 41)

Suurta kompressoritehoa vaativissa lämpöpumpuissa on yleensä käytössä mäntäkompressoria nykyaikaisempi scroll-kompressori. Se on rakenteeltaan yksinkertainen ja pitää sisällään vain vähä osia, minkä johdosta se on luotettava ja pitkäikäinen. Scroll-kompressorissa ei ole lainkaan venttiileitä, minkä johdosta sen käyntiääni on mäntäkompressoria hiljaisempi.

6.1.2 Scroll-kompressor

Scroll-kompressorissa kylmäaine paineistetaan kahdella sisäkkäisellä kierukalla, joista toinen on kiinteä ja toinen kierukka liikkuu kompressorin rungossa kiinni olevan kierukan sisällä epäkeskeisesti. Kierukat koskettavat jatkuvasti toisiaan joiltain kohdin, jolloin niiden väliin jää perättäisiä kammioita. Alussa avautuvaan kammioon imeytyy kylmäainetta, joka kierukoiden sulkeuduttua alkaa liikkua kohti kierukoiden keskustaa. Kierukoiden välinen tila supistuu keskustaa kohti kuljettaessa, jolloin kylmäaineen paine kasvaa ja sen lämpötila nousee. Kylmäaineen päästyä kierukoiden keskustaan, se purkautuu paineisena ja kuumana lauhduttimeen. (Perälä ym. 2013,42–43)



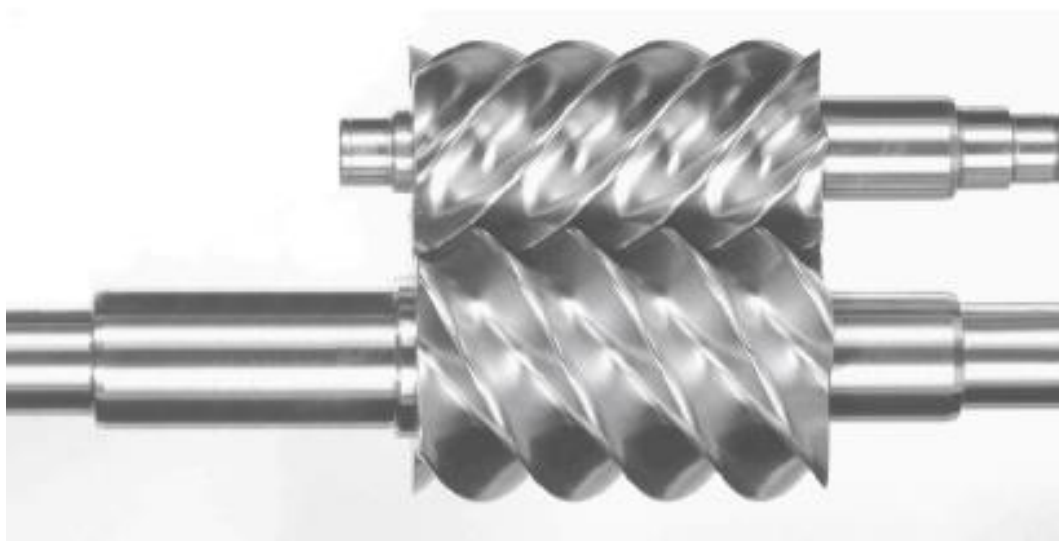
Kuva 12. Scroll-kompressorin puristusprosessi. (Kylmäsovellusten scroll-kompressorit, 3)

Scroll-kompressorissa syntyy tehohäviöitä todella vähän ja kompressorin sekä sitä pyörittävän oikosulkumoottorin yhteinen hyötysuhde on hyvä. Scroll-kompressorin kasvattaa syötetyn kylmäaineen painetta vähitellen, mikä alentaa kompressorin

käymisvastusta ja helpottaa käynnistymistä. Tämä taas osaltaan vähentää kompressorin räsitystä ja pidentää sen käyttöikää. (Perälä ym. 2013, 43)

6.1.3 Ruuvikompressori

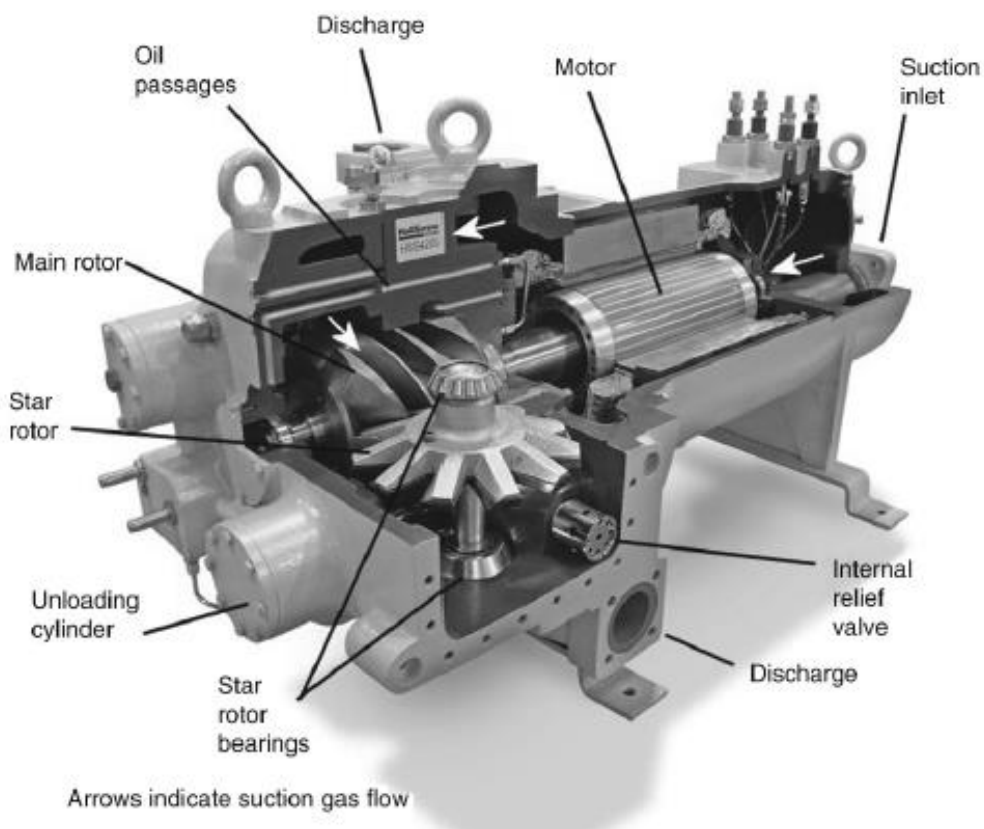
Ruuvikompressori kykenee tuottamaan jatkuvaa painetta lämpöpumppujärjestelmään. Ruuvikompressorit voivat olla joko yksi- tai kaksiruuvisia. Kaksiruuvisessa kompressorissa on rinnakkain kaksi epäsymmetristä ruuvia. Useimmissa malleissa urosruuvi pyörittää naarasruuvia, jolloin ruuvien ja rungon väliin muodostuu kaasutaskuja, joiden tilavuus pienenee ruuvien pyöriessä. Puristuksen alkuvaiheessa ruuvien pyöriminen tiiviissä kotelossa muodostaa matalapainepuolen imuporttiin yhteydessä olevan kaasutaskun, joka imee kaasua sisään laajetessaan. Ruuvien pyöriessä tasku sulkeutuu ja siirtyy akselin suuntaisesti puristuen lopulta paineportista ulos korkeapainepuolella. (Hundy 2016, 75–76)



Kuva 13. Kaksiruuvisen ruuvikompressorin roottorit. (Hundy 2016, 75)

Yksiruuvisessa kompressorissa puristustilan muodostavat yksi ruuvi ja siihen kytketyt kaksi tähtipyörää, jotka sijaitsevat roottorin vastakkaisilla puolilla. Pääroottorin ruuvi, tähtipyörät ja runko muodostavat suljetun kaasutilan, joka puristuu ruuvien päätä lähestyttäessä ja vapautuu paineportin kohdalla.

Kaksiruuvisella kompressorilla saavutetaan hieman parempi hyötysuhde kuin yksiruuvisella. (Hundy 2016, 76–77)



Kuva 14. Yksiruuvinen ruuvikompressor. (Hundy 2016, 76)

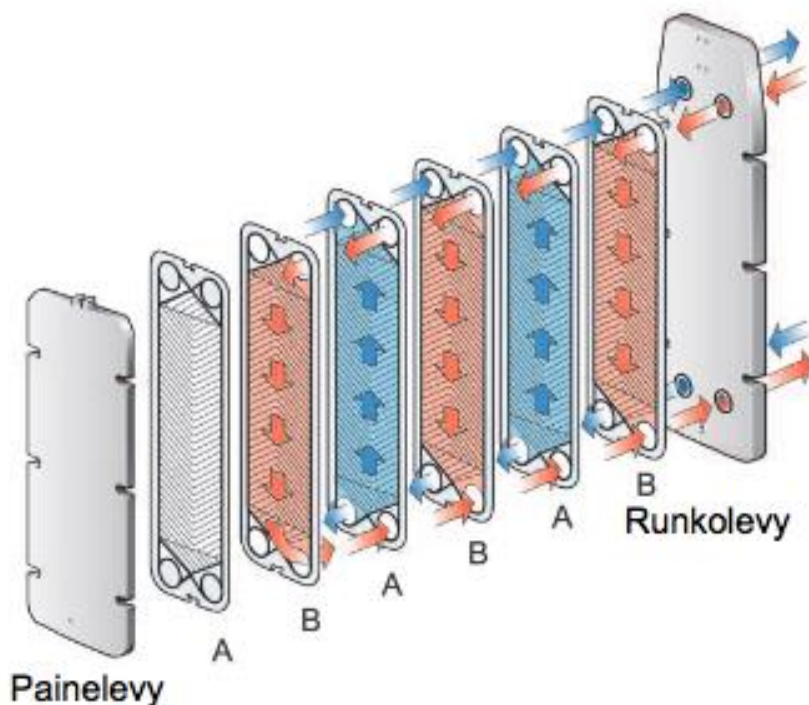
6.2 Lauhdutin

Lauhdutinta käytetään lämpöpumpppuolosuhteissa höyryn nesteyttämiseen. Pääsääntöisesti lämpöpumpuissa käytetään levylämmönsiirtimen tyyppisiä lauhduttimia hyvän hinta-laatusuhteen sekä pienen tilantarpeensa ansiosta. Lämpöpumppuun voidaan lisäksi asentaa alijäähdytin, joka vaikuttaa positiivisesti kylmäpiirin lämpökertoimeen. (Hakala ym. 2005, 225)

6.3 Höyrystin

Lähes kaikki lämpöpumppuvalmistajat käyttävät kuvan 15 mukaisia levylämmönsiirtimiä lämpöpumpun höyrystimenä. Levylämmönsiirtimet ovat kooltaan pieniä ja ne omaavat hyvän hinta-laatusuhteen. Lisäksi

levylämmönsiirtimet, joissa kylmäaine ja neste virtaavat toisiaan vastaan, soveltuvat myös lämpöliukuman omaaville kylmäaineille. (Hakala ym. 2005, 226)



Kuva 15. Levylämmönsiirrin. (Alfa Laval, käyttöohje)

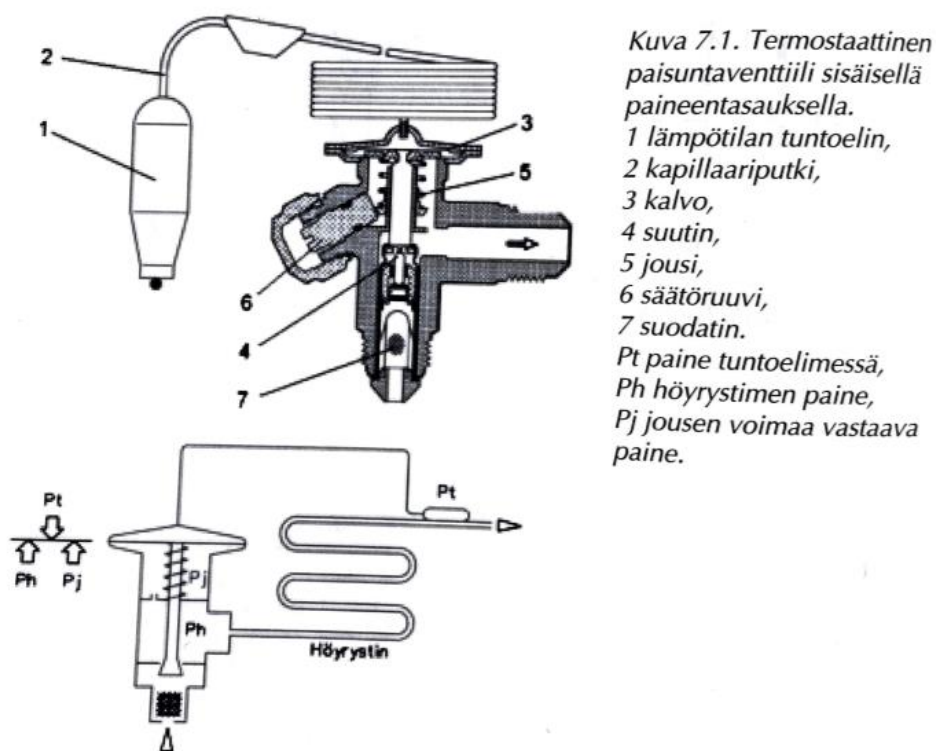
Levylämmönsiirtimet koostuvat pakasta aaltokuvioituja metallisia levyjä, jotka ovat liitetty yhteen nesteiden läpivirtauksen mahdollistamiseksi. Levyt on varustettu tiivisteillä, jotka tiivistävät virtauskanavat ja ohjaavat nesteet vaihtoehtoiseen kanaviin site, että kylmä ja kuuma virta vuorottelevat. Levyjen pintakuviointi lisää virtauksen turbulenssia ja suojaa levyjä paine-eroa vastaan. (Aalto Yliopisto 2019)

6.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiileitä on kahta eri tyyppiä, mekaanisia termostaattisia paisuntaventtiileitä sekä elektronisia paisuntaventtiileitä. Elektronisia paisuntaventtiileitä käytetään tyypillisesti suuremman kokoluokan lämpöpumpuissa.

Paisuntaventtiilillä säädetään kylmäaineen virtausta höyrystimeen. Sopivalla virtauksella saadaan pidettyä kylmäaineen tulistus sopivana. Mekaanisessa

termostaattisessa paisuntaventtiilissä höyrystimestä lähtevä imuputki lämpenee kylmäaineen tulistuksen kasvaessa. Putken pinnalla oleva paisuntaventtiilin tuntoelin tunnistaa lämmön nousun sen täytöksen lämmitessä. Lämmön noustessa, myös paine tuntoelimessä kasvaa ja välittyy kapillaariputkessa kalvolle. Kalvo liikuttaa suuttimen neulaa, jolloin venttiili avautuu lisää ja kasvattaa nesteen virtaamaa höyrystimelle. Kylmäaineen virtauksen kasvaessa tulistus pienenee.



Kuva 16. Mekaaninen termostaattinen paisuntaventtiili. (Aittomäki 2012, 214)

Tarkoitukseen sopiva paisuntaventtiili valitaan kylmäaineen, höyrystymislämpötilan, lauhtumislämpötilan, aineen alijäähtymisen ja käytettävissä olevan paine-eron mukaan. Valintaa tehdessä on huomioitava, että termostaattinen mekaaninen paisuntaventtiili ei kykene säätämään tulistusta tasaisesti pienillä osatehoilla. Lämpöpumpuissa, jotka toimivat myös jäähdyslaitteena voidaan kahden erillisen paisuntaventtiilin sijasta käyttää yhtä venttiiliä, mikä sallii kylmäaineen virtaamisen kumpaankin suuntaan. (Aittomäki 2012, 215–217)

Elektorninen paisuntaventtiili koostuu säätimestä, sähköisesti toimivasta venttiilistä, lämpötila-anturista ja painelähettimestä. Säädin mittaa järjestelmän painetta ja lämpötilaa, jonka perusteella se määrittää kylmäaineen tulistumisen sekä ohjaa paisuntaventtiilin toimintaa. Höyrystimen alkuun asennettu lämpöanturi määrittää höyrystymislämpötilan ja höyrystimen jälkeen asennettu lämpöanturi mitaa tulistuneen kylmäaineen lämpötilan. Säätimen mallista riippuen se voi pitää tulistumisen vakiona tai säätää niin sanotun pulssisäädön periaatteella jatkuvasti. (Aittomäki 2012, 217–218)

6.5 Kylmäaineet

Kylmäaineilla on suuri rooli lämpöpumpun tehokkaassa toiminnassa, sillä niitä käytetään lämmön siirtämisen väliaineina. Kylmäaineden ominaisuudet saattavat erota huomattavasti toisistaan, joten on hyvin tärkeää valita oikeanlainen aine lämpöpumpulta vaadittujen lämpötilatasojen mukaan.

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, joita käytetään kiertoaineina lämmön tai kylmän siirtämisessä lämpöpumpussa. Kylmäaineet muuttavat olomuotoaan nestemäisestä kaasumaiseksi ottaessaan ympäristöstä vastaan lämpöä ja kaasumaisesta nestemäiseksi luovuttaessaan lämpöä ympäristöönsä. Tätä olomuodon muutosta hyödyntämällä on mahdollista siirtää suuriakin lämpökuormia suhteellisen pienellä kylmäaineen massavirralla. Kylmäaineen ominaisuudet riippuvat suuresti siihen vaikuttavasta paineesta ja lämpötilasta, joten kylmäaine tulee valita huolellisesti kuhunkin lämpöpumpppuun. (Algol Chemicals, kylmäaineet ennen ja nyt)

Termodynaamiset ominaisuudet, kuten höyrystymislämpö, moolimassa, ominaislämmöt ja höyrypaine määrittävät, miten kylmäaine käyttäytyy lämpöpumpun kiertoprosessissa. Niin sanotut kuljetusominaisuudet, kuten tiheys, viskositeetti, pintajännitys ja lämmönjohtavuus vaikuttavat lämmönsiirtymiseen ja painehäviöön. Kylmäaineen toivottuja ominaisuuksia ovat esimerkiksi suuri höyrystymislämpö, pieni painesuhde sekä pieni viskositeetti. (Aittomäki 2012, 103)

Kylmäaineala on ollut suuressa murroksessa viime vuosina. Ympäristövaikutusten laajempi arviointi on tuonut mukanaan tiukemmat vaatimukset kylmäaineden käytölle, minkä takia esimerkiksi lähes kaikista klooria sisältävistä aineista on jouduttu vähitellen luopumaan. Kylmäaineiden ympäristövaikutuksia mitataan kolmella erilaisella tunnusluvulla, jotka ovat ODP, GWP ja TEWI. Mitä suurempia arvioidun kylmäaineen tunnusluvut ovat, sitä haitallisempaa aine on ilmakehälle sekä ympäristölle. ODP (Otsone Depleting Potential) ilmaisee aineen suhteellista otsonihaitallisuutta. Sen referenssilukuna käytetään kylmäaine R11:n lukua, joka on 1. Arviointiasteikko on 0–1,0. GWP (Global Warming Potential) on indeksi, joka kertoo aineen kasvihuonehaitallisuuden. Aineiden arvoja verrataan hiilidioksidiin, jonka arvo on 1,0. GWP ilmaistaan yleensä 100 vuoden ajanjaksolle laskettuna arvona ja sen asteikko on 0:sta ylöspäin. TEWI (Total Equivalent Warming Impact) ilmoittaa laitoksen elinaikanaan tuottaman kasvihuonehaitallisuuden hiilidioksidia kiloina. Laskennassa huomioidaan suorat kylmäainepäästöt ja laitteen energiankulutuksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt. Asteikko on myös 0:sta ylöspäin. (Darment, kylmäaineiden ympäristövaikutusten tunnusluvut)

Lämpöpumppuhankintaa tehtäessä on huomioitava EU:n F-kaasuasetus, joka koskee fluorattuja kasvihuonekaasuja sekä niitä sisältäviä seoksia. Erittäin voimakkaiden F-kaasujen (GWP vähintään 2500) käyttöä rajoitettiin vuoden 2020 alussa voimaan astuneella huoltokiellolla. Lisäksi asetuksen tavoitteena on vuoteen 2030 mennessä vähentää fluorihilivetyjen, eli HFC-yhdisteiden määrää 21-prosenttiin vuosien 2009-2012 tasosta EU:n alueella. Yleisimmin käytettyjä F-kaasuja ja seoksia ovat R-134a, R-404A sekä R-410A. (Ympäristöhallinto 2014)

7 LÄMPÖPUMPUT OSANA KAUKOLÄMPÖVERKKOA

Tässä kappaleessa käsitellään lämpöpumppujen hyödyntämismahdollisuuksia kaukolämpöverkossa ja niiden tarjoamia hyötyjä.

7.1 Suuret lämpöpumput

Suurten lämpöpumppujen hyödyntäminen osana kaukolämpöverkkoa on yleistynyt monella paikkakunnalla ja vielä usemmalla paikkakunnalla on arvioitu investoinnin kannattavuutta. Niiden kiinnostavuuden kasvuun vaikuttavat monet eri tekijät, joista suurin lienee epävarmuuden lisääntyminen sähkö- ja energiamarkkinoiden tulevaisuuden kehityksestä. Epävarmuus on korostanut kaukolämpöjärjestelmän joustavuuden tarvetta niin polttoaineiden kuin sähköntuotannon sekä -kulutuksen suhteen. (Valor Partners 2016, 42)

Suuret lämpöpumput tarjoavat hyötyjä, joita muilla järjestelmillä on vaikea saavuttaa. Ne muun muassa lisäävät järjestelmän joustavuutta nopealla reagointikyvyllään. Niitä voidaan käynnistää tarvittaessa tunneissa ja jopa minuuteissa vastaamaan vaihteleviin tilanteisiin. (Valor Partners 2016, 42) Nopean reagointikyvyn ansiosta lämpöpumppuja voidaan tarjota myös Fingridin ylläpitämille säätösähkömarkkinoille, mikäli pumpun tuottama energia ei ole kriittistä kaukolämmön ja -jäähdytyksen tuotannon osalta. Suomen sähköverkon ollessa epätasapainossa, voi Fingrid pyytää lämpöpumppujen alasajoa reservimarkkinoille tehdyn säätötarjouksen perusteella. (Turku Energia, Kakolan lämpöpumput valtakunnan sähkötehoa tasapainottamassa) Säätötarjouksia on mahdollista antaa kaikista resursseista, jotka kykenevät toteuttamaan 10 MW tehonmuutoksen 15 minuutin kuluessa tarjouksen aktivoinnista. Mikäli käytössä on tarjouksen elektroninen aktivointi, voidaan markkinoille jättää 5 MW tehonmuutostarjouksia. Tarjoukset on jätettävä 45 minuuttia ennen käyttötuntia. Tehoraja tulee todennäköisesti laskemaan lähivuosina 1 MW:iin, joka mahdollistaa pienempienkin lämpöpumppujen tarjoamisen säätömarkkinoille. (Fingrid, säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat) Kaukolämpöverkoston tasapainottaminen lämpöpumppuja jatkuvasti käynnistämällä tai sammuttamalla

saattaa kuitenkin vaikuttaa negatiivisesti lämpöpumppujen tekniseen käyttöikään sekä huoltokustannuksiin.

Lämpöpumput tarjoavat myös hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia paikoista, joista se olisi muuten hankalasti toteutettavissa, kasvattaen samalla uusiutuvan lämmöntuotannon osuutta järjestelmässä. Lämpöpumput mahdollistavat esimerkiksi hukkalämmön talteenoton datakeskuksista ja tehtaista, jätevesiverkosta tai voimalaitoksen savukaasuista. Lämmön talteenotto on mahdollista myös hyvin matalalämpöisestä lämmönlähteestä. Esimerkiksi Espoon Suomenojalla lämpöä otetaan talteen noin 7 celsiusasteisesta jätevedestä. (Valor Partners 2016, 24)

Joustavuutensa ansiosta suuret lämpöpumput tarjoavat tuotantoyhtiölle suojaa markkinariskeiltä, varsinkin, jos tuotantorakenne pitää sisällään paljon CHP-tuotantoa. CHP-tuotannon ja lämpöpumpun tuotantoa on jossain määrin mahdollista optimoida sähkön markkinahintojen mukaan, ja ne myös pienentävät altistumista polttoaineiden hintojen muutoksille. (Valor Partners 2016, 24)

Vaikka lämpöpumput tarjoavat monia teoreettisia hyötyjä, liittyy niiden käyttöön myös rajoitteita. Suuret lämpöpumput tarvitset paljon sähköä toimiakseen, joten ne vaativat vahvan paikallisen sähköverkon. Jotta lämpöpumppua voitaisiin hyödyntää optimaalisesti, olisi sen sijaittava mahdollisimman lähellä lämpökuormia. Sijoittelu ja tarvittavan tilan löytyminen saattaa olla haastavaa erityisesti jo tiiviisti rakennettujen kaupunkien keskusta-alueilla. (Valor Partners 2016, 25–26)

Haasteita saattaa aiheuttaa myös kaukolämpöverkon lämpötilataso. Perinteisessä kaukolämpöverkossa virtaavan menoveden lämpötila vaihtelee ilman lämpötilan mukaan noin 65–115 celsiusasteen välillä. Jotta lämpöpumppu voitaisiin liittää kaukolämpöverkkoon, olisi sen kyettävä tuottamaan riittävän lämmintä vettä tai vettä olisi priimattava kaukolämpövedellä. Menoveden priimaaminen saattaa tulla erittäin kalliiksi, ellei sitä ole mahdollista tehdä olemassa olevilla laitoksilla. (Valor Partners 2016, 25) Lämpöpumpputoimittajilla on jo olemassa kaupallistettuja ratkaisuja, joilla päästään jopa yli 100 celsiusasteen lämpötiloihin. On kuitenkin muistettava, että lämpöpumpun lämpökerroin heikkenee sitä alhaisemmaksi, mitä

suurempi pumpun lämmön keruu- ja luovutuslämpöjen välinen ero on. (Perälä ym. 2013, 31)

Lämpöpumpuinvestoinnin kannattavuuden arvioimiseksi on erittäin tärkeää ymmärtää sen rooli osana kaukolämpöjärjestelmää. Kannattavuuden näkökulmasta on tärkeää, että lämpöpumpulla on selkeä rooli ja sen avulla on mahdollista parantaa koko järjestelmän hyötysuhdetta. Mikäli lämpöpumppu on mahdollista yhdistää kaukojäähdytykseen ja energiavarastoon, siitä on mahdollista hyvin suunniteltuna saada todella kannattava investointi. Kannattavuusikkuna on kuitenkin kapea, eikä se kestä jatkuvia ylimääräisiä kustannuksia. Tällaisessa ratkaisussa investointilaskelma ei kestä kovin suuria maksuja lämmönlähteenä käytetystä lämmöstä. (Valor Partners 2016, 42–44)

Luvussa 3 käsiteltyjen matalalämpöisten kaukolämpöverkkojen yleistyminen tulee tulevaisuudessa varmasti edelleen lisäämään suurten lämpöpumpujen osuutta kaukolämmöntuotannossa. Mikäli verkkoon voidaan syöttää matalalämpöisempää vettä, poistuu lämpöpumpun tuottaman veden priimaustarve ja lämpöpumppu kykenee korkeampaan lämpökertoimeen.

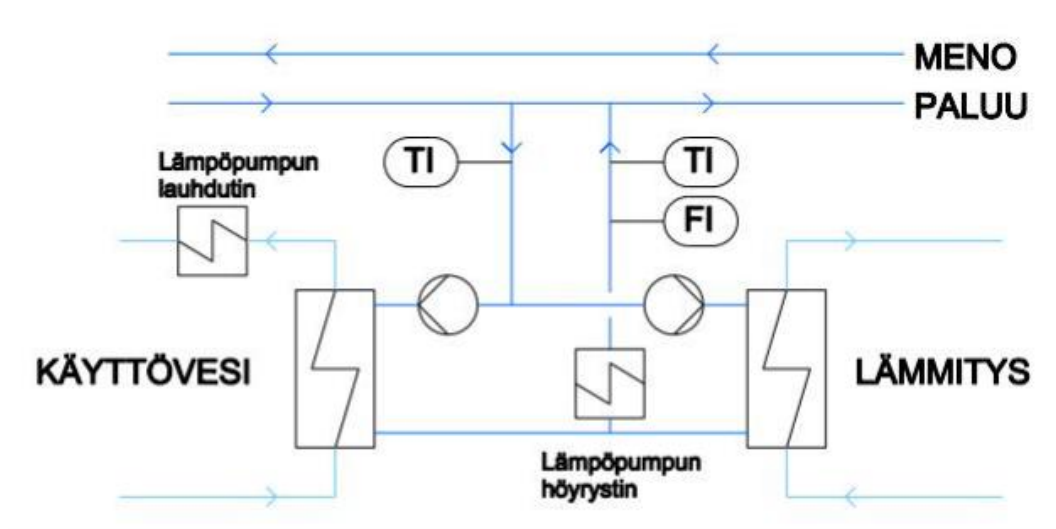
7.2 Pienet lämpöpumput

Pienet lämpöpumput ovat yleensä kiinteistökohtaisia. Kiinteistökohtaisille lämpöpumpuille ilmee tarvetta yleensä silloin, kun kiinteistössä on tarvetta jäähdytykselle, mutta kaukojäähdytysverkkoa ei kannata kyseiseen kohteeseen rakentaa. Tällaisessa tilanteessa rakennusta, kuten tehdasta tai muuta suurta kiinteistöä voidaan jäähdyttää kiinteistökohtaisella lämpöpumpulla ja johtaa prosessissa tuotettu hukkalämpö kaukolämpöverkkoon. Tällainen jäähdytysratkaisu on hyvä vaihtoehto kiinteistön omistajalle, sillä tässä tapauksessa kaukolämpöyhtiö toimittaa lämmityksen tapaan sovittua jäähdytystä, eikä kiinteistön omistajan tarvitse vastata jäähdytyslaitteesta, sen toiminnasta tai huoltokustannuksista.

Vaasassa kaukolämmön toimitusalueella ei ole olemassa olevaa jäähdytysverkkoa, joten kiinteistökohtaisen jäähdytyksen toteuttaminen on tällä hetkellä ainut järkevä

toteutustapa. Uusille suuremmille asuinalueille jäähdytysverkko saattaa olla toteuttavissa, mutta koko lämmöntoimitusalueen jäähdytysverkkoa tuskin tullaan rakentamaan toteutuksen hankaluuden sekä mittavien kustannusten johdosta.

Lämpöpumpulla voidaan tuottaa kiinteistöön sekä lämmitystä että lämmitä käyttövedettä. Tällaisessa tilanteessa yksi mahdollisuus on hyödyntää kaukolämmön paluuvettä lämpöpumpun avulla kiinteistössä, jossa on esimerkiksi lattialämmitys. Kuvassa 17 on esitetty lämpöpumpun kytkentä, jossa kiinteistön lämmityksen ja käyttöveden valmistukseen tarvittava lämpö otetaan kaukolämpöverkon paluuputkesta ja johdetaan takaisin paluuputkeen. Lattialämmityksellisen kiinteistön lämmityksen toisiopuolen mitoitusmenolämpötila on 35 celsiusastetta ja kaukolämmön paluueden lämpötilan vaihdellessa ilman lämpötilan mukaan noin 40–60 celsiusasteen välillä, paluueden lämpötila riittää kiinteistön lämmitykseen. Tällöin lämmin käyttövesi täytyy kuitenkin priimata lämpöpumpulla tai sähkövastuksilla riittävään lämpötilaan. Lämpöpumppuratkaisu voidaan toteuttaa kytkemällä lämpöpumpun höyrystin lämmityksen ja käyttöveden yhteiseen paluulinjaan, jotta lämpötila on aina mahdollisimman korkea ja virtaus riittävä. Lauhdutin kytketään kuvan 17 mukaisesti käyttöveden menopuolelle. Tällaisella ratkaisulla pystytään alentamaan kaukolämmön paluueden lämpötilaa ja tavoitetaan paremman jäähtymän hyödyt. Tällaista ratkaisua suunniteltaessa on tarkistettava paluuputken riittävä virtaama erityisesti kesäaikana, jotta asiakkaalle voidaan toimittaa tarvittava lämpö. (Pöyry 2010, 17–18)



Kuva 17. Lämpöpumpun kytkentäkaavio kaukolämmön paluuputkeen. (Pöyry 2010, 18)

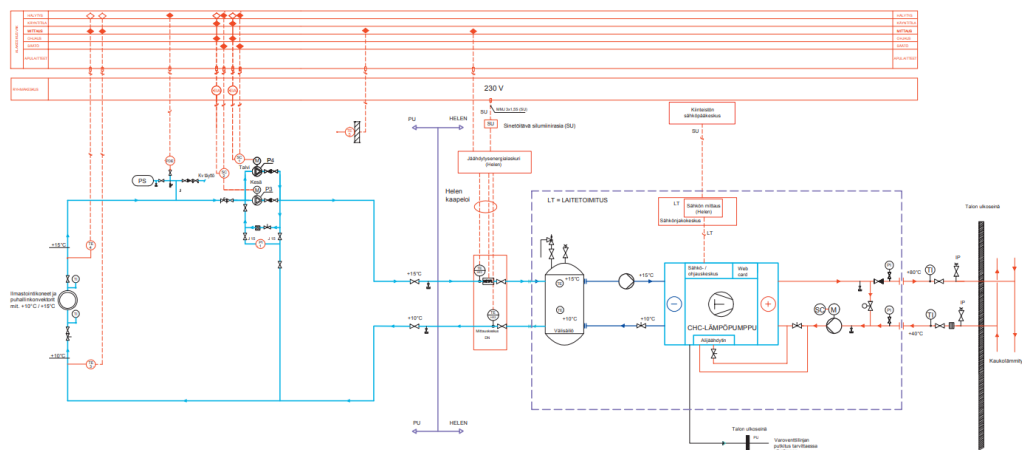
Suurten lämpöpumppujen tapaan kiinteistökohtaista ratkaisua saattaa olla vaikea saada kannattavaksi. Lämpöpumpun hyödyntäminen ainoastaan kiinteistön viilennystarpeen tyydyttämiseksi on tuskin kannattava ratkaisu, mutta mikäli lämpöpumpun ajotunteja on mahdollista lisätä esimerkiksi lisäjähdyttämällä kaukolämmön paluuvettä lämmityskauden aikana, sen kannattavuutta voidaan mahdollisesti parantaa. On myös tiedostettava, että uudelle asiakkaalle jäähdytyksen puuttuminen saattaa olla kynnyksikysymys kaukolämmitykseen liittymistä harkittaessa. Kannattavuutta arvioitaessa on siis pohdittava myös kokonaisuutta.

8 LÄHIJÄÄHDYTYS

Lähijäähditys vastaa toimintatavoiltaan kaukojäähdytystä, mutta suurimpana erona on toiminnan paikallisuus ja laitteiston tyypistetty koko. Lähijäähdytyksessä energiayhtiö toimittaa asiakkaan kiinteistöön valmiin lämpöpumppulaitteiston. Lämpöpumppu tuottaa kiinteistössä tarvittavan jäähdytyksen ja samalla johtaa kerätyn hukkalämmön kaukolämpöverkkoon. Lähijäähdytyksellä pystytään vastaamaan asiakkaan tarpeisiin hyvin joustavasti ja ratkaisuna se pystytään toteuttamaan käytännössä mihin tahansa toisin kuin kaukojäähdytys, joka vaatisi laajan jakeluverkon rakentamisen.

8.1 CHC-Lämpöpumppuratkaisu

CHC-lämpöpumppuratkaisulla asiakkaalle voidaan tuottaa sekä lämpöä että jäähdytystä jopa samanaikaisesti, hieman kytkennästä riippuen. Kuvassa 18 on havainnollistettu CHC-lämpöpumpun kytkentä kaukolämpöverkon ja kiinteistön jäähdytysjärjestelmän väliin. Lämpöpumpun tuottaessa jäähdytystä syntyy lämpöä, jota kytkennässä hyödynnetään kaukolämmön paluueden lisälämmittämiseen. Nykyaikaisilla teollisen kokoluokan lämpöpumpuilla ja useammalla kompressorilla voidaan paluueden lämpötila nostaa jopa yli 100 celsiusasteeseen. Tällaisen menetelmän etuna on se, että jäähdytyksen tuotantoprosessissa syntynyt hukkalämpö voidaan kerätä kaukolämpöverkkoon kohtuullisella hyötysuhteella.



Kuva 18. Esimerkkikykentäkaavio 50–2000 KW. (Helen 2017)

CHC-lämpöpumppuratkaisun isona etuna on se, että jäähdytyksen lämpötilataso on sovittavissa energiayhtiön ja asiakkaan välillä erittäin joustavasti. Lämpöpumpputekniikalla asiakkaalle voidaan toimittaa jopa alle 0 celsiusasteista jäähdytystä, mikä saattaa tulla kysymykseen esimerkiksi kaupoissa. Talteenotettu lämpö voidaan kierrättää kaukolämpöverkon avulla muualle lämmitysenergiaksi, edellyttäen, että lämmölle on kesäaikaan olemassa järkevä käyttötarkoitus. Kun prosessissa tuotettu lämpö lauhdutetaan kaukolämpöverkkoon, ratkaisu ei myöskään vaadi kiinteistön ulkopuolisia lauhduttimia, joiden asennus saattaa olla ongelmallista esimerkiksi suojelluissa rakennuksissa. Jäähdytysprosessissa syntyneen hukkalämmön hyötykäyttö saattaa olla myös monelle asiakkaalle ehto jäähdytysjärjestelmän toteuttamiseksi.

8.2 Asennuksessa huomioitavat tekijät

CHC-ratkaisun asennukseen liittyy usein rajoittavia tekijöitä, jotka on otettava huomioon heti suunnittelun alkumetreillä. Erityisesti vanhoissa kiinteistöissä muutostyöt saattaisivat olla niin mittavia, että niitä ei taloudellisista syistä kannattaisi toteuttaa, ellei kiinteistöön ole suunnitteilla samanaikaista LVI-saneerausta. LVI-saneerauksen yhteydessä kiinteistöön tulisi rakentaa jäähdytykselle lämmityksen tapaan omat jako- ja luovutusjärjestelmät. Uudiskohteissa tämä voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa ja toteutus on rakennusvaiheessa melko vaivatonta.

8.2.1 Tekninen laitetila

Lämpöpumppuratkaisun vaatima tila saattaa aiheuttaa ongelmia etenkin vanhoissa kiinteistöissä, joissa tekninen tila on mitoitettu ainoastaan lämmityksenjakojärjestelmää varten. Kiinteistön teknisessä tilassa tulisi olla riittävästi tilaa lämpöpumpun asennukselle siten, että laitteiden huoltamiselle ja korjaamiselle jää tarpeeksi tilaa. Lämpöpumput toimitetaan kokonaisuuksina, joten tarvittavan tilan lisäksi haalausreitit on oltava mahdollisimman esteetön. Haalausreitit tilantarpeet käyvät ilmi laitetoimittajan lämpöpumppuesitteistä.

Teknisen tilan ilmanvaihdon tulee olla suunniteltu asianmukaisesti normaali- ja hätätilanteita varten. Arvoiltaan perusilmanvaihdon tulee olla enimmillään 4 l/h ja hätätuuletuksen 15 l/h. (Helen 2017) Lämpöpumpputoimittaja arvioi asennettavan laitteiston mukaan tilan ilmaston riittävyyden ja mahdollisen hätäilmanvaihdon lisäämisen, jonka tarpeeseen vaikuttaa erityisesti lämpöpumpussa käytettävä kylmäaine.

Tekninen tila tulee olla varustettuna lattiakaivolla, mahdollisten vesivuotojen varalta. Lisäksi tilassa tai sen välittömässä läheisyydessä tulisi olla pesuallas sekä silmienpesumahdollisuus. (Helen 2017)

8.2.2 Sähköistys

CHC-ratkaisua suunnitelteassa on selvitettävä teknisen laitetilän sähköliittymän riittävyys, sillä lämpöpumpun vaatima jännite vaihtelee laitteiston koosta riippuen välillä 400–690 V. Teknisessä tilassa on lisäksi oltava riittävä valaistus, sekä hätäpysäytysjärjestelmä, jonka kaukokytkin on asennettava mahdollisimman lähelle uloskäyntiä, tilan sisäpuolelle. (Helen 2017)

9 RATKAISUEHDOTUS JÄÄHDYTYKSEN TOTEUTTAMISEKSI

Lämpöpumpputoimittajia kartoitettaessa selvisi hyvin nopeasti, että kotimainen Oilon omaa jo hyvät referenssit vastaavien järjestelmien toteuttamisesta. Lisäksi heidän tarjoama kokonaisuus tuntui hyvin valmiilta ratkaisulta, minkä johdosta ratkaisuehdotuksen keskiössä toimii heidän CHC-lämpöpumppuratkaisu. Oilon toimittaa tarvittaessa kokonaisratkaisuja, mikä helpottaa ratkaisun toteuttamista.

9.1 Kohde ja lähtötiedot

Ratkaisut on suunniteltu suunnitteilla olevaan, pinta-alaltaan 7 304 m² kiinteistöön. Kiinteistön jäähdytysenergiantarpeen on laskettu olevan vuositasolla 110 MWh ja jäähdytyksen huipputehontarpeen 290 kW. Kiinteistön lämmitysenergiantarve vuositasolla on 562 MWh ja lämmityksen huipputehontarve 382 kW.

CHC-lämpöpumppu sijoitettaisiin kiinteistön tekniseen tilaan ja laitteiston tarvitsema sähköteho otettaisiin rakennuksen sähköliittymästä erillismittaroituna. Laitteiston tilantarve on valmistajan tietojen mukaan minimissään 20 m².

Kiinteistön jäähdytyskauden lämpötilatasoina käytettiin taulukon 1 mukaisia arvoja. Kaukolämmön paluueden lämpötila kesäaikana, jolloin kiinteistössä ilmenee jäähdytyksen tarvetta on noin 45 celsiusastetta. Lämpöpumpun on kyettävä nostamaan kaukolämpöveden lämpötila noin 75 celsiusasteeseen, jotta se voidaan palauttaa kaukolämpöverkon menopuolelle. Kiinteistön jäähdytyspiirin menolämpötila on mitoitettu 10 celsiusasteeseen ja jäähdytyspiirin paluuvesi 15 celsiusasteeseen.

Taulukko 1. Jäähdytyskauden lämpötilatasot.

	Sisään	Ulos
Lauhdutin	45°C	75°C
Höyrystin	15°C	10°C

Kohdekiinteistön jäähdytysenergiatarpeeseen kyettäisiin vastaamaan Oilon P300-lämpöpumpulla. Oilon P-sarjan lämpöpumput ovat osa ChillHeat-tuoteperhettä, jotka kykenevät tuottamaan sekä jäähdytystä että lämpöä yhdellä ja samalla koneella. Laskennassa käytetty P300-lämpöpumppu on varustettu neljällä mäntäkompressorilla, suurikapasiteettisilla lämmönvaihtimilla, alijäähdyttimellä sekä kahdella tajuusmuuntajalla, jotka mahdollistavat portaattoman tehonsäädön. Kylmäaineena käytettiin R450A-kylmäainetta, joka mahdollistaa jopa 90 celsiusasteen lämpötilan tuoton.

9.2 Tuotantokustannukset

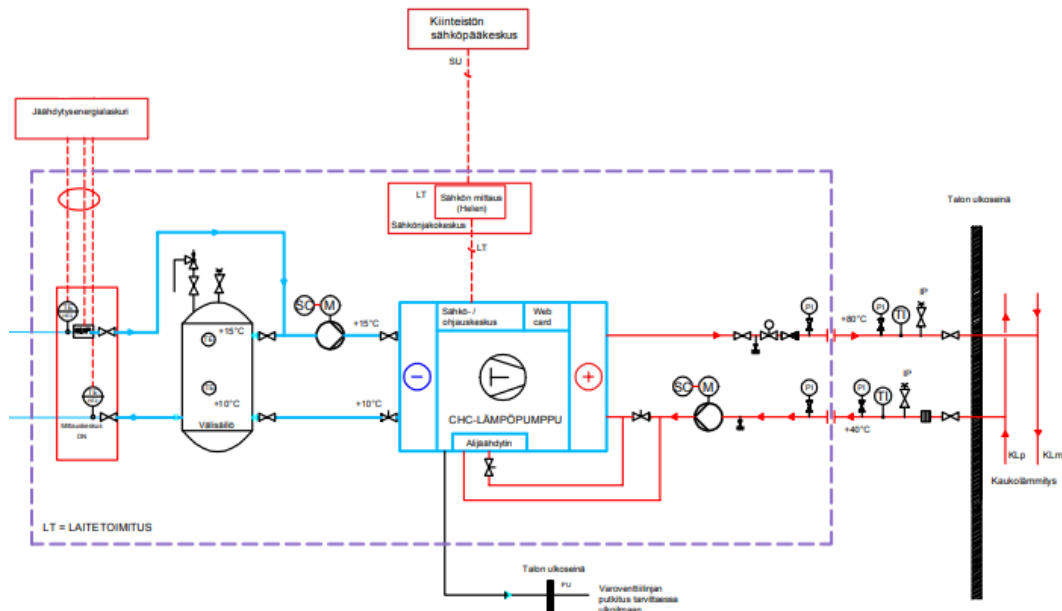
CHC-lämpöpumppuratkaisun tuotantokustannukset koostuvat laitteiston sähkönkulutuksesta sekä huolto- ja ylläpitokustannuksista. Tuotantokustannuksia määritettäessä on myös laskettava ratkaisun investointikustannukset ja jyvitetävänä määritellylle ajanjaksolle. Laskentojen laiteinvestoinnit sekä huoltokustannukset ovat laitetoimittajan tarjoushinnaston mukaisia, eikä niitä käsitellä työssä julkisesti.

Mikäli lämpöpumppua käytetään talviaikana lämmöntuotantoon, sen tuotantokustannukset koostuvat sähkön kulutuksesta sekä kaukolämmön paluuveden energian käytöstä. Työn laskennoissa sähkön kokonaishintana käytettiin Pöyryn 2010 raportin hintaa, joka oli 80 €/MWh. Pelkkää kaukolämmön paluuvettä hyödyntävissä kytkennöissä koko käytetty lämpöenergia alentaa kaukolämmön paluuveden lämpötilaa. Tällöin kulutettu lämpö on raportin arvioiden mukaan 11,80 €/MWh edullisempaa. (Pöyry 2010, 9) Laskennoissa kaukolämmön paluuveden hintana käytettiin 10,70 €/MWh. Tämä saatiin vähentämällä Pöyryn arvioimat hyödyt metsähakkeen viime joulukuussa tilastoidusta hinnasta, joka oli 22,50 €/MWh. (Tilastokeskus 2020, 6)

9.3 Kytkentävaihtoehto 1

Ensimmäisessä kytkentävaihtoehdossa lämpöpumppu on kytketty kuvan 19 tapaan kaukolämpöjohtojen ja kiinteistön jäähdytyksen jakojärjestelmän väliin niin, että se tuottaa kiinteistön tarvitseman jäähdytyksen kesäaikaan ja prosessissa tuotettu

lämpö lauhdutetaan kaukolämpöverkkoon. Kytkentä on melko yksinkertainen toteuttaa ja sen tuomat hyödyt on helppo määrittää.



Kuva 19. Vaihtoehdon 1. kytkentäkaavio. (Helen 2017)

Suunnittelussa päädyttiin käyttämään Oilonin kokonaistoimitusta, jossa ratkaisu toimitetaan niin sanottuna avaimet käteen -toimituksena. Tämä helpottaa huomattavasti kokonaiskustannusten hahmottamista.

Aiemmin ilmoitetuilla jäähdytyksen lämpötilatasoilla lämpöpumpun jäähdytysteho olisi 289 kW, lämmitysteho 416 kW ja sähköteho 129 kW. Lämpöpumppu kykenee näiden arvojen perusteella jäähdytyksen osalta COP-arvoon 2,24 ja samanaikaiseen lämmityksen arvoon 3,22. Laskennassa ei ole huomioitu kiinteistön jäähdytyspiirin kiertovesipumpun hyötysuhdetta. Tällä on kuitenkin hyvin marginaalinen vaikutus kokonaisuuteen.

Suuri osa lämpöpumpun tuotannosta on siis lämpöä, mikä on hieman haastavaa, sillä kesällä prosessissa tuotetulle hukkalämmölle ei ole juuri tarvetta. Tästä syystä tuotetulle lämmölle ei voida antaa suurta arvoa, joten ratkaisu olisi hinnoiteltava niin, että pelkkä jäähdytyksen tuotanto maksaa laitteiston takaisin järkevässä ajassa.

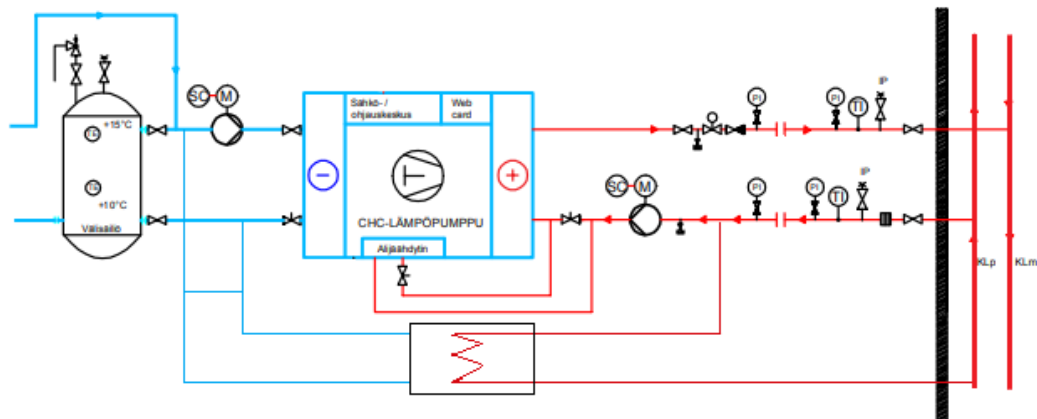
Jäähdytysratkaisun hinnoittelu koostuisi asiakkaan liittymismaksusta, vuosittaisesta perusmaksusta sekä energiamaksusta. Energia- ja perusmaksu voitaisiin paketoita kiinteään kuukausihintaan, jolloin asiakas saa käyttää jäähdytysenergiaa niin paljon kuin haluaa. Liittymis- ja perusmaksu määräytyvät laitteiston tehon mukaan. Työssä liittymismaksu määritettiin tasolle 300 €/kW ja perusmaksu tasolle 26 €/kW/vuosi.

Laskennassa todettiin, että keskimääräinen jäähdytysenergian omakustannushinta olisi noin 137 €/MWh, kun arvioidut investointi- ja tuotantokustannukset jyvitetään 20 vuoden ajalle ja vuosittainen jäähdytysenergiantarve pysyy samalla tasolla. Ratkaisu olisi mahdollista paketoita kiinteään kuukausihintaan esimerkiksi 15 vuoden sopimuskaudella siten, että investoinnin takaisinmaksuaika olisi hinnoittelun myötä noin 10 vuoden tasolla. Näin investoinnin riskit kyettäisiin minimoimaan energiayhtiön näkökulmasta. Lämpöenergiaa lämpöpumppu tuottaa jäähdytyskauden aikana noin 158 MWh, joka mahdollisesti kyettäisiin varastoimaan lämpövarastoon.

9.4 KytKentävaihtoehto 2

Toisessa vaihtoehdossa lämpöpumppua käytetään ensimmäisen ratkaisun tavoin kesäajan jäähdytykseen ja talvella sitä voitaisiin hyödyntää lämmöntuotantoon kaukolämmön paluuvettä hyödyntäen. Tässä vaihtoehdossa järjestelmään on lisätty yksi lämmönvaihdin, joka toimii niin sanottuna verkkobuusterina talviaikaan. Jäähdytyskauden loputtua kiinteistön jäähdytysverkko suljetaan, jolloin lämpöpumpun jäähdyttämä vesi kulkee lämpöpumpun ja lisätyn lämmönsiirtimen välillä, jossa se jäähdyttää kaukolämmön paluuvettä. Prosessissa tuotettu lämpö lauhdutetaan lämpöpumppuun johdettuun kaukolämmön paluuveteen ja pumpataan riittävän korkealämpöisenä kaukolämmön menoputkeen. Tämä kytkentä mahdollistaa lämpöpumpun ympärivuotisen käytön tuoden enemmän hyötyjä koko kaukolämpöjärjestelmälle paluueden jäähdytyksen myötä. Verkkobuusteriratkaisussa lämpöpumpun on kyettävä nostamaan menoputkeen syötettävän veden lämpötila hyvin lähelle verkossa virtaavan veden lämpötilaa,

sillä kahden samaa verkkoa käyttävän tuotantolaitoksen menolämpötilojen eron ei tulisi olla yli 10 celsiusastetta. (Energiateollisuus 2021)



Kuva 20. Vaihtoehdon 2. kytkentäkaavio. (Muokattu Helenin kuvasta)

Jäähdytyskauden aikana lämpöpumppu toimii samoilla lämpötilatasoilla kuin ensimmäinen ratkaisuvaihtoehto, joten kustannukset ja energiamäärät jäähdytyksen osalta pysyvät samalla tasolla. Laitteiston hinnoittelu toteutettaisiin myös ensimmäisen vaihtoehdon tapaan.

Lämpöpumppua käytettäessä talviajan lämmöntuotantoon, sen tuotantokustannuksia päätettiin verrata metsähakkeella tuotetun energian kustannuksiin, jonka tilastoitu hinta joulukuussa 2020 oli 22,50 €/MWh. (Tilastokeskus 2020, 6) Kytkennän tarkastelussa käytettiin taulukon 2 mukaisia lämpötilatasoja. Kyseisillä lämpötilatasoilla, Oilon P300-lämpöpumpulla ja R450A-kylmäaineella päästään tässä tilanteessa lämmityksen COP-arvoon 3,31.

Taulukko 2. Lämpötilatasot jäähdytyskauden ulkopuolella.

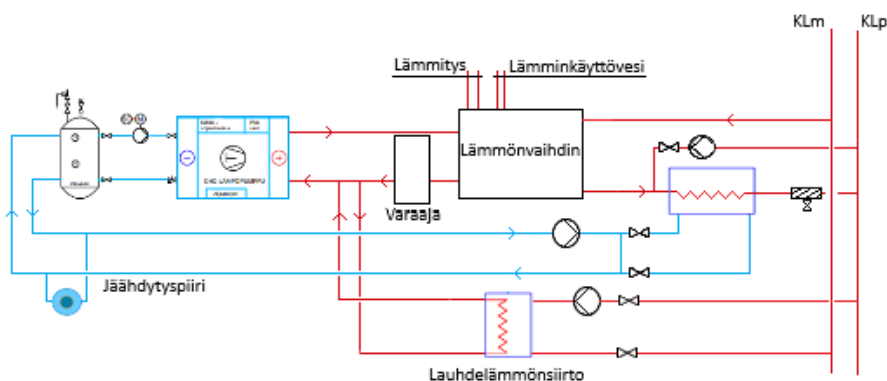
	Sisään	Ulos
Lauhdutin	50°C	80°C
Höyrystin	30°C	20°C

Kyseisellä lämpökertoimella, arvioidulla sähkön- sekä paluuveden hinnalla sekä kytkennän arvioidulla 25 000 € lisäinvestoinnilla lämmöntuotantokustannukset

nousevat tasolle 32,80 €/MWh, mikäli lämpöpumpulla tuotetaan lämpöenergiaa noin 1500 MWh/vuosi. Tuotantokustannukset nousisivat siis 10,30 €/MWh metsähaketta korkeammiksi.

9.5 Kytkevävaihtoehto 3

Kolmannessa kytkevävaihtoehdossa on pohdittu ratkaisua, jossa lämpöpumpun lämpötilatasot saataisiin laskettua mahdollisimman alas, joka mahdollistaisi korkeamman lämpökertoimen saavuttamisen. Tämä on mahdollista, mikäli lämpöpumppu ei tuota talviajan käytössä lämpöä kaukolämpöverkkoon vaan sen tuottama lämpö käytetään matalalämpoisempänä kiinteistössä. Tämä olisi toteutettavissa kuvan 21 mukaisella kytkennällä. Kytkevä toimisi kaksisuuntaisena kaukolämpöliittymänä, eli mikäli kiinteistössä ei pystytä käyttämään prosessissa syntynyttä hukkalämpöä, se syötettäisiin kaukolämpöverkkoon ja energiayhtiö maksaisi hukkalämmöstä asiakkaalle sovitun korvauksen.



Kuva 21. Vaihtoehdon 3. pelkistetty kytkentäkaavio.

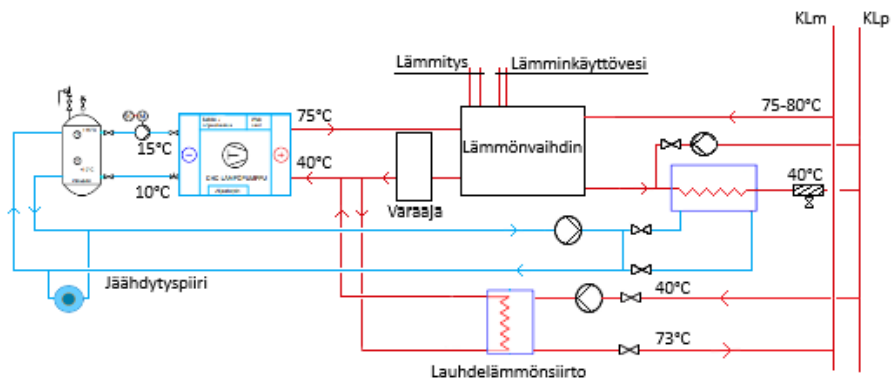
Kytkevä on melko yksinkertainen ja helposti toteutettavissa HögforsGST:n lämmitysjärjestelmän avulla. Järjestelmä koostuu erilaisista tehtaalla valmiiksi kasatuista moduuleista, joita voidaan helposti yhdistää toisiinsa kiinteistön tarpeiden mukaan. Lämmönjakokeskuksessa on valmiit liitännät

lisälämmönlähteelle, johon lämpöpumppu on mahdollista kytkeä. Lämpöpumppu voidaan liittää osaksi Högforsin Fiksu-ohjausjärjestelmää, jolloin se toimii kiinteänä osana kiinteistön energiajärjestelmässä ja sen käyttöä on helppo optimoida.

9.5.1 Jäähdytyskausi

Kytkenässä lämpöpumppu tuottaa kesäaikana jäähdytystä kiinteistön jäähdytysverkkoon. Prosessissa tuotettu hukkalämpö johdetaan suoraan kiinteistön lämmönvaihtimeen, josta se kiertää lämminvesivaraajan kautta lauhdelämmönsiirtimeen, sillä kiinteistössä ei ole lämmitystarvetta kesäaikana. Lämpöpumpun tuottama hukkalämpö lauhdutetaan kaukolämmön paluuveteen lauhdelämmönsiirtimen välityksellä. Prosessissa lämmitetty kaukolämmön paluuvesi pumpataan kaukolämmön menopuolelle riittävän korkeassa lämpötilassa.

Jäähdytyskauden aikana lämpöpumppu toimii kuvan 22 mukaisilla lämpötilatasoilla. Jäähdytyskauden lämpötilatasot olisivat siis samat kaikissa kytkentävaihtoehdoissa, joten kaikissa ratkaisuissa voidaan käyttää rakenteeltaan täysin samanlaista lämpöpumppua ja lämpöpumpun tuottamat lämpökertoimet ovat samalla tasolla.

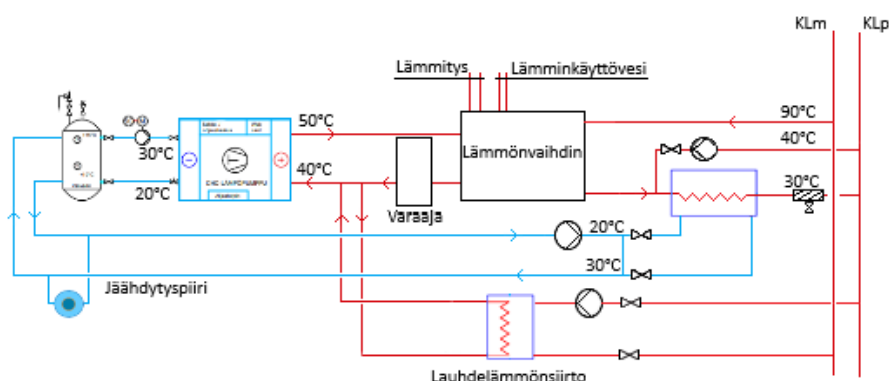


Kuva 22. Jäähdytyskauden lämpötilatasot.

9.5.2 Lämmityskausi

Jäähdytyskauden ulkopuolella kiinteistön jäähdytysverkko voidaan sulkea, mikäli kiinteistössä ei ole ympärivuotista jäähdytyksentarvetta. Tällöin lämpöpumpun lämmönlähteenä käytetään kaukolämmön paluuvettä kaukolämmön paluuputkeen asennettavan lämmönvaihtimen välityksellä. Kahdella kaukolämmön paluuputkella vaihtimeen saadaan jatkuva virtaus ja kaukolämmön jäähdytystä kyetään tehostamaan.

Tässä prosessissa lämpöpumpulla voidaan tuottaa matalalämpöistä vettä kiinteistön lämmitysverkkoon, jolloin vesi priimataan kaukolämmöllä tarvittavaan lämpötilaan. Mikäli kiinteistössä on esimerkiksi lattialämmitys, voidaan lämpöpumpulla tuottaa käytännössä koko kiinteistön lämmitystarve. Ennen veden palaamista lämmityspiiristä lämpöpumpulle, sitä käytetään lisäksi lämpimän käyttöveden esilämmitykseen.



Kuva 23. Lämmityskauden lämpötilatasot

Kuvan 23 mukaisilla lämmityskauden lämpötilatasoilla lämpöpumpun COP-arvo lämmityksen osalta olisi 5. Korkea lämpökerroin saavutetaan pienellä höyrystimen ja lauhduttimen välisellä lämpötilaerolla. Mikäli kiinteistössä on jatkuvaa myös talviajalle ajoittuvaa jäähdytystarvetta ja höyrystimen ulostulolämpötila joudutaan laskemaan 10 celsiusasteeseen, lämpökerroin laskee arvoon 3,87. Ero on siis melko huomattava. Tällaisessa tilanteessa voidaan pohtia ratkaisua, joka sisältää kaksi lämpöpumppua. Kahden lämpöpumpun ratkaisussa pumput toimivat eri lämpötilatasoilla, jolloin toinen toimii pienemmällä teholla tuottaen kiinteistön tarvitseman jäähdytyksen ja toinen jäähdyttää kaukolämmön paluuvettä hieman korkeammilla lämpötilatasoilla.

Lämpöpumppuratkaisun päätehtävä on tuottaa kiinteistöön sen tarvitsema jäähdytys, eli järjestelmä on mitoitettava vastaamaan jäähdytyksen huipputehon tarvetta. Tämä tarkoittaa sitä, että lämmityskauden mukaisilla lämpötilatasoilla lämpöpumpun lämmitysteho on melko korkea, 591 kW. Kiinteistön lämmityksen huipputehontarpeen ollessa 382 kW, olisi lämpöpumppua ajettava ainoastaan pienellä osateholla. Mikäli lämpöpumpun neljästä kompressorista kytetään kaksi ON/OFF-säädöllä varustettua kompressoria pois ja ajoa jatketaan kahdella taajuusmuuntajalla varustetulla kompressorilla, lämmitysteho laskee 331 kW:iin ja

COP laskee arvoon 4,96. Lämpöpumpun ajaminen osateholla vaikuttaa siis hyvin vähän lämpökertoimen suuruuteen.

9.5.3 Ratkaisun kannattavuus

Aiemmin ilmoitetulla sähkön ja kaukolämmön paluuveden hinnalla lämmityksen tuotantokustannukset olisivat noin 24,54 €/MWh, mikäli lämmitykselle ei kohdistettaisi ollenkaan investointikustannuksia. Korkeasta lämpökertoimesta huolimatta tämäkään ratkaisu ei kestä suuria investointikustannuksia, mikäli hinta halutaan pitää kilpailukykyisenä metsähakkeen hintaan verrattuna.

Laskennassa todettiin, että laitteiston investointikustannukset nousisivat kuitenkin melko suuriksi ja ratkaisu sitoisi liikaa energiayhtiön pääomaa yhden kohteen osalta, jos se vastaisi itse koko investoinnista. Ratkaisu olisi toteutettava siten, että lämpöpumppu olisi energiayhtiön hallinnassa ja investointikustannuksia katettaisiin jäädytykselle sekä lämmitykselle kohdistettavilla liittymismaksuilla kuten normaalissakin tilanteessa. Näin ratkaisu sitoisi vähemmän pääomaa ja energiayhtiöllä olisi mahdollisuus hallita laitteistoa. Tällöin kaukolämmön käyttöä ja lämpöpumpun ajoa voidaan optimoida lämmityskauden aikana sähkön hinnan mukaan ja täten saavuttaa suuremmat hyödyt.

Mikäli jäädytyksen liittymismaksu olisi kuten aiemmin määritelty ja lämmityksen liittymismaksu olisi kaukolämpöhinnaston mukainen, energiayhtiön osuus investoinnista jäisi silti todella suureksi. Toisaalta ratkaisu sisältää myös kaukolämmön alajakokeskuksen, jonka hankkiminen on yleensä asiakkaan vastuulla kaukolämpöön liityttäessä. Tästä syystä ratkaisuun olisi mahdollista hinnoitella laitteiston koosta riippuva, niin sanottu perustamismaksu. Perustamismaksulla katettaisiin laitekustannuksia, joita asiakkaalle tulisi myös normaalissa tapauksessa.

Suurin osuus investoinnista olisi joka tapauksessa kohdistettava jäädytykselle. Mikäli lämmitykselle kohdistettaisiin esimerkiksi 60 000 € investointikustannus, nousisi tuotetun lämpöenergian hinta tasolle 32,35 €/MWh, kun kiinteistön vuosittaisesta lämmöntarpeesta katettaisiin noin 70 % lämpöpumpun tuotannolla.

Jos taas koko investointi kohdistettaisiin jäähdytykselle, nousisi tuotetun jäähdytysenergian hinta kestävämmälle tasolle. Tällaisten ratkaisujen kannattavuutta on syytä pohtia aina tapauskohtaisesti.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Jäähdytysratkaisusta voidaan todeta se, että lähijäähdytystä on hyvin vaikea tarjota asiakkaalle kilpailukykyiseen hintaan, mikäli kiinteistössä on jäähdytystarvetta ainoastaan kesällä kaikkein kuumimpaan aikaan. Tällöin huipputehontarve on korkea, mutta jäähdytysenergiantarve on alhainen. Kohteeseen on siis kohdistettava hyvin suuri investointi tiedostaen, että myytyjen yksikköjen määrä tulee olemaan vähäinen. Mikäli kohdekiinteistössä ilmenee ympärivuotista jäähdytystarvetta, tuotetun jäähdytyksen omakustannushinta muuttuu maltillisemmaksi. Mikäli laskennassa käytetyn kohdekiinteistön jäähdytysenergiantarve tuplaantuisi 220 MWh:iin, laskisi tuotetun jäähdytysenergian omakustannehinta noin 37 %. Tällöin tuote olisi mahdollista hinnoitella myös asiakkaalle kilpailukykyisemmin. Voidaan siis todeta, että optimaalisin käyttökohde suunnitellulle järjestelmälle olisi sellainen, jossa on jatkuvaa jäähdytyksentarvetta.

Tutkituista vaihtoehdoista ensimmäinen, eli pelkkä jäähdytysratkaisu on kaikkein helpoimmin toteutettavissa, sillä se ei vaadi muutoksia kiinteistön lämmitysjärjestelmään ja ratkaisu vaatii ainoastaan kaksi haaraa kaukolämpöverkkoon. Pelkkää jäähdytystä tuottava CHC-lämpöpumppu on myös helposti tuotteistettavissa. Ratkaisu voidaan räätälöidä teholtaan erikokoisiin ratkaisuihin, joita tarjotaan asiakkaalle liittymismaksun lisäksi kiinteällä kuukausihinnalla. Tällaisessa tapauksessa asiakas saa käyttää jäähdytystä niin paljon kuin haluaa, tuottaen samalla lämpöä kaukolämpöverkkoon. Ratkaisussa energiayhtiö vastaa laitteiston toiminnasta sekä sen aiheuttamista kuluista, kuten sähkön kulutuksesta. Kiinteistön keskimääräisen energiankulutuksen sekä huipputehon tarpeen ollessa selvillä, voidaan tarjota oikean kokoista pakettia sellaisella hinnalla, joka takaa myös energiayhtiölle riittävän suuruisen tuoton ja laitteiston takaisinmaksuajan ollessa järkevällä tasolla. Tämä pienentää investointiin liittyvää epävarmuutta ja tekee investoinnista huomattavasti miellyttävämmän.

Ratkaisun toteuttamiseksi vaadittava hintataso saattaa tuntua korkealta mikäli hinta lasketaan vuosittaisen energiantarpeen mukaan. Hinta muuttuu hieman

maltillisemmaksi, jos se jyvitetään esimerkiksi ison kerrostalon neliökohtaiseen hoitovastikkeeseen. Tällöin osakkeenomistajan on helppo verrata ratkaisua esimerkiksi huoneistokohtaisen ilmalämpöpumpun investointiin sekä sen sähkönkulutukseen. Vertaillessa energiakustannuksia eri lämmitysmuotojen välillä, on vertailu suoritettava lämmityksen ja jäähdytyksen yhteishinnan perusteella, jotta tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Toisessa kytkentävaihtoehdossa jäähdytysenergian tuotantokustannukset asettuvat samalle tasolle ensimmäisen vaihtoehdon kanssa. Tässä tapauksessa myös kytkentä on täysin samanlainen. Ratkaisussa lämpöpumppu voi pienellä lisäinvestoinnilla tuoda energiayhtiölle huomattavasti suuremmat hyödyt. Vaikka kaukolämmön paluuveden lisälämmityksen ei laskettu olevan nyt kannattavaa, voi tilanne muuttua tulevaisuudessa polttoaineiden hintojen vaihdellessa tai verotuksen muutosten seurauksena. Mikäli ratkaisu toteutettaisiin suuremmassa mittakaavassa, saattaisi kaukolämmön paluuveden lisjäähdyttämällä olla suuret positiiviset vaikutukset koko kaukolämpöjärjestelmälle. Ratkaisun kannattavuuteen lämmityskauden aikana vaikuttaa suuresti sähkön hinnan lisäksi kaukolämmön paluuveden hinta, joka vaihtelee eri energiayhtiöiden välillä niiden tuotantorakenteen ja käytettävien laitteistojen mukaan. Kannattavuutta on aina arvioitava tapauskohtaisesti sen mukaan, minne kohteessa käytettävä paluuvesi virtaa ja mitä hyötyjä veden jäähtymällä saadaan aikaan.

Kolmannessa kytkentävaihtoehdossa uusitaan käytännössä kiinteistön koko lämmitysjärjestelmä. Ratkaisu olisi toteutettavissa helpoimmin täysin uudessa, vasta suunnitteilla olevassa kiinteistössä, jossa laitteistolle voidaan suunnitella sen vaatimat tilat ja jossa kaukolämpöliittymä voidaan toteuttaa kolmella haaralla. Kytkentä mahdollistaa prosessissa tuotetun hukkalämmön käytön huomattavasti joustavammin kuin muut vaihtoehdot, sillä se voidaan ohjata suoraan kiinteistöön käytettäväksi. Lämmityskaudella kiinteistön jäähdytyspiiri voidaan sulkea ja lämpöpumpun tuottama jäähdytys voidaan käyttää ainoastaan kaukolämmön paluuveden jäähdyttämiseen, samalla tuottaen lämmitystä kiinteistöön korkealla hyötysuhteella. Järjestelmä tuo koko kaukolämpöjärjestelmälle sitä enemmän

hyötyjä mitä suuremmasta laitteistosta on kyse, jolloin kaukolämmön paluveden jäähdytys on myös entistä tehokkaampaa.

Laitetoimittajien hyvin pitkälle mietittyjen toteutusmahdollisuuksien ansiosta myös viimeinen vaihtoehto on melko helposti tuotteistettavissa. Laajan laitetoimituksen johdosta järjestelmä vaatii kuitenkin aina enemmän suunnittelua kuin kaksi aiempaa vaihtoehtoa. Lisäksi tämän vaihtoehdon heikkoutena on melko korkea hinta.

Jatkossa olisi hyvä tutkia, että voidaanko varaajalla saavuttaa järjestelmän mitoitukseen vaikuttavia hyötyjä. Mikäli kylmävesivaraajalla on mahdollista tasoittaa jäähdytyksen korkeita tehopiikkejä, olisi lämpöpumppu mahdollista mitoittaa hieman pienemmäksi. Tällä voitaisiin saavuttaa isoja säästöjä järjestelmän investointikustannuksissa. Tämän lisäksi tuotetun hukkalämmön talteenottomahdollisuutta on selvitettävä. Mikäli hukkalämmön varastointi kalliovarastoon on mahdollista, olisi järjestelmä hinnoiteltavissa niin, että asiakkaalle hyvitetäisiin tietty summa tuotetusta lämpöenergiasta. Tämä lisäisi varmasti osaltaan asiakkaiden kiinnostusta tarjottavia ratkaisuja kohtaan.

Työssä käsitellyjä ratkaisuvaihtoehtoja voisi markkinoida asiakkaalle kaksisuuntiasena kaukolämpöjärjestelmänä, jossa asiakas sekä ostaa kaukolämpöä, että myy omaa ylituotantoaan takaisin kaukolämpöverkkoon. Ratkaisuilla energiayhtiö voi luoda edellytyksiä kaksisuuntaisten markkinoiden syntymiselle ja näin parantaa mahdollisuuksia vastata kiristyviin ilmastotavoitteisiin sekä kiristyneeseen tilanteeseen lämmitysmarkkinoilla. Kaksisuuntaisella kaukolämmöllä voidaan lisätä markkinoiden asiakaslähtöisyyttä, sekä varmistaa kaukolämpöverkon arvon säilyminen kauas tulevaisuuteen.

LÄHTEET

Aalto Yliopisto. 2019. Virtaustekniikka ja lämmönsiirto. Viitattu 25.2.2021. https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/867361/mod_folder/content/0/Virtaustekniikka%20ja%201%C3%A4mm%C3%B6nsiirto%20pruju%202019.pdf?forcedownload=1

Aittomäki, A. 2012. Kylmäteknikka. Helsinki. Bookwell Oy.

Alfa Laval. Käyttöohje: Levylämmönvaihtimet. Viitattu 15.2.2021. Saatavissa: <https://docplayer.fi/45488905-Kayttoohje-levylammonvaihtimet-frontline-baseline-clipline-m-line-ts6-mfmc-fin-osanumero.html>

Algol Chemicals. Kylmäaineet ennen ja nyt. Viitattu 17.2.2021. Saatavissa: <https://www.algolchemicals.fi/blogi/kylmaaineet-ennen-ja-nyt/>

Darment. Kylmäaineiden ympäristövaikutusten tunnusluvut. Viitattu 17.2.2021. <https://darment.fi/kylmaaineiden-ymparistovaikutusten-tunnusluvut-odp-gwp-tewi/>

Energiamaailma. Kaukolämpö ja -jäähdytys. Viitattu 7.2.2021. <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>

Energiateollisuus 2020. Kaukolämpötilasto 2019. Viitattu 8.2.2021 https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf

Energiateollisuus 2021. Kaukolämmön menolämpötilan optimointi. Viitattu 25.2.2021. https://energia.fi/files/5664/Kaukolammon_menolampotilan_optimointi_2021.pdf

Energiateollisuus. Kaukolämpöverkot. Viitattu 8.2.2021. <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

Fingrid Oy. Säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat. Viitattu 1.2.2021. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/#saatotarjoukset>

Hakala, P. & Kaappola, E. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.

Helen 2017. Kiinteistöjäähdytyksen suunnitteluohje. Viitattu 6.3.2021. https://www.helen.fi/globalassets/jaahdytys/ammattilaiset/kaukojaahdytys-2017/kiinteistojaaahdytyksen_suunnitteluohje_2017.pdf

Hundy G.F. 2016. Refrigeration, air conditioning and heat pumps. Butterworth-Heinemann LTD.

Kontu, K. & Vimpari, J. 2020. Kaukolämmön kilpailukyky kiinteistökohtaisten energiaratkaisujen kanssa – kiinteistön omisjan näkökulma. Viitattu 16.3.2021. https://energia.fi/files/4583/KL_kilpailukyky_kiinteistokohtaisten_energiaratkaisujen_kanssa.pdf

Koskelainen, L. Saarela, L. Sipilä, K. Kaukolämmön käsikirja. Energiateollisuus 2006. Helsinki. Libris Oy.

Kylmäsovellusten scroll-kompressorit. Verkojulkaisu. Viitattu 10.2.2021. <https://docplayer.fi/1415894-Kylmasovellusten-scroll-kompressorit.html>

Lund, R. Østergaard, D.S. Yang, X. Mathiesen, B.V. 2017. Comparison of Low temperature District Heating Concepts in a Long-Term Energy Systems Perspective. Viitattu 16.2.2021. <http://www.4dh.eu/images/1661-6250-1-PB.pdf>

Mäkelä, V. & Tuunanen J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

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

Pöyry 2010. Kaukolämpöjärjestelmän paluueden hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä. Selvitys Energiateollisuus ry:lle. 53 s. Viitattu 8.2.2021 <https://docplayer.fi/1158112-Energiateollisuus-ry.html>

Techeat. Maalämpöpumput. Viitattu 10.2.2021. <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampopumput/>

Tilastokeskus 2020. Energian hinnat, 4. neljännes. Viitattu 8.4.2021. https://www.stat.fi/til/ehi/2020/04/ehi_2020_04_2021-03-11_fi.pdf

Turku Energia. Kakolan lämpöpumput valtakunnan sähkötehoa tasapainottamassa. Viitattu 1.2.2021. <https://www.turkuenergia.fi/yritykset/tarinoita-yhteisistonnistumisista/kakolan-lampopumput-valtakunnan-sahkotehoa-tasapainottamaan/>

Vaasan Sähkö. Tietoa Vaasan Sähköstä. Viitattu 30.1.2021. Saatavissa: <https://www.vaasansahko.fi/tietoa-vaasan-sahkosta/>

Valor Partners 2016. Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Loppuraportti. Viitattu 1.2.2021. https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf

Westenergy 2019. Jätteenpolttolaitos yhteenvetoraportti 2012. Viitattu 7.2.2021 <https://westenergy.fi/wp-content/uploads/2019/11/Ymp%C3%A4rist%C3%B6n-yhteenvetoraportti-2012.pdf>

Ympäristöhallinto 2014. F-kaasuja koskevat rajoitukset ja kiellot. Viitattu 24.2.2021. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/Kasvihuo

nekaasupaastojen_seuranta_Suomessa/Fluoratut_kasvihuonekaasut/Kayttorajoitukset_ja_kiello

