

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikan insinööri

Iida Heikkinen

KIINTEISTÖKOHTAISEN JÄÄHDYTYKSEN OTTAMINEN OSAKSI
OUTOKUMMUN ENERGIAN TARJOAMIA PALVELUITA

Opinnäytetyö
Joulukuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2021
Energia- ja ympäristötekniikan
koulutus

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Iida Heikkinen

Nimeke
Kiinteistökohtaisen jäähdytyksen ottaminen osaksi Outokummun Energian tarjoamia palveluita

Toimeksiantaja
Okun Energia Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kiinteistökohtaisen lämpöpumpun hyödyntämismahdollisuuksia kaukolämpökiinteistöjen jäähdytyksessä. Toimeksiantajana toimivan Outokummun Energian toiminta-alueelle ei ole kannattavaa rakentaa erillistä kaukokylmäverkkoa, joten jäähdytystarpeen täyttämiseen täytyy harkita kiinteistökohtaisia vaihtoehtoja.

Työn tarkoituksena oli tehdä yleinen selvitys CHC-tekniikasta, jolla tarkoitetaan lämpöpumpulla tuotettavaa yhdistettyä jäähdytyksen ja lämmityksen tuotantoa. Kyseisen tekniikan avulla saadaan hyödynnettyä jäähdytys- ja lämmitysprosesseissa syntyvää hukkalämpöä, jotka jäisivät muuten hyödyntämättä.

Työn tietoperustassa on käytetty luotettavia kotimaisia ja kansainvälisiä tietolähteitä, sekä toimeksiantajan, laitevalmistajan ja toisien energiayhtiöiden kanssa käytyjä keskusteluja. Lisäksi saatua tietoa sovellettiin tarkastelemalla potentiaalista jäähdytyskohdetta Outokummussa. Esimerkkikohteeseen suunniteltu laitteisto mitoitettiin vastaavasta toimituskohteesta saatujen lähtötietojen sekä laitevalmistajan tarjoaman valintaohjelman avulla.

Tehtyjen selvitysten perusteella havaitaan, että CHC-tekniikalla voidaan tuottaa jäähdytystä monenlaisiin kohteisiin, ja se on helposti muokattavissa palveluksi. Tehokkaan hukkaenergian hyödyntämisen lisäksi ratkaisun avulla saadaan hajautettua kaukolämmön tuotantoa ja monipuolistettua energiayhtiöiden toimintaa. Joissakin kohteissa ongelmaksi muodostuvat kuitenkin kohtuuttoman suuriksi kasvavat käyttökustannukset.

Kieli
suomi

Sivuja 61
Liitteet 7
Liitesivumäärä 7

Asiasanat
Kiinteistöt, Jäähdytys, Lämpöpumput, Yhteistuotanto, Kaukolämmitys



THESIS
December 2021
Degree Programme in Energy and
Environmental Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Iida Heikkinen

Title
Incorporating the Property-Specific Cooling into Services Provided by Okun Energia Oy

Commissioned by
Okun Energia Oy

Abstract

In this thesis, the possibilities of utilizing a property-specific heat pump in the cooling of district heating properties were investigated. The construction of a district cooling network in the company's operating area in Outokumpu is not economically viable, so other options must be used to cool district heating properties.

The purpose of this work was to make a general study of the combined heating and cooling. The equipment is used to cool the properties and at the same time to utilize the waste heat generated in the processes.

The data of this study was collected from reliable Finnish data sources and through discussions with the partners. In addition, the information obtained was applied by looking at a potential cooling supply destination in Outokumpu. The equipment designed for the example site was dimensioned by using the input data obtained from the corresponding delivery site and the selection program provided by the equipment manufacturer.

The end result is that property-specific cooling is a good option for a wide variety of properties and, it is easily customizable as a service. The biggest problem is the high operating costs in some cooling properties.

Language
Finnish

Pages 61
Appendices 7
Pages of Appendices 7

Keywords
Real property, Refrigeration, District Heating, Heat Pumps, Joint production

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Okun Energia Oy	8
2.1	Historia	9
2.2	Nykyinen liiketoiminta	11
3	Kaukolämpö	11
3.1	Kaukolämpöliiketoiminta Suomessa	12
3.2	Kaukolämpöliiketoiminta Outokummussa	13
3.3	Kaukolämmön tuotanto	15
3.4	Kaukolämmön jakelu	17
3.4.1	Kaukolämpöverkoston suunnittelu ja mitoitus	17
3.4.2	Kaukolämpöverkon tärkeimmät osat	18
3.5	Kaukolämpöliiketoiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset	19
3.6	Kaukolämmön toimintaympäristö	20
3.7	Kaukolämpöliiketoiminnan tulevaisuus Suomessa	22
3.7.1	Matalalämpöinen kaukolämpö	22
3.7.2	Kaksisuuntainen kaukolämpö	23
3.7.3	Digitalisaation vaikutukset kaukolämpötoimintaan	24
4	Lämpöpumput osana kaukolämmöntuotantoa	25
4.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate	25
4.2	Lämpöpumpun lämpökerroin COP	27
4.3	Lämpöpumpun tehonsäätö	27
4.4	Isot lämpöpumput kaukolämpöverkon yhteydessä	28
4.5	Kiinteistökohtaiset lämpöpumput kaukolämpöverkon yhteydessä	31
5	Kiinteistökohtainen jäähdytys kaukolämpökohteisiin	32
5.1	Kiinteistöjen jäähdytyksen tarve Suomessa	32
5.2	Kaukolämpökiinteistön jäähdytys CHC-tekniikalla	34
5.3	Vaatimukset CHC-järjestelmän toimituskohteelta	35
6	Kiinteistökohtainen jäähdytys osaksi Okun Energia Oy:n palvelutarjontaa	36
6.1	Kaukolämpökiinteistöjen jäähdytys liiketoimintana Suomessa	37
6.2	Konseptin perusperiaate	39
6.3	Asiakasryhmät	40
6.3.1	Julkiset kiinteistöt	40
6.3.2	Yksityiset kiinteistöt	41
6.3.3	Teollisuuden kiinteistöt	41
6.4	Kustannukset ja hinnoittelu	42
6.4.1	Kiinteät kustannukset	42
6.4.2	Muuttuvat kustannukset	42
6.5	Markkinointi	43
7	Kiinteistökohtainen jäähdytysjärjestelmä esimerkkikohteeseen	44
7.1	Esimerkkikohteen perustiedot	44
7.2	Järjestelmän mitoitus	45
7.3	Kytkevävaihtoehto 1	46
7.4	Kytkevävaihtoehto 2	48
7.5	Kytkevävaihtoehto 3	50
8	Johtopäätökset	53
8.1	Esimerkkikohteen sopivuus CHC-järjestelmän toimituskohteeksi	53
8.2	Taloudellinen tarkastelu	54
9	Pohdinta	56
	Lähteet	59

Liitteet

- Liite 1 Oilon ChillHeat -lämpöpumppujen teknisiä tietoja
- Liite 2 P100-lämpöpumpun tietoja Oilon Selection Tool -valintaohjelmasta ensimmäisen kytkentävaihtoehdon tapauksessa
- Liite 3 P100-lämpöpumpun tietoja Oilon Selection Tool -valintaohjelmasta toisen kytkentävaihtoehdon tapauksessa lämmityskaudella
- Liite 4 P100-lämpöpumpun tietoja Oilon Selection Tool -valintaohjelmasta kolmannen kytkentävaihtoehdon tapauksessa lämmityskaudella
- Liite 5 Lämpimän käyttöveden kulutus rakennustyypeittäin
- Liite 6 Sähkönhinnan keskiarvot kesäkuu 2020-toukokuu 2021
- Liite 7 Laitteiston mitoituksen ja taloudellisen tarkastelun yhteydessä tehdyt laskelmat

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua kaukolämpöverkon yhteyteen liitettäviin kiinteistökohtaisiin jäähdytysjärjestelmiin. Työssä keskitytään erityisesti CHC-tekniikan (Combined heating and cooling) hyödyntämiseen kaukolämpökiinteistöissä, joissa on tarvetta jäähdytykselle. Työ tehdään toimeksiantona Okun Energia Oy:lle, ja työn avulla selvitetään yhtiön mahdollisuuksia vastata jäähdytyksen kasvavaan kysyntään Outokummun kaukolämpöverkon alueella.

Okun Energia Oy on brittiläisen sijoitusyhtiö Aberdeen Standard Investmentin ja Outokummun kaupungin omistama energiayhtiö, jonka juuret ulottuvat aina 1940-luvulle, Kuusjärven kunnalliseen sähkölaitokseen. Nykyisin Okun Energia Oy:n liiketoiminta koostuu sähkönmyynnistä, sähkönsiirrosta, sähköverkon kunnossapito- ja rakennustöistä sekä kaukolämpöliiketoiminnasta. (Okun Energia Oy 2021.)

Jäähdytyksen kasvavaan kysyntään vastataan isojen energiayhtiöiden alueella mm. kaukokylmäverkon avulla. Pienillä ja harvaan asutuilla paikkakunnilla, joissa kaukolämpöasiakkaita on melko vähän, ei ole taloudellisesti kannattavaa alkaa rakentamaan uutta verkostoa kaukolämpöverkon rinnalle. Tällaisissa tapauksissa päädytään yleensä harkitsemaan kiinteistökohtaista vaihtoehtoa jäähdytykselle.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään yleisellä tasolla, minkälaisiin kohteisiin CHC-järjestelmä soveltuu ja millä perusteella kohteen sopivuutta täytyy tarkastella. Lopuksi syvennytään tutkimaan esimerkkikohdetta Outokummun alueelta, jonne olisi mahdollista suunnitella kyseinen jäähdytysjärjestelmä. Valitusta kohteesta tehdään karkeat laskelmat sekä laitevalinnat, ja niiden pohjalta arvioidaan kyseisen kohteen sopivuutta CHC-järjestelmän toimituskohteeksi. Opinnäytetyössä otetaan huomioon jäähdytyksen toimittaminen rajapintaan sekä lämmön talteenotto takaisin kaukolämpöverkkoon. Jäähdytyksen jakamista kohteessa ei oteta huomioon.

Tämän opinnäytetyö on soveltava tutkimus, jonka tietoperusta on kerätty hyödyntämällä erilaisia tietolähteitä, kuten kirjallisuutta, verkkojulkaisuja, aiempia tutkimuksia sekä haastatteluita. Työn aiheena on kiinteistökohtaisen jäädytyksen ottaminen osaksi kaukolämpöliiketoiminnan palveluita Outokummussa.

Työssä käytetyt lähteet ovat luotettavia ja monipuolisia, sillä niillä on vahva tieteellinen perusta. Lähteinä käytetään eri alojen asiantuntijoiden tekemiä tutkimuksia ja kirjallisuutta käsiteltävästä aiheesta. Käytettävät lähteet ovat pääsääntöisesti suomalaisia, mutta jonkin verran tullaan hyödyntämään myös kansainvälistä tietoa. Lisäksi laitetoimijoiden ja muiden asiantuntijoiden kanssa käytyjä keskusteluja tullaan käyttämään hyödyksi tietoperustaa kasatessa.

Esimerkkikohteeseen suunniteltavan jäähdytysratkaisuun on otettu jonkin verran esimerkkiä muiden energiayhtiöiden kokemuksista ja laitevalmistajan tiedoista. Esimerkkikohteena toimiva terveyskeskus on vasta suunnitteluvaiheessa, joten opinnäytetyön aikataulun takia kohteeseen tehdyt laskelmat ja mitoitukset ovat suuntaa antavia.

2 Okun Energia Oy

Okun Energia Oy on outokumpulainen energiayhtiö (kuva 1), jonka nykyiseen liiketoimintaan kuuluu kaukolämmön tuotanto ja jakaminen asiakkaille, sähkömyynti, sähkönsiirto sekä sähköverkon kunnostus- ja korjaustyöt. Yhtiön liikevaihto on vuosittain noin 10 miljoonaa euroa. Okun Energialla työskentelee vakituisesti noin 20 henkilöä, ja lisäksi tehdään yhteistyötä myös muiden toimijoiden, kuten paikallisten koneurakoitsijoiden ja muiden energiayhtiöiden kanssa. (Okun Energia Oy 2021a.)



Kuva 1. Okun Energia Oy:n toimistorakennus Teollisuuskylässä (Okun Energia Oy 2019).

Kehittyvä, ekologinen ja asiakaslähtöinen toiminta on avainasemassa tulevaisuuden energiayhtiöiden toiminnassa ja menestymisessä. Tästä syystä Okun Energia Oy haluaa kehittää toimintaansa jatkuvasti, jotta heillä olisi tulevaisuudessa mahdollisuus vastata entistä paremmin asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin. (Mäntylä 2021.)

2.1 Historia

Okun Energia Oy:n juuret ulottuvat 1940-luvulle, Kuusjärven kunnalliseen sähkölaitokseen. Koko Pohjois-Karjalan sähköistäminen on alkanut alun perin nykyisen Outokummun kaupungin, silloisen Kuusjärven kunnan alueelta. Kuusjärven kunnassa sijaitsi Euroopan toiseksi suurin kuparikaivos (kuva 2) ja se tarvitsi toimiakseen paljon sähköenergiaa. Outokumpu Oy:n kaivosyhtiö jakoi lisäksi sähköä taajama-alueella omille työntekijöilleen ja tästä alkoi koko kunnan sähköistäminen. (Okun Energia Oy 2021a.)



Kuva 2. Outokummun kaivos (Okun Energia Oy 2021).

Alun perin kaivoksen tarvitsema sähkö tuotettiin höyryvoimalaitoksilla, mutta sähkön tarpeen kasvaessa päätettiin aloittaa yhteistyö Imatran Voima Osakeyhtiön kanssa. Imatran Voima auttoi rakentamaan vuonna 1929 koskivoimaa hyödyntävän sähköntuotantolaitoksen Vuonokseen ja lisäksi rakennettiin 110 kV ja 45 kV sähköjohdot Imatralta Varkauteen ja Varkaudesta Outokumpuun vuonna 1934. (Okun Energia Oy 2021a.)

Koko kunnan sähköistäminen alkoi toden teolla siinä vaiheessa, kun Kuusjärven kunnanvaltuusto päätti perustaa Kuusjärven kunnallisen sähkölaitoksen vuonna 1944. Tarkoituksena oli rakentaa muuntopiirit muuntamoineen ja korkeajänniteverkkoineen, jotta saataisiin jaettua sähköverkkoa kaikille perustetuille sähköosuuskunnille kunnan alueella. Sähköosuuskuntia oli 1950-luvulle siirryttäessä noin 25 ja niiden tehtävä oli hoitaa laskutus ja sähkön jakaminen asiakkaille. (Okun Energia Oy 2021a.)

Lopullinen Outokummun Energian nimi alkoi muotoutua 1968, kun entisestä Kuusjärven kunnan sähkölaitoksesta tuli Outokummun kauppalan sähkölaitos. Yrityksen toiminta alkoi laajentua 1960-luvun loppupuolella, ja koko paikkakunnan kehitykseen vaikuttanut Outokummun teollisuuskylän perustaminen vuonna 1979 asetti ihan uusia vaatimuksia yrityksen toiminnalle sähkön kysynnän kasvassa. (Okun Energia Oy 2021a.)

Kaukolämpöliiketoiminnan katsotaan alkaneen 1950-luvulla, kun Outokumpu Oy rakensi kaukolämpöverkkoa Kyykerin alueelle. Kaukolämmön puolelle perustettiin myös lämpöosuuskuntia sähköosuuskuntien tapaan Kaasilan ja Mustolan alueelle. Vuonna 1974 perustettiin Outokummun lämpö Oy, johon Kaasilan ja Mustolan lämpö Oy:t liittyivät. Lämmöntuotanto päätettiin keskittää muutamaan lämpökeskukseen, ja aiemmin erillään olevat kaukolämpöverkot yhdistettiin. Lopulta 1980-luvulla Outokummun Lämpö osti Kaasilan ja Mustolan Lämmön, minkä jälkeen saatiin lopullisesti aikaan yhtenäinen kaukolämpöverkko Outokummun alueelle. (Okun Energia Oy 2021a.)

Nykyisen Okun Energia Oy:n liiketoiminta alkoi muotoutua vuonna 1998, kun Outokummun Sähköyhtiö perustettiin. Vuonna 2000 Outokummun kaupunki päätti yhdistää Outokummun Sähkö Oy:n ja Outokummun Lämpö Oy:n, ja näin muodostui Outokummun Energia Oy. (Okun Energia oy 2021a.)

2.2 Nykyinen liiketoiminta

Okun Energia Oy on brittiläisen sijoitusyhtiö Aberdeen Standard Investmentin ja Outokummun kaupungin omistama energiayhtiö. Outokummun kaupunki omisti yrityksen kokonaisuudessa vuoden 2020 lokakuuhun saakka, mutta nykyisin pääomistajana toimii kyseinen sijoitusyhtiö, 66 % omistusosuudellaan. (Okun Energia Oy 2021.) Okun Energia Oy on Outokummun Energia Oy:n tytäryhtiö ja yritys tunnetaan vielä nykyisinkin entisen nimen mukaan Outokummun Energiana. Tästä syystä opinnäytetyössä käytetään myös kyseistä nimeä.

Yhtiö haluaa kehittää omaa toimintaansa ja vastata paremmin muuttuviin asiakatarpeisiin. Tästä syystä esimerkiksi sähköverkkoa pyritään huoltamaan ja korjaamaan jatkuvasti, jotta saadaan varmistettua toimitusvarma sähkötoimitus jokaiseen kohteeseen Outokummun alueella. (Okun Energia Oy 2021.)

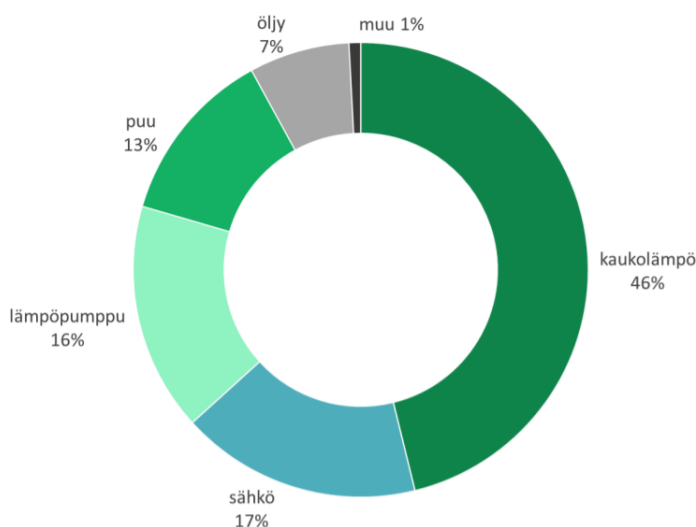
Kaukolämpöliiketoimintaa kehitetään entistä modernimpaan ja kestävämpään suuntaan. Uusiutuvia energialähteitä pyritään hyödyntämään entistä enemmän kaukolämmön tuotannossa ja uusilla teknologioilla pyritään vastaamaan entistä paremmin asiakkaiden tarpeisiin. (Hakkarainen 2021.)

3 Kaukolämpö

Kaukolämpö on kilpailukykyinen, ympäristöystävällinen ja toimitusvarma lämmitysmuoto. Kaukolämmityksessä olevien kohteiden lämpötila pysyy tasaisena jatkuvasti ja samalla taataan lämpimän käyttöveden varma toimitus kohteisiin. Tästä syystä kaukolämpö on hyvä vaihtoehto kaikenlaisiin kohteisiin pientaloista teollisuuden rakennuksiin.

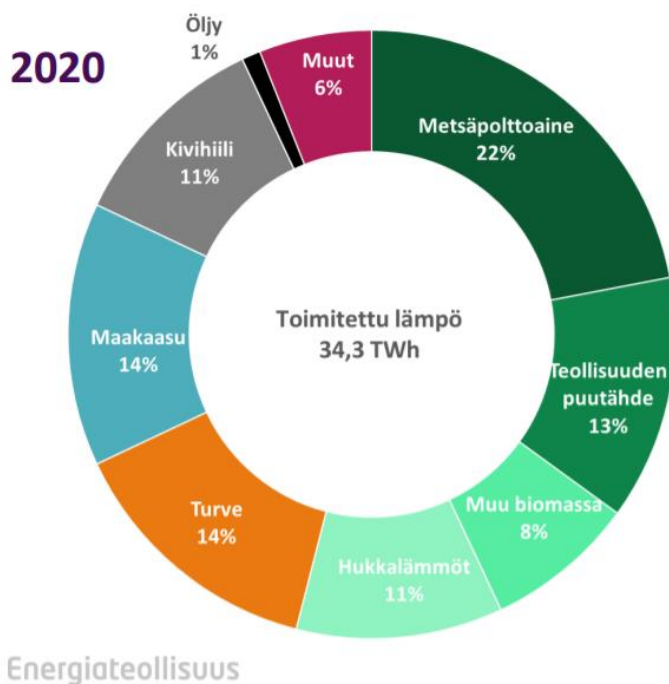
3.1 Kaukolämpöliiketoiminta Suomessa

Kaukolämpö on yksi Suomen yleisimmistä lämmitysmuodoista varsinkin kaupunki- ja taajama-alueilla. Kaukolämmön juuret ulottuvat 1950-luvulle, ja nykyisin kaukolämmön piirissä on jo yli 2,7 miljoonaa loppukäyttäjää koko Suomen alueella. Suomen katsotaankin olevan jonkinlainen edelläkävijä kaukolämpöliiketoiminnan saralla. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 12.) Kaukolämpöverkkoa on rakennettu yhteensä 166 kaupungin alueelle ja vuoden 2012 tilastojen mukaan kaukolämmöllä katettiin kokonaisuudessaan 46 % koko Suomen lämmitysenergian tarpeesta (Motiva 2019). Alla olevassa kuviossa 1 on esitetty eri lämmitysmuotojen markkinaosuudet vuodelta 2018 asuin- ja palvelurakennuksissa.



Kuvio 1. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet vuonna 2018 (Tilastokeskus 2018, taulukkopalvelu).

Kaukolämmön tuotanto perustuu nykyisin vielä hyvin pitkälti polttoprosessiin, mutta kaukolämmön tuotantotavat ovat murroksessa ja ne monipuolistuvat erilaisten ilmasto- ja päästötavoitteiden sekä uusien teknisten ratkaisujen takia. (Energiamailma 2021.) Alla olevassa kuvioissa 2 on esitetty kaukolämmön tuotannon energialähteet selkeästi eriteltynä.



Kuvio 2. Kaukolämpö Suomessa energialähteittäin (Kaukolämpötilasto 2020, Energiäteollisuus, 4)

Vuonna 2019 kaukolämpöä tuotettiin Suomen alueella yhteensä 38,1 TWh, josta uusiutuvien energialähteiden osuus oli noin 15,3 TWh. Fossiilisilla polttoaineilla kaukolämpöä tuotettiin 13,2 TWh, turpeella 5,7 TWh ja muilla energialähteillä 4,0 TWh. Ensimmäistä kertaa uusiutuvien energialähteiden osuus oli kaukolämmön tuotannossa suurempi kuin fossiilisten polttoaineiden osuus. Fossiilisilla tuotettiin 14 % vähemmän ja turpeella 9 % edelliseen vuoteen verrattuna. (Tilastokeskus 2020.)

3.2 Kaukolämpöliiketoiminta Outokummussa

Okun Energia Oy:lla on yhteensä noin 30 kilometriä kaukolämpöverkkoa, 260 kaukolämpöasiakasta ja lämmitettävää rakennustilavuutta yli miljoonaa kuutiometriä. Outokummussa taajama-alueen kohteiden kaukolämpö tuotetaan pääasiallisesti Miilun lämpökeskuksessa. Lämpökeskuksella on yhteensä kaksi eri tehoista puukattilaa, joiden tehot ovat 7 MW ja 10 MW. Näiden kattiloiden

avulla tuotetaan lähes 100 % koko lämmöntarpeesta (kuva 3). Lisäksi varakattiloina toimivat lämpölaitoksen yhteydessä nestekaasukattilat ja kevytöljykattilat Mustolassa sekä Teollisuuskylässä. (Hakkarainen 2021.)

Outokummun kaukolämmön tuotannon tilanne on todella hyvä tulevaisuuden päästö- ja ilmastoasiat huomioon ottaen, sillä lämpökeskuksella käytetään polttoaineena pääasiallisesti uusiutuvia polttoaineita, kuten purua, haketta ja puunkuorta. Tällä hetkellä uusiutuvan energian osuus polttoaineista on yli 99,9 %. Ainoastaan silloin tällöin tarvitaan nestekaasua ja kevyttä polttoöljyä kattiloiden käynnistämisen yhteydessä sekä lämmöntarvehuippujen tasoittamiseen talviaikaan. (Hakkarainen 2021.)



Kuva 3. Miilun lämpökeskus (Okun Energia Oy 2021).

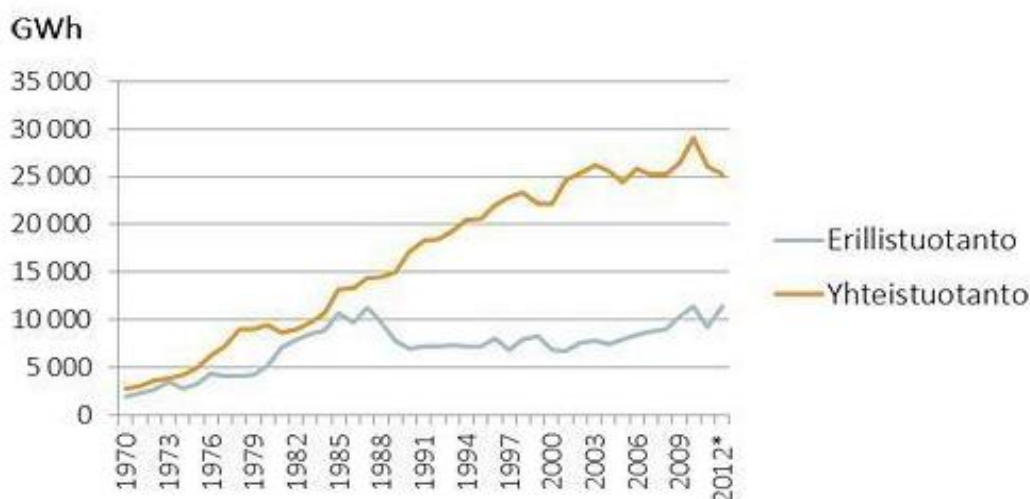
Kaukolämpöliiketoiminta kehitty jatkuvasti, ja sitä halutaan muokata jatkuvasti modernimpaan ja ympäristöystävällisempään suuntaan. Lisäksi täytyy ottaa huomioon se, että tulevaisuudessa kiinteistöjen lämmitystarve tulee luultavasti pienenemään ja vastaavasti jäähdytyksen tarve kasvamaan uusien kiinteistöjen energiatehokkuuden parantumisen myötä.

Monilla isommilla paikkakunnilla tähän kaukolämpöliiketoiminnan muutokseen vastataan esimerkiksi kaukokylmäverkon avulla, mutta pienillä paikkakunnilla,

kuten Outokummussa, investointi-intensiivisen kaukokylmäverkon rakentaminen ei ole välttämättä taloudellisesti kannattavaa. Tästä syystä kartoitetaan muita vaihtoehtoja, kuten kiinteistökohtaisia jäähdytysratkaisuja. (Mäntylä 2021.)

3.3 Kaukolämmön tuotanto

Kaukolämmön tuotanto pohjautuu vielä nykyisin hyvin pitkälti polttoprosesseihin, kun jotain valittua polttoainetta poltetaan voimalaitoksilla. Yleisimmät voimalaitostyypit ovat joko sähkön- ja lämmön yhteistuotantolaitokset (CHP) tai pelkät lämmöntuotantolaitokset- ja keskuskeskukset. Jonkin verran hyödynnetään myös esimerkiksi teollisuudesta saatavia hukkalämpöjä ja maaperästä saatavaa geotermistä lämpöä. Lisäksi tulevaisuudessa uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen tulee yleistymään myös kaukolämmöntuotannossa. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 22–27.) Kuviossa 3 on esitetty kaukolämmön tuotannon kehitys kaaviomuodossa vuosina 1970–2012.

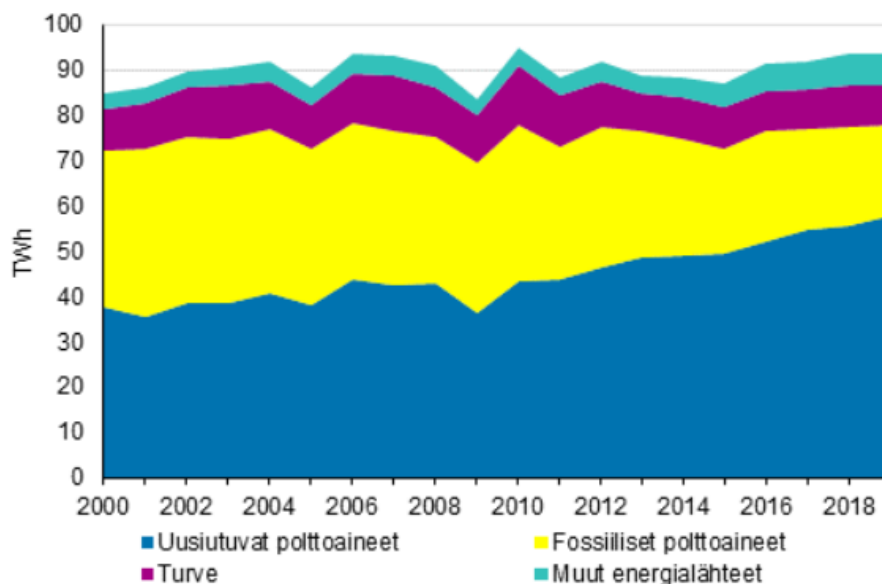


Kuvio 3. Lämmön ja sähkön yhteistuotannon sekä lämmöntuotannon määrän kehitys vuosina 1970–2012 (Motiva 2021).

Riippuen polttotekniikasta, kattiloissa on mahdollista käyttää erilaisia polttoaineita. Soveltuva kattilatyyppeä valitaan kaukolämpöalueen tarpeiden mukaisesti. Kattilaa valittaessa kannattaa huomioida ja arvioida polttoaineiden kustannuksia

sekä käytettävyyttä nyt ja tulevaisuudessa. Lisäksi yhtiö voi vaikuttaa polttoaineista aiheutuviin päästöihin ja ympäristövaikutuksiin oman yrityksensä arvojen mukaisesti. Alla olevassa kuviossa 4 on esitettyä kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotanto polttoaineittain vuosina 2000–2019.

Kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotanto polttoaineittain 2000-2019



Kuvio 4. Kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotanto polttoaineittain 2000–2019 (Tilastokeskus, 2020).

Suomessa poltetaan pääasiassa biopohjaisia polttoaineita (35 %) ja kivihiiltä (18 %). Turve oli vielä vuonna 2019 kolmanneksi käytetyin energialähde kaukolämmöntuotannossa, mutta jatkossa sen käyttö tulee oletettavasti vähenemään EU:n ja Suomen hallituksen asettamien ilmasto- ja päästötavoitteiden vuoksi. Turpeen käyttö pääasiallisena energialähteenä tulee loppumaan tai vähintään puolittumaan vuoteen 2030 mennessä, mutta edelleen turvetta voidaan käyttää tarvittaessa huoltovarmuuspolttoaineena. (Valtioneuvosto 2021.)

3.4 Kaukolämmön jakelu

Kaukolämmön jakeluverkosto on todella merkittävässä asemassa niin nykyisessä kuin tulevaisuudenkin kaukolämpöjärjestelmässä. Toimiva kaukolämpöverkosto mahdollistaa nykyisin lämmöntuotannon keskittämisen yhteen lämmöntuotantolaitokseen. Toisaalta taas tulevaisuudessa verkosto mahdollistaa lämmöntuotannon hajauttamisen useammalle eri taholle. (Mäkelä & Tuunanen 2021, 50.)

3.4.1 Kaukolämpöverkoston suunnittelu ja mitoitus

Kaukolämpöverkoston suunnittelussa täytyy ottaa huomioon todella monia eri asioita, mutta merkittävimmät tekijät ovat kaukolämpöverkon oikeanlainen sijoittaminen ja mitoitus. Suunnitelmia tehtäessä täytyy ottaa huomioon niin nykyiset kuin tulevaisuudenkin tarpeet lämmönjakelussa sekä kiinnittää huomiota siihen, miten esimerkiksi taajamien kaavoitukset tulevat muuttumaan kaukolämpöverkon toiminta-ajan aikana. Mitoituksen osalta on lisäksi osattava ottaa huomioon jokaisen verkostonosan tarpeet ja tehtävä sen pohjalta suunnitelmat siirrettävän lämpötehon vaihtelun, meno- ja paluuputkien lämpötilaeron sekä paine-erojen osalta. (Mäkelä & Tuunanen 2021, 52–54.)

Voimalaitoksissa tuotettu kaukolämpö siirretään asiakkaille kaukolämpöverkossa kiertävän kuumen veden avulla. Vedestä on poistettu mekaaniset epäpuhtaudet ja happi, jotta saadaan estettyä putken korroosio sisältä päin. Vesi saatetaan myös värjätä jollakin ympäristölle harmittomalla aineella, jotta vuotokohdat pystyttäisiin paremmin havaitsemaan tarvittaessa. (Energiateollisuus 2021a.)

Tuotantolaitokselta verkkoon lähtevän veden lämpötila vaihtelee 65–115°C välillä. Matalin lämpötila vedellä on kesäaikaan, sillä silloin lämpöä tarvitaan vain pääsääntöisesti lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Takaisin tuotantolaitokseen palaava vesi on lämpötilaltaan 25–50°C välillä riippuen vuodenajasta ja asiakkaiden lämmöntarpeesta. (Energiateollisuus 2021a.)

3.4.2 Kaukolämpöverkon tärkeimmät osat

Suomessa kaukolämpöverkoston kuuluvat siirtojohdot, runkojohdot ja talojohdot. Verkon alueella kulkee rinnakkain kaksi eri putkea, eli meno- ja paluuputki. (Energiateollisuus 2021a.) Alla olevassa kuvassa 4 on esillä rakenteilla oleva kaukolämpöverkosto, jossa näkyy rinnakkain sekä meno- että paluuputki.

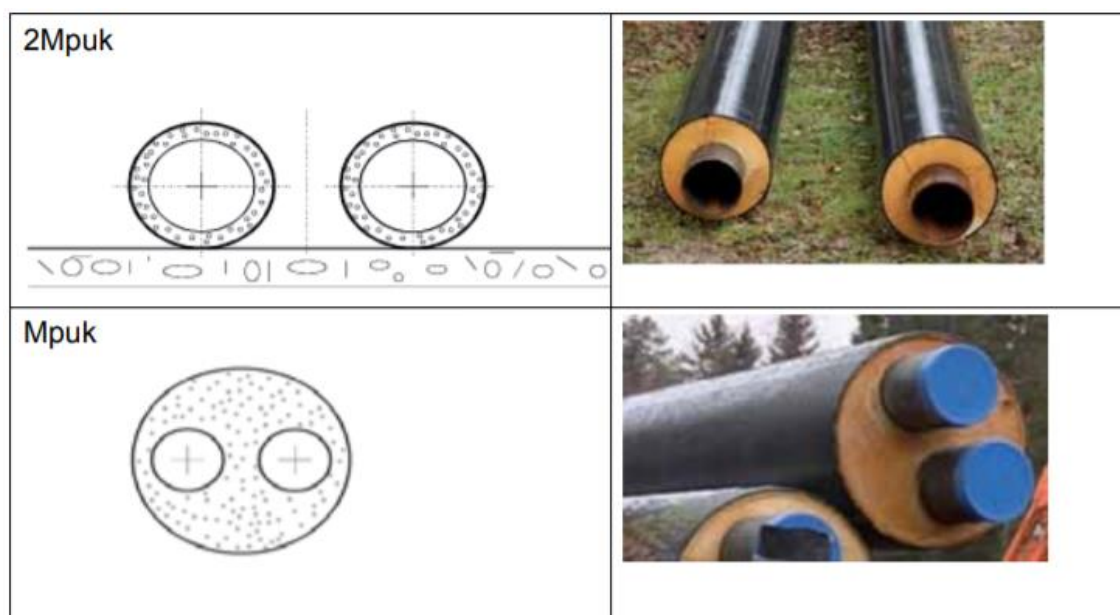


Kuva 4. Outokummun kaukolämpöverkkoa Teollisuuskylässä 2014 (Okun Energia Oy 2021).

Kaukolämpöverkosto alkaa siirtojohdoilla, joiden avulla saadaan yhdistettyä lämpölaitokset runkojohtoihin. Runkojohdot ja jakelujohdot jakavat kaukolämpöverkoissa kiertävän veden kaukolämpökiinteistöjen läheisyyteen. Viimeisenä osana kaukolämpöverkosta ovat talojohdot, joiden tarkoitus on yhdistää rakennukset ympäröivään kaukolämpöverkoston. (Mäkelä & Tuunanen 2015, 50–55.)

Kaukolämpöjohdot ovat Suomessa pääsääntöisesti kiinnivaahdotettuja johtoja, sillä tällä tekniikalla saadaan valmistettua todella pitkäikäisiä putkistoja, joiden

käyttöikä on jopa 100 vuotta (kuva 5). Kyseisessä johtotyyppissä virtausputki on materiaaliltaan terästä, ja se on päällystetty lämpöä eristävällä materiaalilla, uretaanilla, sekä sijoitettu muovisen suoja-putken sisään yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Keskisuurissa, korkeintaan 200 mm:n johdoissa käytetään yhdistettyjä putkistoja, joissa sekä meno- että paluuputki on sijoitettu saman muoviputken sisään. Teräsputket voidaan sijoittaa myös erillisiksi kokonaisuuksiksi, ja tätä tekniikkaa käytetään yleisesti niin isoissa kuin pienissäkin johdoissa. (Energiateollisuus 2021a.)



Kuva 5. Esimerkkikuvat kaksi- ja yksiputkijohdoista (Mäkelä & Tuunanen 2015, 57).

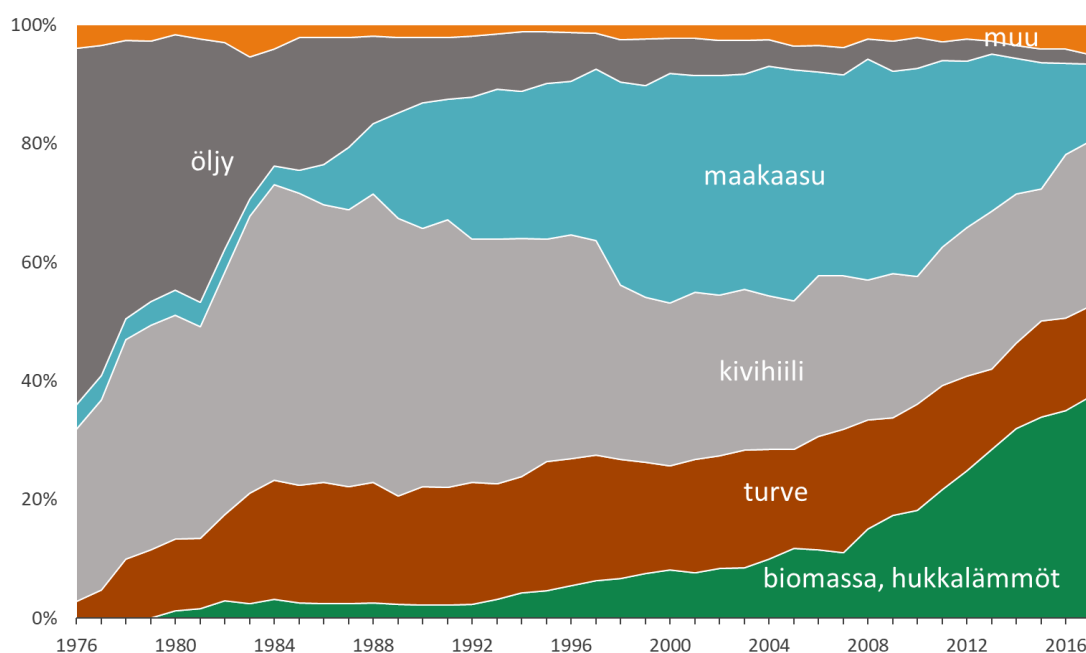
3.5 Kaukolämpöliiketoiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset

Kaikesta energiantuotannosta aiheutuu ympäristövaikutuksia. Ympäristövaikutuksia syntyy kaikissa prosessin vaiheissa aina raaka-aineen hankkimisesta jätteiden käsittelyyn saakka. Yleisimmät vaikutukset ympäristölle ovat happamoituminen, uudelleen käyttökelvottomien jätteiden syntyminen sekä vesistöihin kohdistuvat vaikutukset, jotka voivat aiheuttaa esimerkiksi vesistöjen pilaantumista ja rehevöitymistä. (Energiateollisuus 2021b.)

Yksi merkittävimmistä ympäristövaikutuksista ovat kaukolämmön tuotannossa syntyvät päästöt, jotka aiheuttavat ilmastonmuutosta ja ilmastonlämpenemistä.

Päästöjen ja ympäristövaikutusten määrät riippuvat hyvin paljon siitä, millaisissa laitoksissa kaukolämpöä tuotetaan ja mitä polttoainetta käytetään.

Kaikista paras ratkaisu voimalaitoksista on korkealla hyötysuhteella toimiva yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotantolaitos, sillä sen avulla saadaan hyödynnettyä mahdollisimman paljon polttoaineen sisältämästä energiasta. Ympäristövaikutuksia saadaan lisäksi pienennettyä valitsemalla polttoaineeksi jonkin uusiutuvan polttoaineen. Alla olevassa kuviossa 5 on esitetty kaukolämmön ja yhdistetyn sähköntuotannon polttoaineet ja niiden kehitys vuosina 1976–2017.



Kuvio 5. Yhdistetyn kaukolämmön- ja sähköntuotannon polttoaineet vuosina 1976–2017 (Ilmasto-opas 2018).

3.6 Kaukolämmön toimintaympäristö

Euroopan unionin alueella energiantuotannosta aiheutuvat ympäristövaikutukset otetaan vakavasti, ja niitä pyritään vähentämään aktiivisesti erilaisin keinoin. Suomen energiantuotantoa säätelevät monet asetukset ja lait, joiden mukaan jokaisen energia-alan toimijan on toimittava. Kaikista merkittävimmin energiantuotantoa säätelevät ympäristönsuojelulaki, päästökauppalaki, vesilaki, jätelaki sekä rakentamiseen painottuva maankäyttö- ja rakennuslaki. (Energiateollisuus 2021b.)

Ympäristönsuojelulain (527/2014) tarkoituksena on vähentää päästöjä, ehkäistä ympäristöä pilaantumasta, poistaa pilaantumisen aiheuttavia haittoja sekä torjua isoja ja pieniä ympäristövahinkoja. Käytännössä lain avulla pyritään ehkäisemään ilmastonmuutosta ja edistetään luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Lain avulla saadaan lisäksi määriteltyä perusta myönnettäville ympäristöluville ja käytettäville tekniikoille energiantuotannon parissa.

Päästökauppalakiin (311/2011) on kirjattu, miten kasvihuonepäästöjä saataisiin vähennettyä ottamalla huomioon kustannustehokkuus ja taloudellisuus. Päästökauppalain piiriin kuuluvat kaikki yli 20 MW lämpötehon tuotantolaitokset, pois lukien jätteiden polttolaitokset ja laitoksen osat, joissa noudatetaan ympäristönsuojelulain mukaisen ympäristöluvan asettamia polttoaatimuksia.

Kaukolämpöverkkoon liitetyissä laitoksissa sovelletaan päästökauppalakia, jos vähintään yhden kaukolämpöverkkoon liitetyn tuotantolaitoksen nimellisteho on yli 20 MW, laitos on liitetty kaukolämpöverkkoon viimeistään 30. huhtikuuta 2010 tai Euroopan komission on hyväksynyt laitoksen erikseen päästökauppajärjestelmän piiriin.

Kolmas kaukolämpötoimintaa säätelevä laki on vesilaki (587/2011), jonka tavoitteena on ohjata vesien käyttöä ja vesirakentamista. Energiantuotannossa tämän lain suurimmat vaikutukset kohdistuvat erityisesti vesien ja vesialueiden käyttöön sekä haittojen minimointiin vesistöille.

Jätelain (646/2011) tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuva vaaraa ympäristölle ja terveydelle. Jätteen määrä ja haitallisuus pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, uusiutuvien energiamuotojen käyttöä suositellaan entistä enemmän ja jätehuollon toimivuus varmistetaan. Tähän 2011 laadittuun lakiin on tulossa muutoksia ja tarkennuksia, jotka keskittyvät esimerkiksi kiertotalouden ja uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämiseen energiantuotannossa. Tässä opinnäytetyössä tietolähteenä käytetään kuitenkin vuonna 2011 voimaan tullutta jätelakia, sillä uuden jätelain voimaantulo on vielä epävarmalla pohjalla.

Viimeinen tähän opinnäytetyön tietoperustaan ja kaukolämmön tuotantoon vaikuttava laki on rakentamiseen painottuva maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999). Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittää, miten saadaan järjestettyä rakentaminen ja alueiden käyttö siten, että luodaan hyvät edellytykset elinympäristölle ekologisuutta, taloudellisuutta, sosiaalisuutta ja kulttuurillista kehitystä tukien. Lain tarkoituksena on myös antaa jokaiselle kansalaiselle mahdollisuus vaikuttaa asioiden valmisteluun ja toimeenpanoon sekä luoda mahdollisimman avoin tiedottaminen käsiteltävistä asioista.

Kaukolämmön tuotannossa ja jakamisessa maankäyttö- ja rakennuslakia sovelletaan esimerkiksi uuden kaukolämpöverkon tai -kiinteistön rakentamista suunniteltaessa ja toteutettaessa.

3.7 Kaukolämpöliiketoiminnan tulevaisuus Suomessa

Tulevaisuudessa kaukolämpö on edelleen toimitusvarma, ekologinen ja kilpailukykyinen vaihtoehto rakennusten lämmitystavaksi. Kaukolämmön tuotantomuotoihin on kuitenkin tulossa muutoksia, sillä polttamalla tapahtuva energiantuotanto väistyy pikkuhiljaa muiden tuotantomuotojen tieltä. Erilaiset ilmasto- ja päästöasiat ohjaavat entistä enemmän käyttämään uudenlaisia uusiutuvaan energiaan pohjautuvia kaukolämmön tuotantomuotoja. Lisäksi nykyisen asiakkaan osuus kaukolämpöliiketoiminnassa kasvamaan ja monipuolistumaan uusien teknologioiden ja tuotantomuotojen yleistyessä. (Energiateollisuus 2021c.)

3.7.1 Matalalämpöinen kaukolämpö

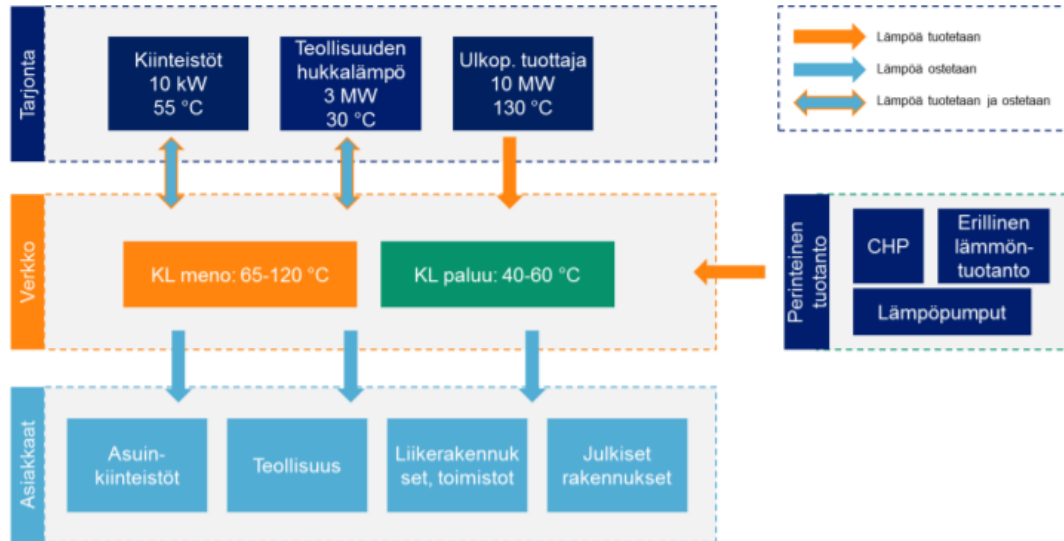
Kaukolämmössä olevien kiinteistöjen energiatehokkuus paranee, ja tämä avaa uusia mahdollisuuksia kaukolämmön tuotannon saralle. Suunnitteilla on täysin uudenlainen matalalämpöinen kaukolämpöverkko, jossa verkossa kiertävän veden lämpötilaa pystytään laskemaan huomattavasti matalammalle tasolle nykyiseen lämpötilaan verrattuna.

Kaukolämpöverkossa kiertävän veden lämpötilaa lasketaan paljon nykyistä lämpötilaa matalammaksi, kuitenkin niin, että vedenlämpötila pysyy yli 65 °C:ssa. Tällä tavoin saadaan pienennettyä kaukolämpöverkon lämpöhäviöitä ja mahdollistetaan kaksisuuntainen lämmön siirto kaukolämpöyrityksen ja -asiakkaan välillä.

3.7.2 Kaksisuuntainen kaukolämpö

Matalalämpöiseen kaukolämpö mahdollistaa paljon uusia tapoja tuottaa kaukolämpöä. Yhtenä hyvänä esimerkkinä toimii kaksisuuntainen kaukolämpö, joka tulee olemaan hyvin merkittävässä roolissa tällä liiketoiminnan alalla. Tämän tyyppinen toiminta on tuttua jo sähköliiketoiminnan puolella, kun asiakas voi tuottaa sähköä sähköverkkoon omilla pientuotantolaitteillaan. Samantapaista systeemiä tullaan hyödyntämään myös kaukolämmön tuotannossa enenevässä määrin.

Kaksisuuntaisella kaukolämmöllä tarkoitetaan sitä, että nykyisten kaukolämpöasiakkaiden on mahdollisuus ryhtyä itse lämmön myyjiksi. Asiakas voi alkaa itse tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon esimerkiksi aurinkokeräimien avulla tai myydä jäähdytyksen tuloksena syntynyttä lämpöä takaisin kaukolämpöyhtiölle. Tällöin kaikki tuotettava energia saadaan hyödynnettyä, eikä lämpöä mene enää niin paljon hukkaan kuin aiemmin. (Energiateollisuus 2021c.) Alla olevassa kuviossa 6 esitetty kaksisuuntaisen kaukolämmön pääperiaatteet ja esimerkituottajat.



Kuvio 6. Kaksisuuntaisen kaukolämmön periaatekuva ja esimerkkituottaja (Pöyry 2016, 6).

Tällä hetkellä muutamilla yrityksillä on mahdollisuus tarjota erilaisia tuotteita ja palveluita kaksisuuntaisen kaukolämmön hyödyntämiseen. Liiketoimintamallit, hinnoittelu ja sopimukset ovat kuitenkin vasta pitkälti kehittyasteella ja vie vielä jonkin aikaa, ennen kuin voidaan alkaa hyödyntämään tätä tuotantotapaa toden teolla.

3.7.3 Digitalisaation vaikutukset kaukolämpötoimintaan

Digitalisaation avulla saadaan paljon hyötyjä aikaiseksi niin asiakkaan kuin kaukolämpöyhtiönkin näkökulmasta. Kaukolämpöyhtiöt pystyvät paremmin vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin, ja esimerkiksi kaukolämpöverkon asiakaspäädyn ongelmiin pystytään reagoimaan entistä nopeammin kohteesta suoraan saatavan tiedon avulla. (Deloitte 2016.)

Kaukolämpökiinteistöihin asennettujen mittareiden avulla saadaan tulevaisuudessa kerättyä paljon tietoa asiakkaan kulutuksista ja asiakastiedoista. Asiakkaat ovat koko ajan entistä kiinnostuneempia omista asiakastiedoistaan ja kulutuksistaan, joten kerättyä tietoa pitää saada myös entistä enemmän asiakkaiden

ja lämpöyhtiöiden tietoon. Tällä tavoin saadaan entistä paremmin yksilöityä palvelua asiakaskohtaiseksi. (Deloitte 2016.)

Lisäksi digitalisaation avulla saadaan optimoitua järjestelmän käyttö juuri sopivaksi senhetkiseen tilanteeseen ja kohteeseen nähden. Käytännössä siis esimerkiksi polttoaineiden toimituksia ja tuotantoa voidaan optimoida vallitsevien sääolosuhteiden mukaan automaattisesti sekä huolto- ja kunnossapitotoimia voidaan ennakoida helposti erilaisten sensoreiden ja analytiikan avulla. (Deloitte 2016.)

4 Lämpöpumput osana kaukolämmöntuotantoa

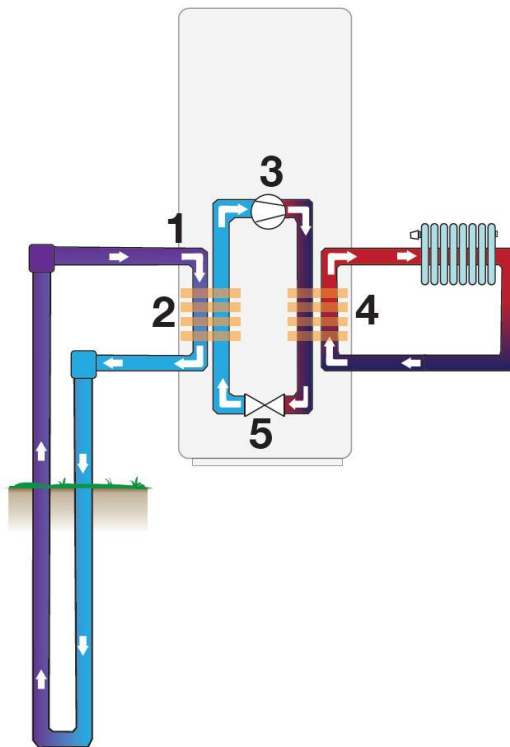
Lämpöpumppujen avulla saadaan hyödynnettyä todella laajasti esimerkiksi ilmaa, maahan, kallioperään tai veteen sitoutunutta auringon lämpöä. Lämpöpumput ovat todella suosittuja varsinkin uudis- ja remonttikohteissa, sillä niiden avulla saadaan aikaan taloudellisia ja ekologisia hyötyjä. Lämpöpumppujen käyttö tulee lisääntymään entisestään tulevaisuudessa, sillä niiden käyttö on kustannustehokasta ja lisäksi pystytään vastaamaan hyvin ilmasto- ja päästötavoitteisiin uusiutuvaa energiaa hyödyntämällä. (Motiva 2020.)

4.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Tässä opinnäytetyössä keskitytään erityisesti kompressiolämpöpumpun toimintaan, ja sanalla lämpöpumppu tarkoitetaan juuri kyseistä lämpöpumpputekniikkaa.

Kaikissa lämpöpumpuissa pääasiallinen toimintaperiaate on sama, eli sähköllä toimiva lämpöpumppu pumpkaa lämpöenergiaa viileästä lämpimämpään. Yksinkertaisin esimerkki lämpöpumpun toiminnasta on jääkaappi, jossa lämpöpumpun avulla pumpataan kaapin sisältä lämpöä huoneilmaan ja tällä tavoin jääkaapin sisälämpötila saadaan laskettua matalammaksi. (Perälä 2009, 29.)

Alla olevassa kuvassa 6 on esitetty lämpöpumpun toiminta yksinkertaisuudessaan. Lämpöpumpun putkistoissa kiertää lämmönkeräysneste (osa 1), jonka avulla lämpöä kerätään talteen esimerkiksi ilmasta tai maaperästä. Lämmönkeräysneste kiertää putkistoa pitkin lämmönvaihtimelle, jossa on kylmäainetta (osa 2). Kylmäaine höyrystyy lämmönvaihtimen höyrystimessä ja seuraavassa vaiheessa kompressori puristaa höyrystyneen kylmäaineen korkeaan paineeseen, joka saa aikaan höyryn lämpenemisen (osa 3). Tässä prosessissa syntynyt lämpö ohjataan takaisin lauhduttimelle (osa 4), josta se saadaan jaettua esimerkiksi rakennuksen lämmitysjärjestelmään tai kaukolämpöverkkoon. Tämän jälkeen kylmäaineen lämpötila laskee ja sen olomuoto muuttuu jälleen neste-mäiseksi (osa 5).



Kuva 6. Lämpöpumpun toimintaperiaate. (Suomela -Oman talon käsikirja, 2012).

Kylmäaine kiertää jatkuvasti laitteistossa ja sen olomuodon muutosten avulla saadaan siirrettyä lämpöä paikasta toiseen. Edellä olevassa lämpöpumpun havainnekuvassa on esitetty lämmitykseen käytettävän lämpöpumpun toiminta yksinkertaisuudessaan. Jäähdytyksen tapauksessa kierto on päinvastainen.

4.2 Lämpöpumpun lämpökerroin COP

Lämpöpumpun lämpökertoimella tarkoitetaan lukuarvoa, joka kertoo kulutetun ja tuotetun energian suhteen. Tästä termistä käytetään usein myös englanninkielistä lyhennettä COP (Coefficient of Performance) ja käytännössä tällä tarkoitetaan laitteiston tehokkuutta. (Perälä 2009, 31–32.)

Lämpöpumpun tapauksessa lämpökerroin ilmaisee, kuinka tehokkaasti pumpun avulla saadaan muutettua kulutettua energiaa lämpöenergiaksi. Esimerkiksi lämpökertoimen ollessa 6, saadaan 1 kW ottoteholla tuotettua 6 kW lämpötehoa. Laite on sitä energiatehokkaampi, mitä suurempi luku on kyseessä.

Tässä opinnäytetyössä oletetaan, että lämpökertoimen arvo tiedetään vain yhdellä lämmönjakoverkoston ja lämmönlähteen lämpötilatasolla, ja täten lämpötilakorjausta ei voida suorittaa. Laskelmissa käytetään yksikkönä asteita (°C) yhä tälläisyyden ja selkeyden aikaansaamiseksi. Tällöin lämpökertoimen laskemisessa voidaan käyttää seuraavaa kaavaa:

$$COP_c = \frac{T_L}{T_L - T_H}$$

T_L lämpöpumpun lauhtumislämpötila, °C

T_H lämpöpumpun höyrystymislämpötila, °C

4.3 Lämpöpumpun tehonsäätö

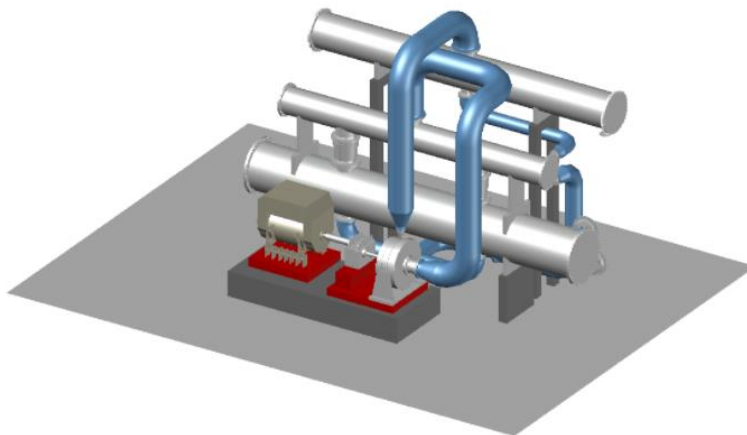
Lämpöpumpun tehonsäätö voidaan käytännössä toteuttaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on säädellä lämpöpumpun toimintaa yksinkertaisesti ON/OFF-säädöllä, jolloin lämpöpumpun termostaatti käynnistää kompressorin tuottamaan lämpöä tarpeen mukaan. Lämmöntarpeen täytyessä kompressori sammuu ja sen saa käynnistettyä uudestaan termostaatin avulla, kun lämmöntarvetta taas esiintyy. Tämä tekniikka ei ole kuitenkaan paras mahdollinen lait-

teiston kestävyden kannalta, sillä jatkuva käynnistely ja sammuttaminen rasittaa huomattavan paljon kompressoria ja täten sen käyttöikä voi huomattavasti laskea. (Perälä 2009, 50–51.)

Toinen vaihtoehto on hoitaa tehonsäätö invertterin avulla, jolloin säätö voidaan tehdä portaattomasti sen hetkisen lämmöntarpeen mukaan. Tämä säätötekniikka yleistyy koko ajan, sillä invertterin avulla lämpöpumppua voidaan ajaa myös osateholla. (Perälä 2009, 50–51.)

4.4 Isot lämpöpumput kaukolämpöverkon yhteydessä

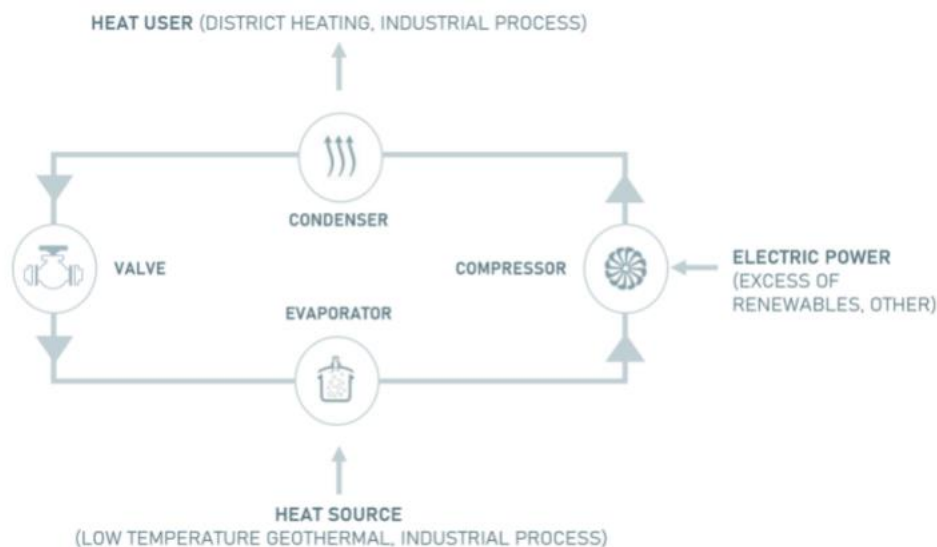
Isoista lämpöpumpuista on paljon hyötyä kaukolämpöverkon yhteydessä (kuva 7), sillä niiden avulla saadaan joustavuutta kaukolämpöjärjestelmään. Tämän lisäksi lämpöpumpuilla pystytään monipuolistamaan ja hajauttamaan tuotantoa eri tahoille, saadaan lisättyä uusiutuvan energian osuutta lämmöntuotannossa ja voidaan vastata polttoainemarkkinoilla tapahtuviin muutoksiin. (Energiateollisuus 2016.)



Kuva 7. Mallinnus suuresta lämpöpumpusta. (Turboden, 2021).

Lämpöpumppujen avulla saadaan lisättyä kaukolämpöjärjestelmän joustavuutta, sillä lämpöpumppujen avulla voidaan optimoida suurten tuotantolaitosten käyttöaika ja kapasiteetti asiakkaiden tarpeiden mukaiseksi kustannustehokkaasti ja joustavasti. Lämpöpumput ovat myös nopeita käynnistymään, joten lämmöntarpeen muutoksiin pystytään reagoimaan hyvin nopeallakin aikataululla ilman sen suurempia lisäkustannuksia. (Energiateollisuus 2016, 23–24.)

Lämpöpumppujen avulla voidaan vastata koko ajan kiristyviin ilmasto- ja päästötavoitteisiin, sillä niiden avulla saadaan hyödynnettyä laajasti erilaisia uusiutuvan energian muotoja. Perinteisten uusiutuvien lämmönlähteiden, kuten ilman, veden ja maaperän lisäksi lämpöpumppujen avulla saadaan hyödynnettyä paremmin ylijäämälämpöä (kuva 8). Ylijäämälämmöillä tarkoitetaan matalalämpötilaisia lämmönlähteitä, jotka jäisivät ilman lämpöpumppuja hyödyntämättä. Tällaisia lämmönlähteitä ovat esimerkiksi teollisuuden hukkalämmöt, jätevesi ja jäähdytyksen sivutuotteena syntyvä lämpö. (Energiateollisuus 2016, 23–24.)



Kuva 8. Suuren lämpöpumpun toimintaperiaate. (Turboden, 2021).

Tulevaisuuden kilpailuvaltti tulee energiayhtiöiden toiminnassa olemaan se, että tuotantorakennetta pystytään monipuolistamaan ja muuttuvan maailman tarpeisiin pystytään vastaamaan entistä paremmalla tavalla. Polttoaineiden ja sähkön

hinta tulee luultavasti heilahtelemaan tulevaisuudessa entistä enemmän, ja tähän pystytään valmistautumaan kaikista parhaiten tuotantorakenteen laajentamisella eri tahoille. Tällä tavoin saadaan suojattua yrityksen toimintaa markkinavaihteluiden riskeiltä ja mahdollistetaan uusien palveluiden, kuten yhdistetyn jäähdytyksen ja lämmöntuotannon lisääntymisen. (Energiateollisuus 2016, 23.)

Isojen lämpöpumppujen hyödyt osana kaukolämpöjärjestelmää ovat merkittäviä, mutta niiden käyttöön liittyy myös jonkinlaisia rajoitteita ja riskejä. Lämpöpumppujen optimaalinen hyödyntäminen vaatii sen, että lämpöpumput voidaan sijoittaa lähelle hyödynnettävää lämmönlähdettä. Tällä tavoin varmistetaan, että hyödynnettävästä lämmöstä ei aiheudu turhia lisäkustannuksia. (Energiateollisuus 2016, 24–25.)

Toinen rajoittava tekijä on sähköverkko ja sen riittävyys. Suurikokoinen lämpöpumppu vie varsinkin käynnistyessään todella suuren määrän sähköä, joten pumppua ei voi sijoittaa ihan joka puolelle sähköverkkoa. (Energiateollisuus 2016, 24–25.)

Kolmas rajoite suurten lämpöpumppujen hyödyntämiselle on tilanpuute, sillä lämpöpumppu vie kohtuullisen paljon tilaa toimiakseen. Harvaan asutuilla alueilla tämä ei yleensä ole niin suuri ongelma, mutta esimerkiksi isojen kaupunkien keskustoissa pumppuja on jouduttu sijoittamaan jopa maan alle. Tämä ongelma saattaa nostaa usein investointikustannuksia melko reilusti ja tästä syystä lämpöpumppu saattaa jäädä ottamatta käyttöön joillakin alueilla. (Energiateollisuus 2016, 24–25.)

Tällä hetkellä kaikista suurin haaste lämpöpumppujen hyödyntämisessä on kaukolämmön lämpötilavaatimukset. Nykyisen kaukolämpöverkon menoveden lämpötila vaihtelee n. 65–120°C välillä, riippuen vuodenajasta ja lämmöntarpeesta. Alkusyöksyllä ja loppukeväällä lämpötila ei ole ongelma, sillä lämpöpumpuista saadaan ulos noin 85–90°C -asteista vettä ilman sen suurempia lisäkäsittelyitä ja tämä riittää yleensä kattamaan tarvittavan lämpömäärän. Ongelma muodostuu erityisesti talvella, jolloin kaukolämmön menoveden lämpötilan on oltava 110–120°C. Näin korkeaa lämpötilaa on todella vaikea saada aikaiseksi ilman

todella suuria lisäinvestointeja, jos käytettävissä ei ole lämpöpumppulaitoksen yhteydessä olevaa lämpökattilaa. (Energiateollisuus 2016, 25–26.) Tulevaisuudessa lämpöpumpputeknologiat kuitenkin kehittyvät ja tämän seurauksena päästään jatkuvasti korkeampiin lämpötiloihin.

Yksi mahdollinen vaihtoehto olisi laskea kaukolämmön menoveden lämpötilaa, eli puhuttaisiin matalalämpöisestä kaukolämmöstä. Tämä on tulevaisuudessa varteen otettava vaihtoehto varsinkin uusissa ja erillään olevissa kaukolämpöverkoissa, joissa on mahdollista hyödyntää halpaa ylijäämälämpöä ympäri vuoden. Vanhempien kaukolämpöverkkojen kohdalla tämä ei ole kuitenkaan kannattava vaihtoehto, sillä verkkoa ei ole suunniteltu matalalämpöisen kaukolämmön vaatimalle vesimäärälle. (Energiateollisuus 2016.)

4.5 Kiinteistökohtaiset lämpöpumput kaukolämpöverkon yhteydessä

Pienillä lämpöpumpuilla tarkoitetaan yleensä kaukolämmön yhteydessä kiinteistökohtaisia lämpöpumppuja. Nämä ovat hyvä vaihtoehto silloin, jos kiinteistö on yhdistetty kaukolämpöverkkoon, mutta jostain syystä kohteeseen ei kannata alkaa vetämään esimerkiksi jäähdytykseen suunniteltua kaukokylmäverkkoa. Lämpöpumput tuottavat kiinteistöön tarvittavan jäähdytyksen joustavasti, ja samalla saadaan tuotettua uusiutuvaa kaukolämpöä kaukolämpöverkkoon.

Kiinteistökohtaiset lämpöpumput ovat erityisen hyödyllisiä kaukolämpöverkon yhteydessä olevissa kohteissa, joissa jäähdytyksen tarve on suurta. Hyvänä esimerkkinä ovat tehtaات tai muut suuret kiinteistöt. Lämpöpumpun avulla saadaan hoidettua kätevästi kiinteistön jäähdytys, ja samalla saadaan hyödynnettyä uusiutuvaa, muuten hukkaan menevää lämpöä takaisin kaukolämpöverkkoon. Kiinteistökohtaisten lämpöpumppujen avulla voidaan jäähdytyksen lisäksi tuottaa lämpöä kiinteistöön sekä lämmittää käyttövettä.

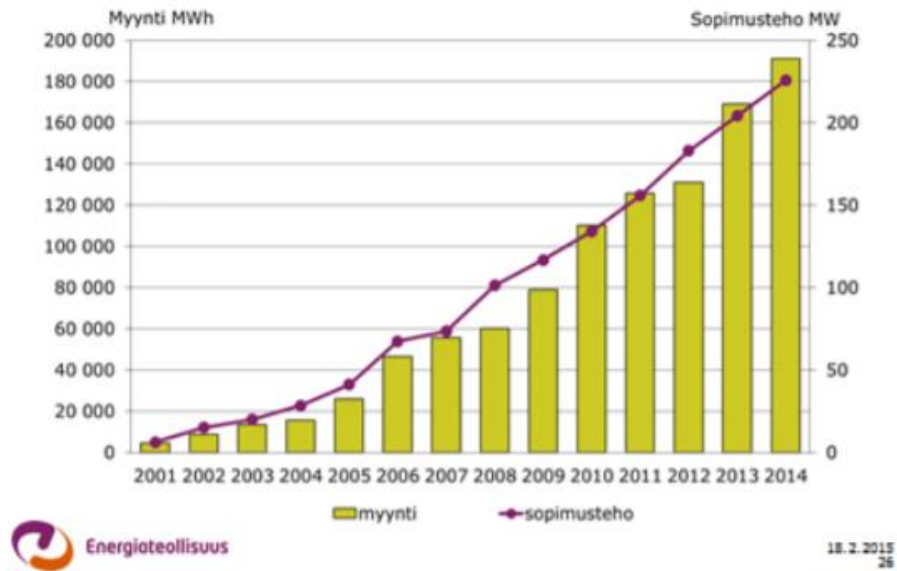
5 Kiinteistökohtainen jäähdytys kaukolämpökohteisiin

Suomessa, kuten kaikkialla muuallakin maailmassa jäähdytyksen tarve kasvaa koko ajan. Jokaisen kiinteistön ja alueen jäähdytyksen tarve on yksityiskohtaista ja tästä syystä erilaisia jäähdytysteknologioita otetaan käyttöön jatkuvasti. Tässä opinnäytetyössä käsitellään erityisesti kaukolämpökiinteistöihin suunniteltua kiinteistökohtaista CHC-ratkaisua.

5.1 Kiinteistöjen jäähdytyksen tarve Suomessa

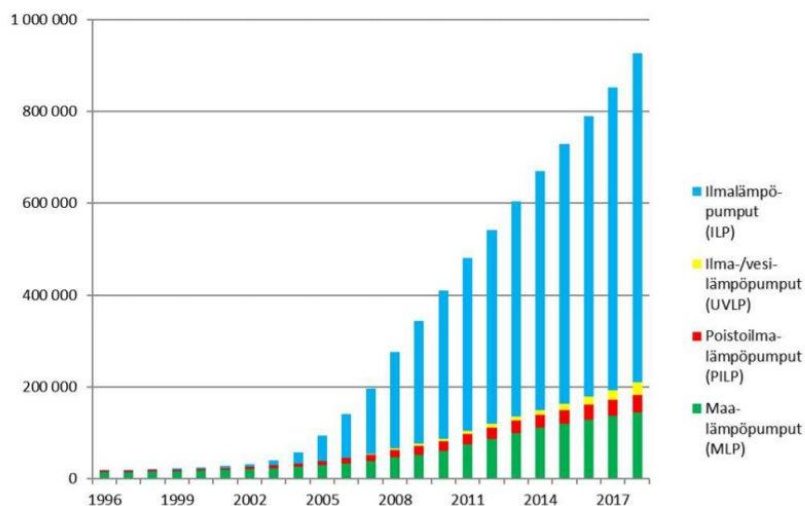
Kiinteistöjen sisäilmaan ja lämpötilaan kiinnitetään entistä enemmän huomiota, ja tästä syystä myös jäähdytyksen tarve on lisääntynyt huomattavasti myös Suomessa. Jäähdytystapoja säätelevät erilaiset vähennystavoitteet, jotka koskevat päästöjä ja energiankulutusta. Tulevaisuudessa tarkoituksena on kehittää ja ottaa käyttöön sellaisia jäähdytystapoja, joiden avulla saadaan jäähdytettyä kiinteistöt energiatehokkaasti ja ympäristönäkökohdat huomioon ottaen. (Airakainen. M. ym. 2015, 5.)

Hyviä vaihtoehtoja kiinteistöjen jäähdytykseen ovat uusiutuvaa energiaa hyödyntävät lämpöpumput ja kaukojäähdytys. Kaukojäähdytys on hyvä vaihtoehto isoilla ja tiheään asutuilla paikkakunnilla, joilla on taloudellisesti mahdollista rakentaa kaukojäähdytysjärjestelmä, potentiaalisten asiakkaiden määrän ollessa suuri. Alla olevassa Energiateollisuuden selvityksen yhteydessä laaditussa kuviossa 7 on esitetty kaukojäähdytyksen avulla myydyn jäähdytysenergian kehitys vuosina 2001–2014. Kaaviosta voi huomata jäähdytysenergian myynnin moninkertaistuneen 2000-luvun alusta alkaen.



Kuvio 7. Energiateollisuuden kaavio kaukojäähdytysenergian kehityksestä (Laitinen, A. yms. 2016).

Lämpöpumput ovat todella energiatehokas ja joustava tapa hoitaa kiinteistöjen jäähdytys. Lämpöpumppuja on olemassa todella monia erilaisia ja jokaiseen kiinteistöön löytyy varmasti sopiva laitteisto. Syrjemässä rakennusten jäähdytys voidaan hoitaa esimerkiksi pienen kokoluokan ilmalämpöpumpuilla tai maalämpöpumpulla. Alla olevassa kuviossa 8 on esitettyä pienemmän kokoluokan lämpöpumppumäärän kehitys vuosina 1996–2018.



Kuvio 8. Lämpöpumppujen määrän kehitys vuosina 1996–2018 (Lämpö Ykkösen 2021).

Suurempiin kiinteistöihin on tarjolla teollisen kokoluokan lämpöpumppuja, joiden avulla saadaan aikaiseksi mahdollisimman tehokas jäähdytys. Yhtenä hyvänä esimerkkinä on tässä opinnäytetyössä käsiteltävä CHC-tekniikka, jossa lämpöpumppu liitetään kaukolämpöverkon ja kiinteistön väliin. Lämpöpumpun avulla kohde saadaan jäähdytettyä haluttuun lämpötilaan, ja kohteesta saatava hukkalämpö saadaan pumpattua takaisin kaukolämpöverkkoon uusiutuvana lämpönä.

5.2 Kaukolämpökiinteistön jäähdytys CHC-tekniikalla

CHC (Combined heating and cooling) tarkoittaa yhdistettyä lämmityksen ja jäähdytyksen tuotantoa. Parhaassa tapauksessa asiakkaalle voidaan tuottaa molempia samaan aikaan riippuen liitännätavasta ja siitä, millainen lämmön- ja jäähdytyksen kulutusprofiili toimituskohteessa on. CHC-tekniikka perustuu teollisen kokoluokan lämpöpumppuihin, joiden avulla lämpöenergiaa siirretään haluttuun suuntaan. Laitteisto asennetaan yleensä jäähdytettävään kiinteistöön, osaksi kaukolämpöverkkoa, jotta kiinteistön jäähdyttämisestä syntyvää lämpöä saadaan pumpattua takaisin kaukolämpöverkkoon. Tällä tavoin laitteiston hyötysuhdetta ja jäähdytyksen energiatehokkuutta saadaan entisestään parannettua.

Jäähdytysprosessin oheistuotteena saatava lämpö on yleensä matalalämpöistä, ja tästä syystä sen hyödyntämismahdollisuudet ovat vielä hieman rajalliset sellaisenaan kaukolämmöntuotannossa. Lämpötilaa on kuitenkin mahdollista nostaa laitteiston yhteyteen kytkettyjen kompressorien avulla. Kompressori on lämpöpumppulaitteiston osa, joka puristaa höyrystyneen kylmäaineen pienempään tilaan. Pienemmässä tilassa olevan höyryn paine ja lämpötila nousee, ja tällä tavoin myös jäähdytyksestä syntyvää lämpöä saadaan hyödynnettyä kaukolämpönä.

Lisää oheistuotteena syntyvän lämmön hyödyntämismahdollisuuksia tarkastellaan erilaisten kytkentävaihtoehtojen myötä. Niitä tullaan käsittelemään tarkemmin myöhemmin tässä opinnäytetyössä.

5.3 Vaatimukset CHC-järjestelmän toimituskohteelta

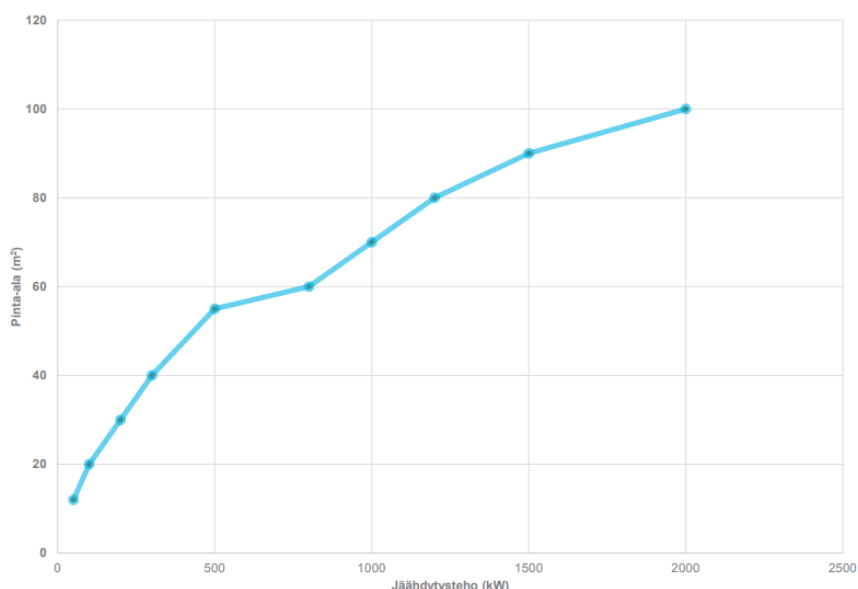
CHC-järjestelmän toimituskohteelle täytyy asettaa tietynlaiset vaatimukset, jotta tekniikka voidaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Tässä opinnäytetyössä otetaan huomioon kiinteistön iän, kaukolämpöliittymän, sähköistämisen ja teknisen sijoittelun asettamat vaatimukset

Kiinteistön ja käytettävissä olevien laitteistojen ikä on yksi merkittävimmistä rajoittavista tekijöistä. Vanhoissa kiinteistöissä jäähdytyksen tarve ei välttämättä ole niin suurta, sillä energiatehokkuus ei ole niin hyvää uusiin kiinteistöihin verrattuna. Lisäksi vanhojen kiinteistöjen tekniikka saattaa olla sen verran kehittymätöntä, ettei CHC-tekniikka ole mahdollista liittää osaksi lämmitys- ja jäähdytysverkostoa ilman mittavia investointeja ja saneerauksia. Jotta CHC-tekniikka voidaan hyödyntää, täytyy toimituskohteessa olla valmiina koneellinen ilmanvaihto ja jäähdytyksen jakojärjestelmä. Uusissa kiinteistöissä CHC-järjestelmän asettamat vaatimukset voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jolloin suuria lisäkustannuksia ei pitäisi syntyä. (Helen 2020, 5.)

Toinen rajoittava tekijä CHC-järjestelmän käytettävyydelle on kaukolämpöliittymä. Jokaisessa kiinteistössä pitää olla oma kaukolämpöliittymä, jotta kiinteistöstä saatava hukkalämpö saadaan helposti syötettyä takaisin kaukolämpöverkoon. (Helen 2020, 5.)

Lämpöpumpun koko ja kaukolämpöliittymä asettavat myös omat vaatimuksensa rakennukseen sijoitettavalle tekniselle tilalle. Tekninen tila tulee sijoittaa siten, että laitteisto saadaan yhdistettyä kaukolämpöverkon runkojohtoihin mahdollisimman vähillä lämpöhäviöillä. Tila täytyy lisäksi mitoittaa siten, että kylmätekniisten laitteiden asennus käy helposti ja tilaa on riittävästi laitteen käyttämistä, huoltoa ja kunnossapitoa varten. (Helen 2020, 5.)

Alla olevassa kuviossa 9 on esitetty lämpöpumpun tilantarve suhteessa sen tuottamaan jäähdytystehoon.



Kuvio 9. Lämpöpumpun tilantarve verrattuna jäähdytystehoon (Helen, Kiinteistöjäähdytyksen suunnitteluohje, 2021).

Laitteiston sähköntarve on lisäksi yksi merkittävimmistä rajoittavista tekijöistä CHC-tekniikan käyttöönottoa ajateltaessa. Jäähdytyslaitteisto tarvitsee kohteesta riippuen 400-690 V:n jännitteen pääkeskukselta toimiakseen oikein, joten ihan jokaiseen kohtaan sähköverkkoa ei sitä voida asentaa. (Helen 2020, 5.)

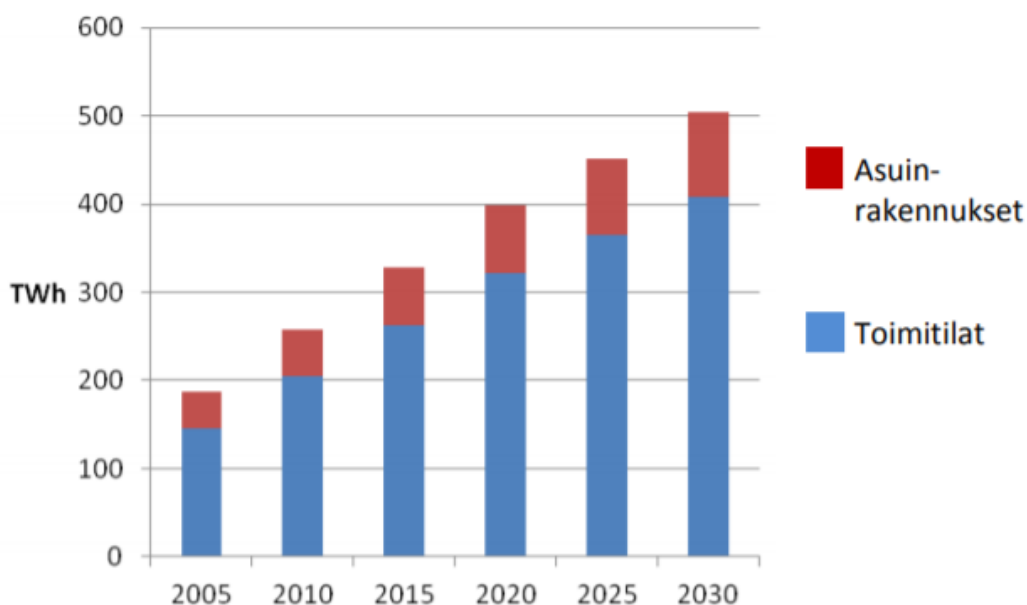
6 Kiinteistökohtainen jäähdytys osaksi Okun Energia Oy:n palvelutarjontaa

Okun Energia Oy:lla on halua ja potentiaalia suunnata palvelutarjontaansa entistä enemmän uusiutuvan energian suuntaan kaukolämpöliiketoiminnan saralla. Yrityksen nykytilanne on jo kohtalaisen hyvä, sillä lämpökeskuksella tuotettava kaukolämpö tuotetaan pääasiallisesti uusiutuvilla polttoaineilla. Lisäksi yritys haluaa ottaa tulevaisuudessa käyttöön myös uusia teknologioita ja täten laajentaa palvelutarjontaansa vastaamaan entistä paremmin asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin. Tästä hyvänä esimerkkinä on kiinteistökohtainen jäähdytys CHC-tekniikan avulla.

6.1 Kaukolämpökiinteistöjen jäähdytys liiketoimintana Suomessa

Kiinteistöjen jäähdytyksen tarve kasvaa koko ajan myös Suomessa, ja tästä syystä eri tahojen on pitänyt alkaa kehittää uusia ratkaisuja tämän tarpeen täyttämiseksi. Suoralla sähköllä on aiemmin ollut suosittua jäähdyttää kiinteistöjä, mutta tulevaisuudessa jäähdytyksentarpeen kasvaessa sähköverkon kapasiteetti ei riitä vastaamaan tarvittavaan jäähdytyksen määrään. Lisäksi sähkönhinta tulee saattaa heilahdella tulevaisuudessa siinä määrin, ettei sähköllä jäähdyttäminen ole enää taloudellisesti järkevä ratkaisu.

Tulevaisuudessa tullaan hyödyntämään entistä enemmän erilaisia teknologioita, joiden avulla saadaan tuotettua tarvittavaa jäähdytystä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään erityisesti kaukolämpökiinteistöjen jäähdytysratkaisuihin. Alla olevassa kuviossa 10 on esitetty jäähdytysmarkkinoiden kehitys vuosina 2005–2030.



Kuvio 10. Rakennusten jäähdytysmarkkinoiden kasvu EU27. (Airaksinen. M., ym. 2015).

Kaikkien kaukolämpökiinteistöjen jäähdytyksen tarve on hyvin erilaista ja tästä syystä myös jäähdytysratkaisuja täytyy löytyä laidasta laitaan, pientalokohteista

teollisuuden kiinteistöihin. Kiinteistöiden jäähdytykseen on tarjolla laitteistoja pienistä rakennuskohtaisista lämpöpumpuista lähtien isoihin teollisen kokoluokan lämpöpumppeihin ja kaupunkien yhteisiin jäähdytysjärjestelmiin, kuten kaukojäähdytykseen.

Pienkohteissa, jotka sijaitsevat kaukokylmäverkon ulottumattomissa, suosituin jäähdytysmuoto on ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumput ovat käteviä varsinkin pienemmissä kohteissa, joissa on tarvetta jäähdytykselle, sillä tämä jäähdytysmuoto on edullinen, ympäristöystävällinen ja energiatehokas tapa hoitaa jäähdytys.

Kaukojäähdytys, eli kaukokylmä tarkoittaa keskitettyä jäähdytyksen tuotantoa, jolloin kiinteistöjen jäähdytys voidaan hoitaa verkossa kiertävän kylmän veden avulla. Suomessa toimii tällä hetkellä noin kymmenen energiayhtiötä, joiden palvelutarjontaan kuuluu jäähdytysratkaisut kaukolämpökiinteistöihin. Vuoden 2017 tilaston mukaan kaukojäähdytysverkkoa on rakennu yhteensä vähän yli 144 km koko Suomen alueelle. Kaukojäähdytystä toimitetaan 550 asiakkaalle yhteensä 155 MW teholla. Kokonaisen kaukojäähdytysverkon rakentaminen on taloudellisesti todella suuri investointi ja tästä syystä sitä ei ole pystytty hyödyntämään kuin ihan muutamilla isoilla paikkakunnilla Suomessa. (Airaksinen. M., ym. 2015.)

Suomi on kokonaisuudessaan melko harvaan asuttua aluetta aivan suurimpia kaupunkeja lukuun ottamatta, joten kaukojäähdytyksen mahdollisuudet eivät ole niin laajat kuin esimerkiksi Ruotsissa (0,9 TWh/vuosi). Suomessa kaukolämpöverkkoa on kuitenkin rakennettu kohtalaisen paljon ja tästä syystä kaukolämpöverkon yhteyteen sijoitetut kiinteistökohtaiset ratkaisut ovat potentiaalisia vaihtoehtoja tarkastellessa erilaisia jäähdytysmuotoja. (Airaksinen. M., ym. 2015)

CHC-tekniikka asettuu investointikustannuksiltaan ja kokoluokaltaan pienikiinteistöjen jäähdytysratkaisuiden ja kaukokylmän välimaastoon. Tekniikkaa voidaan hyödyntää parhaiten kaukolämpökohteissa, jotka sijaitsevat kaukokylmäverkon ulottumattomissa, ja joissa jäähdytyksen tarve on suurta. Alla olevassa kuvassa (kuva 9) on esitetty Oilonin ChillHeat -tuoteperheeseen kuuluva, Helen

Oy:n omistama CHC-laitteisto, jonka avulla tuotetaan päivittäistavarakauppa Lidlin tarvitsema jäähdytys Helsingin Kalliossa.



Kuva 9. Helen Oy:n omistama (Oilonin lämpöpumppuratkaisu Helsingissä 2021).

Tämän tyyppinen jäähdytys on vielä kohtalaisen vähäistä Suomessa, mutta tulevaisuudessa uusiutuvien energialähteiden ja yhdistetyn lämmön- sekä jäähdytysentuotannon yleistyessä energia-alan liiketoiminnoissa, on CHC-tekniikka varmasti yksi järkevimmistä ja kannattavimmista ratkaisuista vastata jäähdytyksen kasvavaan kysyntään.

6.2 Konseptin peruseriaate

Konseptin peruseriaatteena on luoda Okun Energia Oy:lle toimiva ja selkeä palvelukokonaisuus, jota on helppo myydä jäähdytystä tarvitseville kaukolämpöasiakkaille. Palvelu päätetään tarjota asiakkaalle ”avaimet käteen” -periaatteella, eli käytännössä yhtiö hoitaa kaiken CHC-laitteiston toimituksesta huolto- toimenpiteisiin.

CHC-tekniikka on vielä kohtalaisen uutta Suomessa, ja tällä hetkellä ainoa teollisen kokoluokan lämpöpumppuja valmistava yritys on Oilon. Oilon on energia- ja ympäristöteknologian yritys, joka on perustettu vuonna 1961. Yhtiö on merkittävä toimija erityisesti lämpöpumppujen ja polttotekniikan saralla, sillä yrityksellä on toimintaa ympäri maailmaa, esimerkiksi Suomessa, Kiinassa ja Yhdysvalloissa.

Oilon valitaan tässä opinnäytetyössä järjestelmätoimittajaksi, sillä yrityksellä on jo aiempaa kokemusta vastaavista toimituksista eri energiayhtiöille. Oilonin lämpöpumpputekniikkaa on hyödynnetty kaukolämpökiinteistöjen jäähdytyksessä muutamien useiden eri energiayhtiöiden taholla ympäri Suomea, esimerkiksi Helenillä pääkaupunkiseudulla, Kuopion Energialla ja Lempäälän Lämmöllä.

6.3 Asiakasryhmät

CHC-tekniikka pääsee parhaiten oikeuksiinsa isomman kokoluokan kiinteistöissä, joissa on jatkuvaa tai suurta tarvetta jäähdytykselle. Käytännössä CHC-tekniikkaa voidaan hyödyntää erilaisissa yksityisissä ja julkisissa kiinteistöissä sekä teollisuuden kiinteistöissä.

6.3.1 Julkiset kiinteistöt

Julkisilla kiinteistöillä tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä esimerkiksi kouluja, liikuntahalleja, ruokakauppoja ja terveyskeskuksia. Tämän tyyppiset julkiset kiinteistöt ovat hyvä vaihtoehto jäähdytysjärjestelmän toimituskohteeksi, sillä niiden jäähdytyksen tarve on usein ympärivuotista. Esimerkkinä voidaan pitää elintarvikekauppoja, joiden sisälämpötilan pitää pysyä vuoden ympäri yhtä matalana. Käytännössä tällaisissa kiinteistöissä CHC-tekniikan avulla voidaan jäähdyttää esimerkiksi elintarvikkeiden kylmäsäilytystilat.

Outokummussa mahdollisia kiinteistökohtaisen jäähdytyksen kohteita julkisista rakennuksista voisivat olla esimerkiksi Outokummun terveyskeskus, Kummun koulu, urheilutalosta ja jäähallista muodostuva kahden kiinteistön kokonaisuus, sekä S-Market.

6.3.2 Yksityiset kiinteistöt

Yksityisistä kiinteistöistä parhaiten jäähdytysjärjestelmän toimituskohteeksi soveltuvat kaukolämpöverkkoon liitetyt, useamman huoneiston asuinkiinteistöt. Kiinteistön koko ja jäähdytysenergian tarve aiheuttavat jonkin verran rajoitteita toimituskohteelle, sillä ihan pieniin asuinkiinteistöihin CHC-tekniikka ei ole kaikista kannattavin vaihtoehto. Yksityisten kiinteistöjen tapauksessa kaikista parhaiten soveltuvat toimituskohteet ovat esimerkiksi taloyhtiöitä, joissa kaikkien asuntojen yhteinen jäähdytyksen tarve on kohtalaisen suurta.

Outokummussa on muutamia kaukolämmössä olevia taloyhtiöitä, joihin CHC-tekniikkaa voisi tarjota jäähdytysratkaisuna. Ongelmaksi tulee kuitenkin mahdollisesti kiinteistöjen ikä, vanhat liitännät sekä kehittymättömät jäähdytyksen- ja lämmönjakojärjestelmät. Käytännössä monissa kohteissa pitäisi tehdä laajoja uudelleen saneerauksia, jotta CHC-tekniikkaa saataisiin hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla.

6.3.3 Teollisuuden kiinteistöt

Kolmantena tarkasteltavana kiinteistötyyppinä ovat teollisuuden kiinteistöt. Teollisuuden kiinteistöillä voidaan tarkoittaa aika lailla kaikkia kiinteistöjä aina elintarviketeollisuudesta metalliteollisuuteen saakka. Yhdistävä tekijä näillä kaikilla kuitenkin on usein se, että jäähdytyksen tarve on suurta ja ympärivuotista. Tästä syystä teollisuuden kiinteistöt ovat yksi parhaista vaihtoehdoista CHC-järjestelmän toimituskohteeksi.

Outokummun tilanne teollisuuden kiinteistöjen osalta on todella hyvä. Outokummun teollisuuskylä sijaitsee kaukolämpöverkon alueella ja siellä on monia po-

tentiaalisia yrityksiä, joille kiinteistökohtainen jäähdytys olisi todella hyvä ja tarpeellinen vaihtoehto. Teollisuuskylän kiinteistöistä potentiaalisimmat ovat Outotec Turula Oy:n kiinteistöt sekä HKScanin tuotantolaitos.

6.4 Kustannukset ja hinnoittelu

Monien energiantuotantojärjestelmien kustannukset jaetaan usein investointikustannuksiin ja tuotantokustannuksiin. Tässä opinnäytetyössä investoinnista ja tuotannosta aiheutuvat kustannukset tullaan erittelemään laajemmin kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin, mutta tarkkoja lukuarvoja opinnäytetyössä ei tulla käsittelemään julkisesti. Kustannusten erittelyn perusteella yritykselle saadaan luotua suuntaa antava palveluesimerkki, jonka tietoja on helppo hyödyntää ja tarkentaa myös tulevaisuudessa vastaavanlaisissa tilanteissa.

6.4.1 Kiinteät kustannukset

Palveluesimerkin ja hinnoittelun luominen aloitetaan määrittämällä palvelulle sopimuskausi. Sopimuskauden perusteella saadaan jaettua syntyvät kustannukset kuukausikohtaisesti kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Tämän opinnäytetyön tapauksessa kiinteisiin kustannuksiin luetaan investoinnista, ylläpidosta ja huollosta aiheutuvat kustannukset.

Kiinteät kustannukset määräytyvät asiakaskohtaisesti laitevalmistajan tekemän tarjouksen sekä Okun Energia Oy:n määrittämien kustannusten perusteella. Kiinteitä kustannuksia ei tulla kuitenkaan käsittelemään tässä työssä julkisesti.

6.4.2 Muuttuvat kustannukset

Muuttuviin kustannuksiin tämän opinnäytetyön tapauksessa lasketaan lämmityksen ja jäähdytyksen tuotannosta, sähkökäytöstä sekä sähköverosta aiheutuvat kustannukset. Laskutuksessa muuttuvista kustannuksista käytetään termiä jäähdytysenergiamaksu, ja sen suuruuteen vaikuttavat esimerkiksi valitseva

markkinasähkön hinta ja laitteiston kytkentätapa kaukolämpöverkon yhteyteen. Kytchentätapa on otettava huomioon muuttuvien kustannusten yhteydessä, sillä se vaikuttaa siihen, miten paljon hyötyä CHC-järjestelmällä saadaan tuotettua kaukolämpöverkkoon.

Lämpöpumppu käyttää melko paljon sähköä toimiakseen optimaalisella tavalla. Tästä syystä sähkön käytöstä ja sähköverosta aiheutuvat kustannukset ovat melko suuri osa muuttuvista kustannuksista. Tämän opinnäytetyön tapauksessa CHC-järjestelmän käytöstä aiheutuvat sähkökustannukset tullaan jakamaan kuukausittain laskutettava jäähdytysenergimaksun yhteyteen. Sähkön osuus tästä energimaksusta määräytyy laskutusjakson sähkönkulutuksen ja sähkön markkinahinnan perusteella.

Sähkön hinnan lisäksi kulutetusta sähköenergiasta täytyy maksaa sähkövero, joka koostuu energiaverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Sähkövero on jaettu kahteen eri veroluokkaan, eli veroluokkaan I ja veroluokkaan II. Veroluokkaan I kuuluvat selkeästi kaikki kotitaloudet, julkinen sektori, ja palvelutoimijat. Maatalouden toimijat kuuluvat myös pääsääntöisesti tähän ensimmäiseen veroluokkaan, mutta veronpalautusten avulla heidän sähköverotukseensa annetaan vähennyksiä. (Valtiovarainministeriö 2021.)

Veroluokkaan II kuuluvat kaikki teollisuuden ja kaivosalan toimijat, ammattimainen kasvihuoneviljely sekä yli 5 MW konesalit.

6.5 Markkinointi

CHC-järjestelmän markkinoinnissa on otettava huomioon se, että kyseinen jäähdytystekniikka on vielä kohtalaisen uusi ja tuntematon Suomessa. Tästä syystä palvelun markkinointia aloittaessa kannattaa kiinnittää erityisesti huomiota CHC-järjestelmän yksityiskohtaiseen esittelyyn ja hyvien puolien esille asettamiseen kilpaileviin tuotteisiin ja palveluihin verrattuna.

Palvelua tarjotessa ja markkinoidessa täytyy lisäksi ottaa huomioon jokaisen kohteen tarpeet ja vaatimukset jäähdytysjärjestelmän suhteen. Jokaisen potentiaalisen asiakkaan ja kohteen kohdalla markkinointia voi painottaa erityisesti

siihen, että tarjolla on huoleton ja energiatehokas palvelukokonaisuus kaukolämpöverkon yhteydessä oleviin kiinteistöihin.

7 Kiinteistökohtainen jäähdytysjärjestelmä esimerkkikohteeseen

CHC-tekniikan yleisen tarkastelun lisäksi opinnäytetyöhön haetaan näkökulmaa esimerkkikohteen avulla Outokummussa. Esimerkkikohteena toimii Outokumpuun suunnitteilla oleva uusi terveyskeskus, jonka rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuoden 2022 aikana. Tämä kohde valikoitui tarkasteltavaksi kohteeksi Outokummun kaupungin edustajan Jarkko Karvosen ja opinnäytetyön toimeksiantajan kanssa käytyjen keskusteluiden perusteella.

Mitoituksia ja laitevalintoja varten tarvittavat tiedot saatiin Outokummun kaupungin edustajan ja Siun Soten kiinteistöpäällikkö Otto Heikkisen avustuksella.

7.1 Esimerkkikohteen perustiedot

Tarkasteltava kohde on kaksikerroksinen ja pinta-alaltaan yhteensä noin 2 500 m². Kyseisen kohteen jäähdytyksen tarve painottuu pääasiallisesti kesäaikaan, joten laitteiston mitoitus ja esimerkkikytkennät tullaan suunnittelemaan näiden tietojen perusteella.

Tarkkoja tietoja kohteen todellisista lämmön- ja jäähdytyksen kulutuksista sekä tehontarpeista ei ole vielä saatavilla kohteen ollessa vielä suunnitteluasteella. Tässä opinnäytetyössä tehdään oletus, että esimerkkikohde on identtinen Kontiolahdella jo rakenteilla olevan terveyskeskuskokonaisuuden kanssa. Kyseisestä kohteesta saatavien mittaustietojen perusteella saadaan tehtyä karkeat mitoitukset ja laitevalinnat kohteelle.

Kohteen jäähdytysenergiantarpeen arvioidaan olevan noin 80 MWh/a ja jäähdytyksen huipputehon 97 kW. Lisäksi tarvittavan lämmitysenergian määrän oletetaan olevan noin 290 MWh/a ja lämmityksen huipputehon 200 kW. (Heikkinen. O. & Karvonen. J. 2021.) Lisäksi kohteen lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energian määrä on 68 MWh/a lämpimän käyttöveden kulutusten oletusarvojen perusteella (Motiva 2019) ja keskitehontarve on 8 kW.

CHC-laitteisto suunnitellaan sijoitettavaksi kohteen ullakolla sijaitsevaan tekniseen tilaan, jonka pinta-ala olisi vähintään 20 m². Laitteiston vaatima pinta-ala määräytyy sen mukaan, mikä on laitteiston tuottaman jäähdytysenergian määrä. Tässä tapauksessa tilantarpeen arvioinnissa käytetään laitevalmistajan antamia tietoja teknisen tilan koosta.

Kiinteistön jäähdytysentarve painottuu pääasiallisesti kesäaikaan, joten jäähdytyksen mitoituslämpötiloina käytetään kaukolämpöverkoston meno- ja paluulämpötilojen keskiarvoja kesä-elokuulta. Kaukolämpöverkostossa kiertävän paluuveden lämpötila on +55 °C ja menoveden lämpötila on +75 °C.

Jäähdytyspiirissä kiertävän veden menolämpötilaksi määritetään +10 °C ja paluulämpötilaksi +15 °C.

7.2 Järjestelmän mitoitus

Tässä opinnäytetyössä laitteiston osalta tehdään vain karkeat mitoitukset esimerkkikohteesta saatavien tietojen perusteella. Mitoituksessa käytetään Oilon Oy:n kehittämää Oilon Selection Tool -valintaohjelmaa, jonka avulla saadaan valittua oikeanlaiset laitteistot esimerkkikohteeseen. Lisäksi tehdyt mitoitukset ja laitevalinnat arvioidaan Oilonin edustajan toimesta. Ohjelman avulla tehtävään mitoitukseen tarvitaan seuraavat tiedot:

- Jäähdytysenergian tarve, MWh/a
- Lämmityksen energiantarve, MWh/a
- Jäähdytyksen huipputeho, kW
- Lämmityksen huipputeho, kW

- Kaukolämpöverkoston lämpötilat meno- ja paluuedessä, °C
- Jäähdytyksen jakoverkoston lämpötilat meno- ja paluuedessä, °C

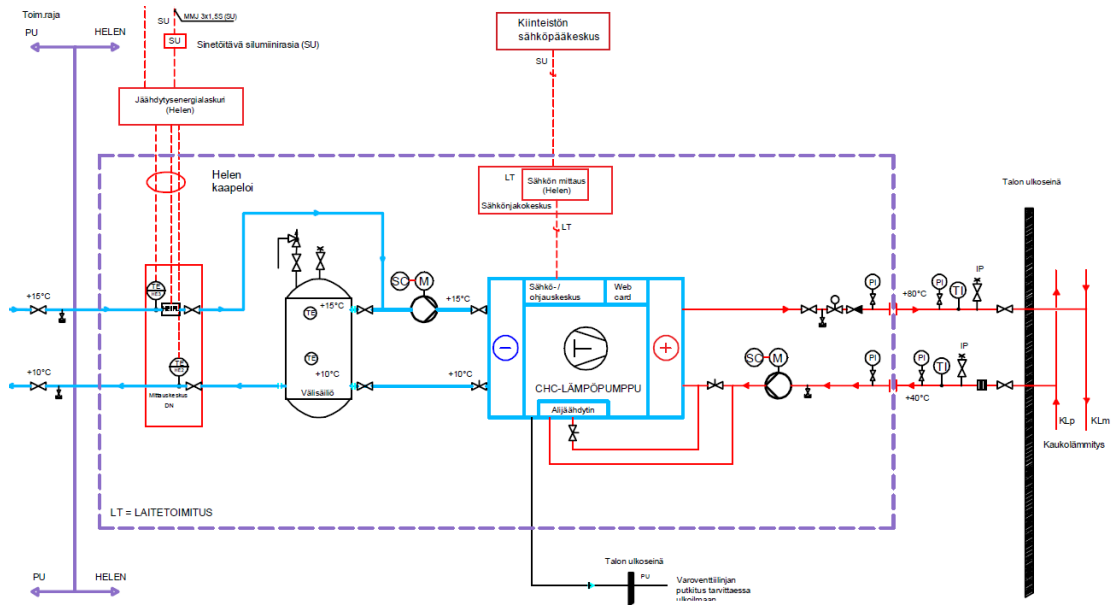
Saatujen tietojen ja mitoitusperusteella kohteen jäähdytys olisi mahdollista toteuttaa yhdellä Oilon P100 -lämpöpumpulla. Kyseinen laitteisto pitää sisällään kaksi mäntäkompressoria, lämmönvaihtimia sekä kaksi VFD -tajuusmuuttajaa, joiden avulla laitteiston tehoa saadaan säädettyä portaattomasti. Kylmäaineena käytettiin R513A -kylmäainetta ja sen avulla voidaan saavuttaa jopa 80 °C:n lämpötiloja. (Oilon Selection Tool 2021; Alpua 2021.)

Valittu P100-lämpöpumppu kuuluu Oilonin ChillHeat -tuoteperheeseen, ja sen pääajatuksena on saada tuotettua toimituskohteeseen jäähdytystä ja lämpöä yhdellä laitteistolla. Lämpöä ja jäähdytystä voidaan tuottaa joko yhdessä tai erikseen, riippuen toimituskohteen asettamista vaatimuksista. (Oilon 2021.)

7.3 Kytkevävaihtoehto 1

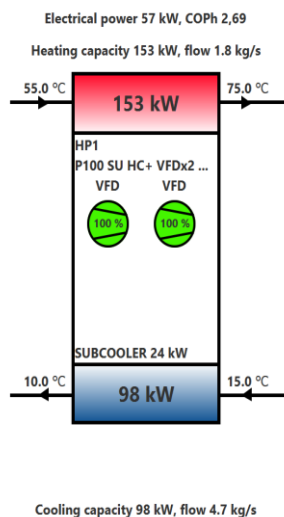
Yleisin CHC-tekniikan kytkentätapa on liittää lämpöpumppulaitteisto kaukolämpöverkon ja kiinteistön oman jäähdytysjärjestelmän väliin. Suomessa suurin osa jäähdytettävistä kiinteistöistä on sellaisia, että jäähdytyksen tarve on suurinta kesäaikaan. Jotta laitteistoista saataisiin mahdollisimman paljon irti, kannattaa kytkentä tehdä siten, että kohteesta saatava lämpö saadaan syötettyä takaisin kaukolämpöverkkoon ympäri vuoden. Jokaisen kohteen kohdalla täytyy kuitenkin tarkastella tilannetta erikseen ja päätökset kytkentävaihtoehdoista tehdään asiakkaan ja energiayhtiön tarpeiden mukaisesti.

Alla esitetyssä kuviossa 11 on yksi esimerkki kytkentämahdollisuudesta. Kytkentäkaavio on rajattu Helenin laatimasta esimerkkykytkentäkaaviosta, ja siinä on otettu huomioon vain jäähdytyksen toimittaminen kohteen rajapintaan ja lämmön takaisin ottaminen kaukolämpöverkkoon. Tässä kytkentävaihtoehdossa otetaan huomioon ainoastaan jäähdytyksen tuottaminen kiinteistöön kaukolämpöpaluueden avulla. Jäähdytysprosessissa sivutuotteena syntyvää lämpöä voidaan kuitenkin hyödyntää jossain määrin kaukolämmön tuotannossa.



Kuvio 11. Esimerkki lämpöpumpun kytkentämahdollisuudesta asuin- liike ja toimistorakennuksiin (Helen 2020).

Aiemmin esitettyjen alkutietojen perusteella saadaan P100 -lämpöpumpulla tuotetuksi jäähdytystehoksi 98 kW, lämmitystehoksi 153 kW ja sähkötehoksi 57 kW. Tällöin jäähdytyksen COP-arvo on 1,72 ja lämmityksen 2,69. (Oilon Selection Tool 2021.) Alla olevassa kuviossa 12 havainnollistettu samat tiedot kaaviomuodossa.



Kuvio 12. P100-lämpöpumppu kaaviona jäähdytyskauden lämpötilatasoilla ja tehoilla (Oilon Selection Tool 2021).

Laskentojen perusteella lämpöpumpun avulla tuotetaan jäähdytyskauden aikana noin 81 MWh jäähdytysenergiaa ja 130 MWh lämmitysenergiaa. Tämän tyyppisellä kytkennällä saadaan maksimaaliset hyödyt erityisesti jäähdytyksen saralla, mutta lämmitysenergian hyödyntämisessä saattaa aiheutua jonkin verran haasteita.

Jäähdytyksen painottuessa kesäaikaan, laitteiston käyttöaika jää kohtalaisen lyhyeksi ja oheistuotteena saatavaa lämpöä ei voida hyödyntää kovin suurissa määrin kaukolämmön tuotannossa ilman erikseen rakennettavaa lämpösäiliötä. Kesäaikaan kiinteistöjen lämmöntarve on pääsääntöisesti pelkkään käyttöveden lämmittämiseen liittyvää, joten kauhean suurta hyötyä tämän pelkän hukkalämmön talteen ottamisesta ei saada.

7.4 Kytkentävaihtoehto 2

Toinen kytkentävaihtoehto on suunniteltu siten, että kesäaikaan painottuvan jäähdytyksen lisäksi lämpöpumppua saataisiin hyödynnettyä kaukolämmön tuotannossa kaukolämpöverkoston paluuvettä hyödyntämällä. Lämpöpumpun toiminta-aikaa on saatu laajennettua ympärivuotiseksi lisäämällä järjestelmän yhteyteen yksi lämmönvaihdin, joka toimii tässä tapauksessa niin sanottuna

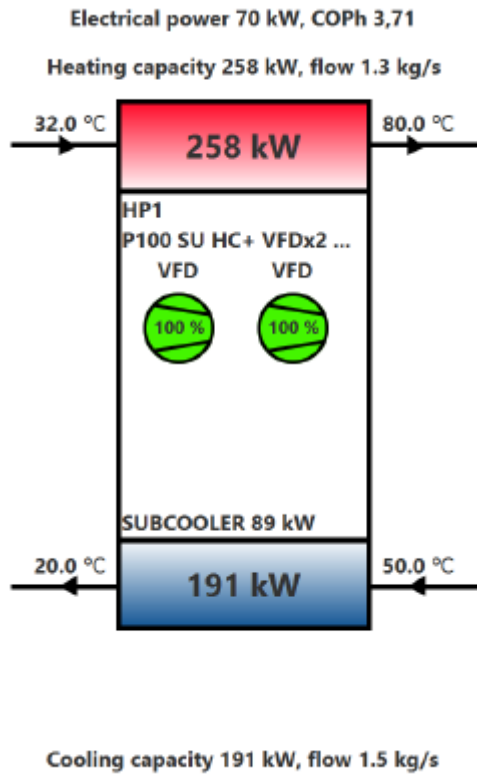
verkkobuusterina. Verkkobuusteri ottaa lämpöenergiaa kaukolämmön paluuputkesta ja siirtää sen kaukolämmön menoputkeen. (Alpua 2021.)

Tämän kytkentävaihtoehdon tapauksessa lämpöpumpun voidaan käyttää samaa P100 -lämpöpumpun, sillä jäähdytyskauden lämpötilat pysyvät samana, riippumatta kytkentäteknikasta.

Lämmityskaudella laitteiston toimintaa voidaan muokata niin, että kiinteistön jäähdytyspiiri suljetaan jäähdytyskauden loputtua ja lämpöpumpun jäähdyttämä vesi ohjataan lämmönvaihtimen kautta takaisin kaukolämmön paluuputkeen. Prosessin yhteydessä syntynyt lämpö ohjataan lauhduttimen kautta kaukolämmön menopuolelle ja tällä tavoin kaukolämmön meno- ja paluueden lämpötilaero saadaan suurennettua sekä parannettua kaukolämmön hyötysuhdetta. Laitteistoa on myös mahdollista ajaa osateholla, jos toimituskohteessa esiintyy jäähdytystarvetta myös kesäkauden ulkopuolella.

Lämmityskauden lämpötiloina käytetään tämän kytkentävaihtoehdon mitoituksessa marras-maaliskuun välisten lämpötilojen keskiarvoja. Kaukolämpöverkostossa kiertävän paluueden lämpötila on tällöin +32 °C ja menoveden lämpötila on +80 °C laitteiston asettamien rajoitteiden mukaan. Jäähdytyspiirissä kiertävän veden menolämpötilaksi määritetään +20 °C ja paluulämpötilaksi +50 °C (kuva 10).

Näiden lähtöarvojen perusteella lämpöpumpun jäähdytysteho on 191 kW ja lämmitysteho 258 kW. Sähkötehon ollessa 70 kW saadaan jäähdytyksen COP-arvoksi 2,74 ja lämmityksen 3,71. Tällöin lämpöpumpulla saadaan tuotettua vuositasolla noin 374 MWh lämpöä kaukolämpöverkkoon. Alla olevassa kuviossa 13 on esitetty samat tiedot kaaviomuodossa.



Kuvio 13. Lämmityskauden lämpötilat ja tehot toisen kytkentävaihtoehdon tapauksessa. (Oilon Selection Tool 2021).

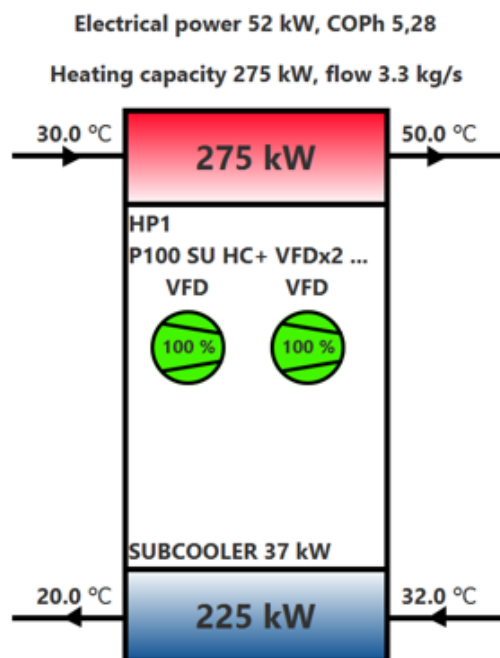
7.5 Kytkentävaihtoehto 3

Kolmas kytkentävaihtoehto on suunniteltu siten, että jäähdytyksen lisäksi laitteiston avulla voidaan ottaa energiaa kaukolämmön paluuputkesta ja siirtää sen suoraan kiinteistön omaan lämmitysjärjestelmään. Laitteiston käyttöönotto vaatii kiinteistön lämmitysjärjestelmältä tietynlaista lämmityksenjakojärjestelmää ja se täytyy ottaa huomioon laitteiston suunnittelussa.

Jäähdytyskaudella jäähdytyksen sivutuotteena syntyneellä lämmöllä voidaan ensin lämmittää kiinteistön käyttövesi. Käyttöveden lämmityksestä jäähtynyt kaukolämpövesi lauhdutetaan ja pumpataan takaisin kaukolämmön paluuputkeen. Hyödyntämätön hukkalämpö lämmitetään sopivaan lämpötilaan ja pumpataan takaisin kaukolämpöverkon menopuolelle.

Lämmityskaudella kaukolämmön paluuputkesta pumpattava lämpöenergia voidaan hyödyntää kiinteistön ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Jos lämpöpumpua halutaan käyttää erityisesti matalalämpöisen lämmityksen tuotantoon kiinteistössä, kannattaa lämpöpumpun lämpötilat säätää kaukolämmön paluuveden avulla sopiviksi.

Tämän kohteen tapauksessa kiinteistössä kiertävän veden menolämpötilaksi määritetään +20 °C ja paluulämpötilaksi +32 °C. Lämpöpumpulle menevän veden lämpötila pidetään kaukolämmön paluuputken lämpötilan tasolla +30 °C ja lähtevän veden lämpötila on +50 °C. Näillä lämpötilatasoilla jäähdytystehoksi saadaan 225 kW ja lämmitystehoksi 275 kW, sähkötehon ollessa 52 kW. Tällöin lämmityksen COP-arvo nousee 5,28 ja jäähdytyksen 4,31, kuten kuviossa 14 on esitetty.



Kuvio 14. Lämmityskauden lämpötilat ja tehot kolmannen kytkentävaihtoehdon tapauksessa (Oilon Selection Tool 2021).

Lämmityskaudella kannattaa kiinnittää erityisesti huomiota lämmityksen COP-arvoon, joka on melko hyvä tämän kytkentävaihtoehdon tapauksessa. Valitulla

lämpöpumpulla saadaan tuotettua lähes kaikki kyseisen kohteen lämmitysenergiatarpeesta silloinkin, kun lämpimän käyttöveden osuus otetaan huomioon kohteen lämmitysenergian tarpeessa.

8 Johtopäätökset

8.1 Esimerkkikohteen sopivuus CHC-järjestelmän toimituskohteeksi

Tehtyjen mitoitusten ja saatujen tulosten perusteella voidaan huomata, että esimerkkikohteen toimivan Outokummun uuden terveyskeskuksen jäähdytys olisi mahdollista tuottaa CHC-järjestelmällä.

Esimerkkikohteen ollessa uudiskohde, olisi sen suunnittelussa kohtalaisen helppo ottaa huomioon CHC-järjestelmän asettamat vaatimukset. Suunnitteluvaiheessa voidaan kiinnittää esimerkiksi huomiota oikeanlaiseen jäähdytyksen jakojärjestelmään, koneellisen ilmanvaihdon riittävyyteen ja jäähdytyslaitteiston järkevään sijoittamiseen kiinteistössä. Tällä tavoin saadaan varmistettua järjestelmän mahdollisimman hyvä toimintaympäristö alusta alkaen, ilman kalliita saneerauksia ja investointeja. Tämän lisäksi investointikustannuksia pienentää se, että kohteessa on jo valmiina hyödynnettävissä oleva kaukolämpöliittymä.

Tarkasteltava kohde täyttää CHC-järjestelmän tekniset vaatimukset, mutta haasteita asettaa pelkästään kesäaikaan painottuva jäähdytyksentarve. Tällöin jäähdytyksen huipputehontarve on kohtalaisen suuri verrattuna koko vuodelle jakautuvaan jäähdytysenergian määrään verrattuna. Lisäksi laitteiston käyttöajan jäädessä lyhyeksi, nousevat laitteiston käyttökustannukset kohtalaisen korkeiksi vuositasolla. Tästä syystä ensimmäinen, pelkkään jäähdytykseen painottuva kytkentävaihtoehto ei olisi kaikista optimaalisin vaihtoehto kummankaan sopimuksen osapuolen, eli Okun Energia Oy:n ja asiakkaan kannalta.

Toisen vaihtoehdon tapauksessa laitteiston kytkeminen kaukolämpöverkkoon tapahtuu samalla tavalla kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. Laitteiston yhteyteen asennetun lisälämmönvaihtimen avulla saadaan kuitenkin pidennettyä laitteiston vuotuista käyttöaika ja tällä tavalla valitun laitteiston potentiaalia saadaan hyödynnettyä mahdollisimman paljon.

Asiakkaan näkökulmasta tämä toinen vaihtoehto ei eroa ensimmäisestä vaihtoehdosta juurikaan käytettävyydeltään. Myöskään asiakkaalle aiheutuvissa investointi- ja käyttökustannuksissa ei ole kauhean suurta eroa, mutta energiayhtiön saamat hyödyt voivat olla merkittäviä. Tulevaisuudessa kaukolämmön tuotanto tulee muuttumaan erilaisten päästö- ja ilmastoasioiden, sekä polttoaineiden hintojen heilahteluiden takia. Tästä syystä järjestelmiä pyritään kehittämään jatkuvasti siihen suuntaan, että hukkalämpöjä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman laajasti. Tämän tavoitteen kannalta toinen kytkentätapa on varteenotettava vaihtoehto.

Kolmas kytkentävaihtoehto vaatii hieman enemmän teknisten näkökohtien huomioon ottamista, mutta uudiskohteessa nämä seikat olisi helppo huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Laitteistolle olisi tällöin helppo mitoittaa sopivat tilat kiinteistössä sekä lämmityksen- ja jäähdytyksen jakojärjestelmät voidaan valita yhteensopiviksi kolmannen CHC-laitteiston kytkentävaihtoehdon kanssa. Tämän vaihtoehdon avulla kiinteistön hukkalämpöä voidaan hyödyntää huomattavasti joustavammin kuin kahden aiemman kytkentävaihtoehdon tapauksessa ja erityisesti asiakas saisi hyödynnettyä laitteistoa myös oman kiinteistönsä lämmittämiseen.

8.2 Taloudellinen tarkastelu

Tehtyjen laskelmien ja tarkastelujen perusteella pelkkään jäähdytyksen, eli ensimmäisen kytkentävaihtoehdon tapauksessa lähes kaikki investointiin liittyvät kustannukset täytyisi asettaa jäähdytykselle. Prosessissa syntyvää hukkalämpöä ei kesäaikaan voida juurikaan hyödyntää kaukolämmöntuotannossa ja tästä syystä investoinnin takaisinmaksua ei voida laskea hukkalämmöstä saadun hyödyn varaan. Esimerkkikohteen tapauksessa kulutetun jäähdytysenergian määrä vuodessa ei ole kauhean suuri, joten se aiheuttaa kohtalaisen paljon haasteita jäähdytysenergian hinnan, laitteiston investoinnin ja järkevän takaisinmaksuajan suhteen.

Toisen kytkentävaihtoehdon tapauksessa kustannuksia aiheutuu lisälaitteiston investoinnista, ostettavasta jäähdytysenergiasta sekä käytetystä sähköstä. Jos lämpöpumpun käytöstä saadaan hyötyä kaukolämmön paluuputken veden jäähdyttämiseen, täytyy paluuveden lämpötilan alenema huomioida myös lämmitysenergian hinnassa. Pöyryn vuonna 2010 laatiman selvityksen mukaan paluuvettä hyödyntävissä kytkennöissä käytettävä lämpöenergia on 11,80 €/MWh halvempaa kuin pelkällä metsähakkeella tuotettu lämpöenergia. Tällöin lämmitysenergian hintatasoksi voidaan määrittää 10,70 €/MWh.

Jos investointikustannukset lasketaan kuuluvaksi pelkästään jäähdytyskustannusten yhteyteen, tulee lämpöpumpulla tuotetun lämmön hinnaksi noin 37,90 €/MWh toisen kytkentävaihtoehdon tapauksessa. Lämmitysenergian hinnassa on otettu huomioon lämpöpumpun tuottama hyöty kaukolämpöverkkoon (liite 7) sekä prosessin sähkönkulutuksen kustannukset sähkönsiirron- ja myynnin osalta (liite 4). Metsähakkeen tämänhetkinen hintataso on vielä kohtalaisen matalalla hinnan ollessa 22,50 €/MWh (Tilastokeskus 2021) ja tämä asettaa omat vaatimuksensa muiden lämmitysmuotojen kannattavuudelle.

Kolmannen vaihtoehdon tapauksessa lämmön kustannukset ovat noin 29,70 €/MWh, kun otetaan huomioon sekä kaukolämmön paluuveden (liite 7) että sähkön keskihinta tarkastelujaksolla kesäkuu 2020-toukokuu 2021 (liite 4). Tästä voidaan huomata, että investointikustannuksia ei voida jakaa minkään kytkentävaihtoehdon tapauksessa juurikaan lämmitykselle, jos hinnan halutaan pysyvän kilpailukykyisellä tasolla metsähakkeen nykyiseen hintaan verrattuna.

Laskelmien perusteella voidaan päätellä, että suurin osa laitteiston investointikustannuksista täytyy kattaa liittymismaksulla, lämmön ja jäähdytyksen perusmaksuilla sekä kulutuksen mukaan vaihtelevilla energiamaksuilla. Jotta energia-yhtiön osuus laitteiston investoinnista jäisi mahdollisimman pieneksi, kannattaa laitteiston investointikustannuksista kattaa osa jo laitteiston hankintavaiheessa. Tähän hyvänä vaihtoehtona ovat laitteiston jäähdytys- ja lämmitystehoon perustuvat liittymismaksut. Loppuinvestointi voidaan jakaa kuukausittain maksettavien perusmaksujen ja käytetyn energianyhteyteen niin, että maksut olisivat kuitenkin siedettävällä tasolla.

9 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin syventämään tietoutta CHC-tekniikasta ja sen hyödyntämismahdollisuuksista Okun Energia Oy:n kaukolämmön toiminta-alueella. Lisäksi lisäarvoa työlle saatiin energiayhtiön ja potentiaalisen jäähdytysasiakkaan kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta, sekä laitevalmistaja Oionilta ja energiayhtiö Heleniltä saatujen tietojen ja kokemusten perusteella.

Työn pohjalta opiskelijalle ja energiayhtiölle muodostui käsitys siitä, mitä palvelun toteutus vaatii ja minkä tyyppisille asiakkaille palvelua kannattaa ylipäättään tarjota. Hinnoittelua ja kustannuksia tarkasteltiin opinnäytetyöprosessin yhteydessä, mutta tarkkoja hintatietoja ei käsitelty tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyötä varten tehtyjen mitoitusten ja tutkimusten perusteella CHC-tekniikasta voidaan todeta, että se on pelkkänä jäähdytysratkaisuna todella hyvä vaihtoehto kohteisiin, joissa on ympärivuotista jäähdytyksen tarvetta. Kiinteistöissä, joissa jäähdytyksen tarve painottuu kesäaikaan, pelkkään jäähdytykseen tarkoitettu lämpöpumppukytkentä ei ole sellaisenaan kannattavin vaihtoehto. Hetkellisesti korkeasta jäähdytystehontarpeesta ja vähäisestä jäähdytysenergianmäärästä johtuen, nousevat investointikustannukset kohtuuttoman korkeiksi myytyyn jäähdytysenergian määrään verrattuna. Tällöin pelkkään jäähdytykseen keskittyvä investointi ei ole kannattava kummankaan osapuolen, eli energiayhtiön tai asiakkaan näkökulmasta.

CHC-tekniikan monien eri kytkentämahdollisuuksien takia laitteistoa saadaan muokattua ja sovellettua laajasti monenlaisten kiinteistöjen tarpeisiin. Asiakkaan ja laitetoimittajan kanssa voidaan pohtia yhdessä, millainen laitteisto palvelisi asiakkaan tarpeita parhaiten ja tämän myötä saadaan muodostettua yksilöity palvelukokonaisuus. Jokaisen asiakkaan kohdalla tarjous investointikustannuksista pitää laskea yksilökohtaisesti laitevalmistajan tarjouslaskelmien ja energia-

yhtiön määrittämien kustannusten pohjalta. Lisäksi laitteiston käytöstä aiheutuvat kustannukset määritetään laitteistojen käytön mukaan siten, että asiakkaalle saadaan tarjottua kustannustehokas jäähdytysvaihtoehto ja energiayhtiön ei tarvitse kohdistaa toimituskohteeseen kohtuuttoman suurta ja kannattamatonta investointia.

Opinnäytetyöprosessin yhteydessä käytiin tutustumassa Helsingin Kalliossa Helenin omistamaan CHC-laitteistoon, jonka avulla saadaan tuotettua Kalliossa toimivan, päivittäistavarakauppa Lidlin tarvitsema jäähdytys. Päivittäistavara-kaupat ovat hyvä esimerkki kohteista, joissa jäähdytyksen tarve on ympärivuotista. Kyseisen kohteen jäähdytys on toteutettu Avaimet käteen -periaatteella, eli Helen Oy vastaa kaikesta laitteen käyttöön ja huoltoon liittyvistä asioista. Saman tyyppisiä kohteita olisi Outokummussakin muutamia ja niiden tapauksessa pelkkä jäähdytykseen suunniteltu laitteisto voisi olla toimiva vaihtoehto. Näiden kohteiden hyödyntämispotentiaalia kannattaa arvioida huomattavasti paremmin, jos Okun Energia Oy päättää ottaa kiinteistökohtaisen jäähdytyksen osaksi tarjoamiaan palveluita.

CHC-tekniikkaa tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään enenevässä määrin, sillä sen avulla muuten käyttämättä jääviä hukkalämpöjä voidaan hyödyntää kaukolämpökiinteistöjen- ja kaukolämpöveden lämmittämisessä. Tämän ajatuksen perusteella Okun Energia Oy voi markkinoida CHC-ratkaisua asiakkailleen tulevaisuuden kaukolämpöratkaisuna, jossa asiakas voi toimia pelkän kuluttajan roolin sijasta myös vastuullisena lämmöntuottajana hiilineutraalissa energiantuotantoverkostossa. Asiakas voi ostaa energiayhtiöltä kaukolämpöä omaan käyttöönsä ja syöttää kiinteistön jäähdytyksessä syntynyttä ylijäämälämpöä takaisin kaukolämpöverkkoon saaden siitä hyötyjä omiin lämmitysenergian käyttökustannuksiinsa.

Lisäksi markkinoinnissa kannattaa painottaa sitä, että CHC-tekniikalla tapahtuvat jäähdytys on erityisesti asiakkaalle vaivaton jäähdytysratkaisu. Kaikki laitteiston asennukseen ja huoltoon liittyvät asiat ovat energiayhtiön vastuulla, ja niistä ei tarvitse asiakkaan huolehtia. Lisäksi investointiin ja käyttöön liittyvät kistan-

nukset ovat pääosin etukäteen tiedossa jo sopimuksen tekovaiheessa, eikä niiden suhteen tapahdu suuria heilahteluita energianhintojen eläessä vallitsevien markkinahintojen mukana.

Lähteet

- Alpua. J. Myyntipäällikkö, Oilon Oy, Haastattelu. 10.11.2021.
- Alpua. J. Myyntipäällikkö, Oilon Oy, Sähköpostikeskustelu. 14.10.2021.
- Airaksinen. M., Vainio. T., Vesanen. T. & Ala-Kotila. P. Rakennusten jäähdytysmarkkinat. 2015.
https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf. 30.8.2021.
- Deloitte. Digitalisaation vaikutukset kaukolämpöalalla. 2016.
https://energia.fi/files/1343/2016_Digitalisaation_vaikutukset_FIN.pdf. 10.9.2021
- Energiateollisuus. 2016. Loppuraportti. Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä.
https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf. 5.8.2021.
- Energiateollisuus. 2018. Hukkalämpöjen hyödyntäminen kaukolämpöjärjestelmässä- Tekniset toimintaohjeet verkkoon liittämistä.
https://energia.fi/files/3127/Hukkalammot_kaukolampoverkkoon_tekniset_ohjeet_20181016.pdf. 2.11.2021.
- Energiamaailma. 2021. Kaukolämpö ja jäähdytys.
<https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolampojajaahtytys/>. 09.07.2021.
- Energiateollisuus. 2021a. Kaukolämpöverkot.
<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>. 30.7.2021
- Energiateollisuus. 2021b. Energiantuotannon ympäristövaikutukset.
https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/energiantuotannon_ymparistovaikutukset. 19.7.2021
- Energiateollisuus. 2021c. Tulevaisuuden energiaratkaisut.
https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus/tulevaisuuden_asiakasratkaisut. 4.8.2021.
- Energiavirasto. 2021. Sähkönsiirron verkonhaltijakohtaiset keskihinnat 2019 eteenpäin.
<https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>. 17.11.2021.
- Jätelaki. 646/2011. 23.7.2021.
- Hakkarainen. N. Kaukolämpöpäällikkö. Okun Energia Oy. Haastattelu. 10.11.2021.
- Helen. 2020. Kiinteistöjäähdytyksen suunnitteluohje.
https://www.helen.fi/globalassets/jaahdytys/ammattilaiset/kaukojaahtytys-2017/kiinteist%C3%B6j%C3%A4%C3%A4hdytyksen_suunnitteluohje_12_2020.pdf. 27.11.2021.
- Ilmasto-opas. 2018. Rakennusten lämmittäminen kuluttaa runsaasti energiaa.
<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa.html>. 30.8.2021
- Karvonen. J. 2021a. Kaupunkirakennejohtaja, Outokummun kaupunki, Haastattelu. 18.6.2021.
- Karvonen. J. 2021b. Kaupunkirakennejohtaja, Outokummun kaupunki,

- Haastattelu. 14.9.2021.
- Karvonen. J. 2021c. Kaupunkirakennejohtaja, Outokummun kaupunki, sähköpostikeskustelut. 5.10.2021.
- Laitinen, A., Airaksinen, M. & Rämä, M. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut.
https://energia.fi/files/1360/Jaahdytyksen_teknologiset_ratkaisut_tivistelma_suomi.pdf. 27.8.2021.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki. 132/1999. 23.7.2021
- Motiva. 2019. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi.
https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi. 10.11.2021.
- Motiva. 2020. Lämpöpumput.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput. 18.9.2021.
- Motiva. 2021. Kaukolämpö.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo. 4.8.2021
- Motiva. 2021. Lämpöä kotiin keskitetysti.
https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf. 26.7.2021.
- Mäkelä, V. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>. 26.7.2021.
- Mäntylä. T. Toimitusjohtaja. Okun Energia Oy. Haastattelu. 02.09.2021.
- NordPool. 2021. Day-ahead prices.
<https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Monthly/?view=table>. 9.11.2021.
- Okun Energia Oy. 2021. Kaukolämpö.
<https://outokummunenergia.fi/kaukolampo>. 9.7.2021.
- Okun Energia Oy. 2021. Tarina.
<https://outokummunenergia.fi/yhteystiedot/tarina/>. 29.9.2021.
- Oilon. 2021. Oilon ChillHeat.
https://oilon.com/wp-content/uploads/2020/03/Oilon_Chill-Heat_FI.pdf. 8.11.2021.
- Oilon. 2021. Oilon Selection Tool.
<https://oilon.com/fi/tuotteet/oilon-selection-tool/>. 20.10.2021.
- Päästökauppalaki. 311/2011. 23.7.2021.
- Pöyry. 2016. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit.
https://media.sitra.fi/2017/02/27175247/Kaksisuuntaisen_kaukolammon_liiketoimintamallit-2.pdf. 23.8.2021.
- Tilastokeskus. 2020. Sähkön ja lämmön tuotanto.
https://www.stat.fi/til/salatuo/2019/salatuo_2019_2020-11-03_tie_001_fi.html. 25.8.2021.
- Turboden. 2021. Large heat pumps.
<https://www.turboden.com/solutions/2602/large-heat-pump>. 27.11.2021.
- Valtioneuvosto. 2021. Turpeen korvaaminen energian tuotannossa – teknisiä, taloudellisia ja sosiaalisia näkökohtia.

https://valtioneuvosto.fi/documents/1410837/67252401/2021+Turpeen+korvaaminen_+MMM+Biotalousp%C3%A4iv%C3%A4+25.3.2021+pdf.pdf/c3035e09-0bef-df8c-2721-9a0d6bd0dc38/2021+Turpeen+korvaaminen_+MMM+Biotalousp%C3%A4iv%C3%A4+25.3.2021+pdf.pdf?t=1616754104965. 19.7.2021.

Valtiovarainministeriö. 2021. Energiaverotus.

<https://vm.fi/energiaverotus>. 1.10.2021.

Vesilaki. 587/2011. 15.11.2021.

VTT. 2014. Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut.

https://www.motiva.fi/files/11419/Tulevaisuuden_kaukolampoasuinalueen_energiaratkaisut.pdf. 2.8.2021.

VTT. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut.

https://energia.fi/files/1360/Jaahdytyksen_teknologiset_ratkaisut_tii-vistelma_suomi.pdf. 15.9.2021.

Ympäristönsuojelulaki. 527/2014. 19.7.2021.

Oilon ChillHeat- lämpöpumppujen teknisiä tietoja (Oilon 2021.)

Oilon ChillHeat P 30 - P 450



Korkein lämpötila 120 °C



Isot kiinteistöt



Yhdistetty jäähdytys ja lämmitys

Kylmäilaitoksen lämmöntalteenotto
(ammoniakki, HFC, CO₂)Prosessilämpöjen talteenotto
(haihuttimet, jäähdytystornit, kuivaimet)

Jäteveden lämmöntalteenotto



Oilon ChillHeat P -lämpöpumput tuottavat jopa 120 asteista vettä korkealla hyötysuhteella myös erittäin alhaisilla osatehoilla.

Kymmenien vuosien kehityksen tuloksena syntyneet energiatehokkaat mäntäkompressorit vastaavat P-sarjalaisien varmasta toiminnasta sekä alhaisista käyttö- ja huoltokustannuksista.

TEKNISET TIEDOT

		P 30	P 60	P 100	P 150	P 220
Kompressorit, tyyppi ja lukumäärä		mäntä, 1	mäntä, 2	mäntä, 2	mäntä, 2	mäntä, 3
Kylmäaineerien lkm		1	1	1	1	2
Mitat, ilman laitesuojaa ja lisäalikoja *	Korkeus mm	1300	2091	2091	2091	2091
	Pituus mm	1080	1571	1571	1571	2723
	Leveys mm	740	911	911	911	911
Kylmäaine		R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze	R134a R513A R450A R1234ze
Sulakekoko **	A, 3/N/PE 400 V 50 Hz	3x63A	3x125A	3x160A	3x200A	3x400A
Paino	kg	530	1000	1200	1600	2300

ChillHeat tuotteiden suorituskykyarvot eri olosuhteissa saat laskettua Oilon Selection Tool valintaohjelman avulla.

*) Mitat ilman taajuusmuuttajaa.

**) Sulakekoko mitoitettu vaativimmassa olosuhteessa. Pyydä tarkistusmitoitus toimittajalta.

Lisäpalvelut tekniset tiedot antaa valmistaja. Oilon pidättää oikeuden muutoksin ilman erillistä ilmoitusta.

P100-lämpöpumpun tietoja Oilon Selection Tool- valintaohjelmasta ensimmäisen kytkentävaihtoehdon tapauksessa (Oilon Selection Tool, 2021.)

PERFORMANCE (± 5 % ACCURACY)

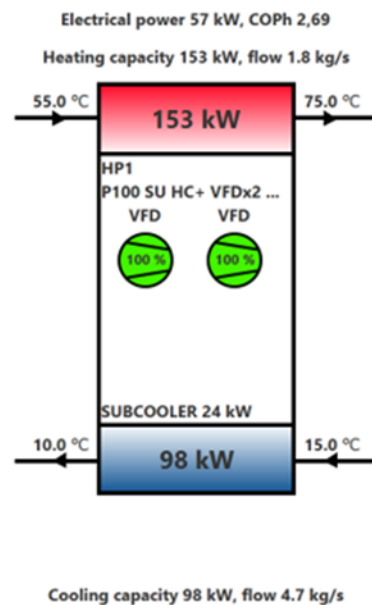
Type	
Heat pumps	1
Heating capacity	153 kW
Refrigeration capacity acc. to EN 12900	98 kW
Power consumption	57 kW
COP	2.69

Heat sink (condenser)

Type of heating medium	water
Heat sink inlet temperature	55.0 °C
Heat sink outlet temperature	75.0 °C
Flow	1.9 l/s
Pressure loss in heat exchanger	9 kPa

Heat source (evaporator)

Type of coolant	water
Heat source inlet temperature	15.0 °C
Heat source outlet temperature	10.0 °C
Flow	4.7 l/s
Pressure loss in heat exchanger	14 kPa



P100-lämpöpumpun tietoja Oilon Selection Tool- valintaohjelmasta toisen kyt-
kentävaihtoehdon tapauksessa lämmityskaudella (Oilon Selection Tool, 2021.)

PERFORMANCE (±5 % ACCURACY)

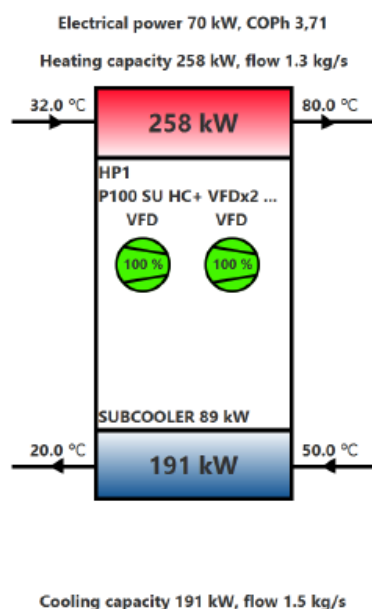
Type	
Heat pumps	1
Heating capacity	258 kW
Refrigeration capacity acc. to EN 12900	191 kW
Power consumption	70 kW
COP	3.71

Heat sink (condenser)

Type of heating medium	water
Heat sink inlet temperature	32.0 °C
Heat sink outlet temperature	80.0 °C
Flow	1.3 l/s
Pressure loss in heat exchanger	3 kPa

Heat source (evaporator)

Type of coolant	water
Heat source inlet temperature	50.0 °C
Heat source outlet temperature	20.0 °C
Flow	1.5 l/s
Pressure loss in heat exchanger	1 kPa



P100-lämpöpumpun tietoja Oilon Selection Tool- valintaohjelmasta kolmannen kytkentävaihtoehdon tapauksessa lämmityskaudella (Oilon Selection Tool 2021.)

PERFORMANCE ($\pm 5\%$ ACCURACY)

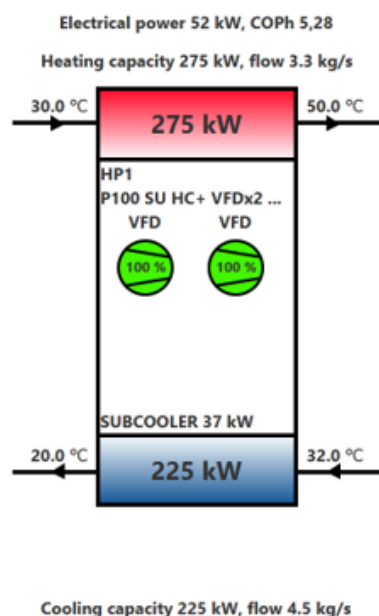
Type	
Heat pumps	1
Heating capacity	275 kW
Refrigeration capacity acc. to EN 12900	225 kW
Power consumption	52 kW
COP	5.28

Heat sink (condenser)

Type of heating medium	water
Heat sink inlet temperature	30.0 °C
Heat sink outlet temperature	50.0 °C
Flow	3.3 l/s
Pressure loss in heat exchanger	23 kPa

Heat source (evaporator)

Type of coolant	water
Heat source inlet temperature	32.0 °C
Heat source outlet temperature	20.0 °C
Flow	4.5 l/s
Pressure loss in heat exchanger	13 kPa



Lämpimän käyttöveden kulutus rakennustyypeittäin (Motiva 2019.)

Rakennustyyppi	Lämpimän veden kulutus rakennuksen bruttoalaa kohti, $V_{lkv,omin}$ ($dm^3/brm^2/vuosi$)
Toimistorakennus	100
Terveystalo	520
Päiväkoti	460
Teatteri ja kirjasto	120
Uimahalli	1 800
Opetusrakennus	180
Myymälä	65
Muut rakennukset	100

Sähköhinnat sähkönmyynnin ja -siirron osalta (NordPool & Energiavirasto, 2021.)

Kuukausi	Sähköhinta alv.0%	Sähköhinta alv. 24%	
Kesäkuu 2020	28,26	35,0424	€/MWh
Heinäkuu 2020	20,21	25,0604	€/MWh
Elokuu 2020	40,55	50,282	€/MWh
Syyskuu 2020	37,83	46,9092	€/MWh
Lokakuu 2020	31,08	38,5392	€/MWh
Marraskuu 2020	27,62	34,2488	€/MWh
Joulukuu 2020	39,25	48,67	€/MWh
Tammikuu 2021	51,22	63,5128	€/MWh
Helmikuu 2021	57,13	70,8412	€/MWh
Maaliskuu 2021	38,35	47,554	€/MWh
Huhtikuu 2021	36,76	45,5824	€/MWh
Toukokuu 2021	45,94	56,9656	€/MWh

Sähköhinnan keskiarvo	37,85	46,934	€/MWh
------------------------------	--------------	---------------	--------------

Sähkön siirron keskiarvohinta Outokummun verkkoalueella, kun kohde lasketaan sähkökäytön mukaan pienteollisuuteen	62,40	€/MWh
--	--------------	--------------

Laitteiston mitoituksen ja taloudellisen tarkastelun yhteydessä tehdyt laskelmat

Laskelmat					
Lämpimän käyttöveden määrä terveydenhoito	520	dm3/brm2/vuosi	Jäähdytyskausi		
Rakennuksen bruttopinta-ala	2500	brm2	Jäähdytyskaudella lämpöä tuotetaan	126186	kWh
Lämpimän käyttöveden määrä	1300000	dm3/vuosi		126	MWh
	1300	m3/vuosi	Jäähdytystä tuotetaan	80825	kWh
veden tiheys	1000	kg/m3		81	MWh
veden ominaislämpökapasiteetti	4,2	kJ/kgastetta	Kytkentä 2		
Lämmitetyn veden lämpötila t2	55	astetta	Lämmityskautena lämmitystä tuotetaan	374100	kWh
Lämmitetyn veden lämpötila t1	10	astetta		374	MWh
			Sähkönkulutus lämmityskauden aikana	101500	kWh
Lämpimän käyttöveden energiantarve	68250	kWh/a		101,5	MWh
	68	MWh/a			
Lämmityksen energiantarve	290	MWh/a	Sähkön kustannukset tällöin	10175,4	€
			Lämmön kustannukset paluuveden lämpötilan alenema huomioon otettuna	4002,87	€
Lämpöenergian kulutus yhteensä	358	MWh/a	Kustannukset yhteensä	14178,2	€
Lämmityksen huipputehontarve	200	kW	Lämmön hinta ilman investointikustannuksia	37,8996	€/MWh
			Kytkentä 3		
Jäähdytyksen energiankulutus	80	MWh/a			
			Kolmannen kytkentävaihtoehdon tuottama lämmitysenergia	398750	kWh
Jäähdytyksen huipputehontarve	97	kW		398,75	MWh
Jäähdytysaika vuodessa tunteina	825	h			
			Lämmön kustannukset paluuveden lämpötilan alenema huomioon otettuna	4266,63	€
Lämmitysaika vuodessa tunteina	1450	h	Sähkön kustannukset	7558,85	€
			Kustannukset yhteensä	11825,5	€
Sähkönsiirron keskiarvohinta Outokummun verkkoalueella, kun kohde on lasketaan sähkönkäytön mukaan pienteollisuuteen	62,40	€/MWh	Lämmön hinta ilman investointikustannuksia	29,6564	€/MWh