

Outi Rahikkala

## **ALUELÄMPÖVERKON HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄ**

Tekninen ja taloudellinen selvitys järjestelmän toiminnasta

# **ALUELÄMPÖVERKON HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄ**

Tekninen ja taloudellinen selvitys järjestelmän toiminnasta

Outi Rahikkala  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Energiatekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Outi Rahikkala

Opinnäytetyön nimi: Aluelämpöverkon hybridilämmitysjärjestelmä

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Hybrid Heating System in Regional District Heating Network

Työn ohjaaja: Saku Leskelä

Työn valmistuslukuksi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 45 + 7 liitettä

---

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun Energia Oy. Työn tarkoituksena on tarkastella vuonna 2022 käyttöönotetun hybridilämmitysjärjestelmän toimintaa teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Kyseisellä hybridilämmitysjärjestelmällä toteutetaan vielä osittain keskeneräisen asuinkorttelin rakennusten lämmitys- ja viilennysenergian tuotanto. Hybridijärjestelmä on liitetty erillisiin aluelämpö- ja viilennysverkkoihin. Hybridilämmitysjärjestelmä tuottaa lämmitysenergiaa lämpöpumpulla, joka ottaa lämpöenergiaa pääasiassa kaukolämmön paluuedestä niin kutsutun DHAC-järjestelmän välityksellä. Järjestelmä käyttää tarvittaessa myös kaukolämmön menopuolen lämpöenergiaa. Lämpöpumpulla tuotetaan lisäksi jäähdytysenergiaa alueen rakennusten viilennystarpeisiin. Työssä selvitetään myös asuinkorttelin lisärakentamisen vaatimia jatkoinvestointeja. Työn tavoitteena on tuottaa työn toimeksiantajalle kirjallinen selvitys hybridijärjestelmän toiminnasta ja sen vaikutuksista lämmityskustannuksiin.

Hybridijärjestelmän tekninen tarkastelu suoritettiin vuoden 2023 ajalta. Työssä selvitettiin, kuinka hyvin lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia oli riittänyt alueen lämmöntarpeen kattamiseen ja arvioitiin verkoston lämpöhäviöitä. Lämpöpumpulle laskettiin lämpökerroin varsinaisten lämmityskausien ajalta. Viilennyskauden ajalta järjestelmälle laskettiin kylmäkertoimen sijaan kokonaisyhtösuhte, koska viilennysenergian tuotannosta ei ollut saatavilla jaksotettua tuotantodataa. Hybridijärjestelmän taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin vuoden 2023 ajalta. Työssä laskettiin lämpöpumpun aikaansaama säästö kaukolämpöön verrattuna. Lisäksi lämpöpumpun käyttämän sähköenergian hinnalle määritettiin raja-arvo, jonka yli sähkön kokonaishinta ei saa nousta, jos lämpöpumpun käytön halutaan olevan kannattavaa. Viilennyskauden osalta lämpöpumpun tuottaman energian tuotantokustannuksille laskettiin myös raja-arvo.

Työssä selvisi, että lämpöpumpun käynnistyksen jälkeen lämpöpumpulla oli tuotettu lähes 90 % alueen lämmöntarpeesta. Lämpöhäviöiden osuus lämmöntuotannosta oli keskimäärin noin 13 %. Lämpöpumpun lämmityskauden aikainen keskimääräinen hyötysuhde oli 3,3 ja kokonaisyhtösuhte viilennyskaudella keskimäärin 3,6. Työssä todettiin lämmitysenergian tuottamisen lämpöpumpulla olleen noin 16 % kaukolämpöä edullisempaa. Työssä havaittiin useita puutteita hybridijärjestelmän toimintaa mittaavien tietojen keruussa, jotka toivat haasteita opinnäytetyölle asetettujen tavoitteiden saavuttamiselle. Havaittujen puutteiden avulla pystyttiin kuitenkin kehittämään järjestelmän toimintaa ja sen seurantaa.

---

Asiasanat: Aluelämmitys, energiajärjestelmät, jäähdytys, kestävä kehitys, kaukolämmitys, lämmitysjärjestelmät, lämpöpumput

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KAUKOLÄMPÖ.....	7
2.1	Yleistä kaukolämmön tuotannosta Suomessa .....	7
2.2	Kaukolämmön tulevaisuus.....	8
3	TYÖN LÄHTÖTIEDOT .....	10
3.1	Taustatietoa kohteesta .....	10
3.2	Hybridilämmitysjärjestelmät kaukolämmössä .....	10
4	KOHTEEN HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄ .....	12
4.1	Kaukolämmön paluuveden energian hyödyntäminen .....	13
4.2	Aluelämpöverkko .....	14
4.3	Alueviilennysverkko .....	16
4.4	Lämpöpumppu .....	17
4.4.1	Lämpöpumppuprosessi .....	18
4.4.2	Kohteen lämpöpumppu .....	19
4.5	Autohallin lämmitys .....	21
4.6	Lauhdutus kaukolämpöön .....	22
5	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN TOIMINNAN TEKNINEN TARKASTELU .....	23
5.1	Lämmöntuotanto suhteessa lämmönkulutukseen .....	23
5.2	Lämpöpumpun lämpökerroin .....	27
5.3	Hybridijärjestelmän toiminnan tarkastelu viilennyskaudella .....	29
5.4	ChillHeat-lämpöpumpun jäähdytystoiminnon tarkastelu .....	32
6	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN TALOUDELLINEN TARKASTELU.....	35
6.1	Lämpöpumpulla saavutetun hyödyn arviointi lämmityskaudella .....	35
6.2	Energian tuotantokustannusten raja-arvo viilennyskaudella .....	36
6.3	Hybridilämmitysjärjestelmän taloudellisen kannattavuuden tarkastelu .....	38
7	JATKOINVESTOINNIT .....	39
7.1	Lämpöpumppu .....	39
7.2	Viilennysverkon putkimateriaalin vertailu .....	40

8	YHTEENVETO .....	41
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET .....	46

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Oulun Energian Karjasillalla sijaitsevan lämpöpumppujärjestelmän toimivuutta teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Kohteessa on kaukolämmön paluuveden energiaa hyödyntävä hybridijärjestelmä, johon on liitetty lämmitys- ja jäähdytysenergiaa tuottava lämpöpumppu. Hybridijärjestelmän tuottama lämmitys- ja viilennysenergian jakelu käyttöpaikoilleen tapahtuu alueellisten lämmitys- ja viilennysverkostojen kautta. Työn tarkoituksena on selvittää, miten hybridijärjestelmä on toiminut ja millaisia kustannussäästöjä sillä on saatu aikaan pelkkään kaukolämpöön verrattuna. Hybridijärjestelmän toimintaa tarkastellaan järjestelmän toimintaa ohjaavan Fiksu-ohjausjärjestelmän tallentaman mittaustiedon sekä toimeksiantajalta saatujen tietojen perusteella. Lisäksi työssä selvitetään alueen laajennusosan vaatimia jatkoinvestointeja toisen lämpöpumpun sekä kylmäverkon putkiston osalta. Työn tavoitteena on tuottaa työn toimeksiantajalle kirjallinen selvitys kohteen energijärjestelmän toiminnasta ja sen vaikutuksista lämmityskustannuksiin.

Työn toimeksiantaja on Oulun Energia Oy, joka on oululainen vuonna 1889 perustettu yritys. Yrityksen toiminnan perustana on energiantuotanto sekä lämpö- ja sähköverkkopalvelut. Edellä mainittujen lisäksi yrityksellä on myös kiertotalouspalveluita. Oulun Energia -konserniin kuuluvat emoyhtiö Oulun Energia Oy ja tytäryhtiöt Syklo Oy, Oulun Energia Sähköverkko Oy, Turveruukki Oy sekä Huoltovoima Oy. Oulun Energian pyrkimyksenä on kehittää energiatehokkaita ja älykkäitä energiaratkaisuja asiakkaidensa tulevaisuuden tarpeisiin vastaten. (1.) Karjasillan Kulma -hanke on yksi Oulun Energia Oy:n älykkäistä energijärjestelmistä, joilla pyritään vähentämään hiilidioksidipäästöjä, säästämään energiaa ja kohti täyttä hiilineutraaliutta vuonna 2030 (2).

Karjasillan Kulma -hanke toteutetaan Oulun Energian ja alueen rakentajana toimivan Hartelan yhteistyönä. Hybridijärjestelmän toimittajana on suomalainen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien valmistaja HögforsGST Oy.

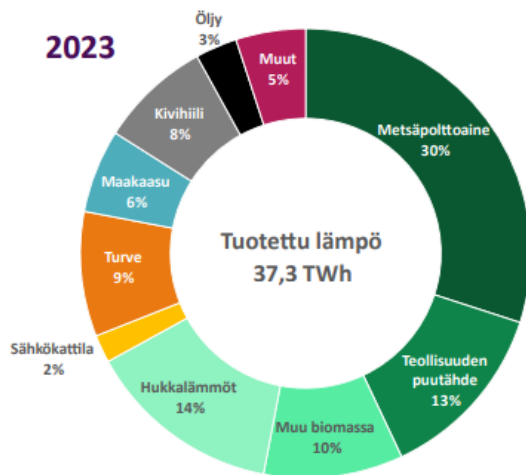
## 2 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämmityksellä on maailmanlaajuisesti jo lähes 150 vuoden historia. Suomen ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä Helsingin Olympiakylään rakennettiin vuonna 1940. Oulussa kaukolämpötoiminta aloitettiin vuonna 1969. (3, s. 12.) Kaukolämpö on tällä hetkellä Suomen yleisin lämmitysmuoto. Vuonna 2021 kaikesta Suomen asuin- ja palvelurakennusten lämmitysenergiasta 45 % tuotettiin kaukolämmöllä. (4.) Kaukolämmön etuina on pidetty sen energiatehokkuutta, ympäristöystävällisyyttä, kokonaistaloudellisuutta sekä toimintavarmuutta. Kaukolämmön energiatehokkuus perustuu pitkälti sähkön ja lämmön yhteistuotantoon, kun turbiinilaitoksissa sähköntuotannon yhteydessä syntyvä hukkalämpö hyödynnetään kaukolämpöveden lämmitykseen. (3, s. 13.) Tässä luvussa käsitellään lyhyesti kaukolämmön nykytilaa ja tulevaisuutta Suomessa.

### 2.1 Yleistä kaukolämmön tuotannosta Suomessa

Kaukolämmön tuotanto tapahtuu tyypillisesti polttoon perustuvissa tuotantolaitoksissa. Tuotantolaitos voi tuottaa pelkästään lämpöä tai sekä lämpöä että sähköä, jolloin puhutaan CHP-laitoksesta (Combined Heat and Power). Yhdessä kaukolämpöverkossa on yleensä useampia tuotantolaitoksia sekä varavoimaloita, joiden avulla lämmöntarpeen vaihteluihin eri vuodenaikoina voidaan vastata ja turvata lämmöntuotanto myös huoltojen ja häiriöiden aikana. Polttoaineena lämmöntuotantolaitoksissa käytetään puuta ja muita biomassoja, maakaasua, turvetta, kivihiihtä, jätettä tai öljyä. (5.)

Vuonna 2023 kaukolämpöä tuotettiin Suomessa 37,3 TWh, josta uusiutuvien, hukkalämpöjen ja sähkökattiloiden osuus oli 69 prosenttia (kuva 1). Kaukolämmön mitattu käyttö oli tuolloin 33,6 TWh. Kaukolämmön CHP-laitokset tuottavat lämmön ohella merkittävän määrän sähköä ja lisäksi kaukolämmön suuri osuus lämmityksessä pienentää tuntuvasti sähkön kysyntähuippuja. Kaukolämmön tuotannossa uusiutuvien polttoaineiden käyttö on viisinkertaistunut parin edellisen vuosikymmenen aikana ja nykyään 75 % kunnista tuottaa lämmön pääasiassa uusiutuvilla polttoaineilla tai ympäristö- tai hukkalämmöillä. (6.)



KUVA 1. Kaukolämmön tuotanto ja tuotantolähteet vuonna 2023 (6)

Vuonna 2023 kaukolämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt olivat noin 83 g hiilidioksidia tuotettua kilowattituntia kohden, mikä oli 24 % vähemmän edellisvuoteen verrattuna. Myös kaukolämpöyhtiöiden tarjoaman kaukojäähdytyksen tuotanto oli kasvussa. Kaukojäähdytystä tuotettiin yhteensä 340 GWh, josta suurin osa lämpöpumpuilla. Samoja lämpöpumppuja voidaan usein käyttää sekä lämmön että jäähdytyksen tuotantoon jäähdytysveden kylmentyessä ja kaukolämpöveden lämmitessä samassa prosessissa. (6.)

## 2.2 Kaukolämmön tulevaisuus

Sähkön- ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöille on asetettu tiukat tavoitteet, joiden mukaan 2030-luvun loppuun mennessä tuotannon tulisi olla lähes päästötöntä. Fossiilisista polttoaineista ollaan jo siirtymässä kohti hiilineutraalia ja polttoon perustumatonta lämmöntuotantoa ja tulevaisuudessa lämmön hankintaan ja tuotantoon tulee muutoksia. Kaukolämmön tuotannossa esimerkiksi hukkalämpöjä, geotermistä- ja bioenergiaa hyödyntävät, älykkäät ja joustavat sähkөөn perustuvat ratkaisut tulevat korvaamaan fossiiliset polttoaineet. Lämpöpumppujen merkitys tulee kasvaamaan aiemmin kannattamattomien lämmönlähteiden hyödyntämisessä tekniikan ja toimintaympäristön muuttuessa. Tulevaisuudessa kaukolämpö- ja muiden lämmitysratkaisujen yhdistäminen luo uusia mahdollisuuksia. Uusia vaihtoehtoja ja toimintatapoja on syytä tarkastella, jotta kaukolämpötoiminnassa voitaisiin hyödyntää paremmin uusiutuvaa energiantuotantoa, kysyntäjoustoa ja eri energiajärjestelmien integraatiota. (7, s. 57–59.)



Erityyppiset lämpöpumput ja niin kutsutut hybridiratkaisut tulevat yleistymään kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämmön tuotannossa hybridiratkaisut tarkoittavat sellaisia lämmöntuotantomalleja, joissa ainakin osa lämmöstä tuotetaan polttoon perustumattomilla menetelmillä. Lämpöpumpuilla esimerkiksi teollisuuden ylijäämälämpöä ja jätevesien ja paljon hukkalämpöä tuottavien kiinteistöjen, kuten datakeskusten, lämpöä voidaan hyödyntää kaukolämmön tuotannossa. Uusia markkinoita kaukolämmöntuotantoon avaavat myös lämmitystä ja jäähdytystä yhdistävät ratkaisut. Aurinkolämmön hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa, kaksisuuntainen kaukolämpö, kaukolämpöverkkojen matalampien lämpötilatasojen hyödyntäminen, lämmön varastoiminen sekä geoterminen lämpö ovat myös potentiaalisia kehityssuuntia kaukolämmön tuotannossa tulevaisuudessa. (5.)

### 3 TYÖN LÄHTÖTIEDOT

Tulevaisuudessa hybridijärjestelmät ja erilaiset lämpöpumppuratkaisut tulevat yleistymään kaukolämmön tuotannossa. Tämän luvun ensimmäisessä kappaleessa kerrotaan taustatietoja opinnäytetyössä tarkasteltavasta hybridijärjestelmästä ja toisessa kappaleessa hybridijärjestelmistä kaukolämmössä yleisesti.

#### 3.1 Taustatietoa kohteesta

Tämän opinnäytetyön kohteena on Oulun keskustan läheisyydessä Karjasillalla sijaitseva Oulun Energian lämpöpumppujärjestelmä, jolla toteutetaan alueen asuinkorttelin lämmitys- ja viilennysenergian tuotanto ja jakelu. Asuinalueen rakentajana toimii Hartela. Kohteen alueelle on suunniteltu rakennettavan 11 uutta asuinkerrostaloa, maanalainen autohalli sekä toimistotilaa. Asuntoja on tarkoitus rakentaa noin 650 kappaletta, mikä tarkoittaa noin tuhatta asukasta. Asuinkortteli rakennetaan vaiheittain ja koko kortteli valmistuu arviolta vuosien 2028–2030 aikana. Tällä hetkellä suunnitelluista rakennuksista on valmiina neljä kerrostaloa ja lisäksi autohalli, jota on tarkoitus laajentaa tulevaisuudessa. (8.)

Alueen rakennusten lämmitys toteutetaan rakennuttajan valitsemien talokohtaisesti suunniteltujen lämmitystapojen mukaan vesikiertoisen lattialämmityksen, ilmanvaihtokoneiden ja patteripiirien avulla. Asuntoihin ja toimistorakennukseen on lisäksi saatavilla jäähdytystä alueellisen viilennysverkon kautta. Viilennystä tarjotaan asuntoihin huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana ja toimistorakennukseen ympäri vuoden.

#### 3.2 Hybridilämmitysjärjestelmät kaukolämmössä

Energian hintojen nousun myötä asiakkaat ovat aiempaa kiinnostuneempia uudentyyppisistä lämmitysratkaisuista. Markkinoille tuodaan koko ajan älykkäämpiä ja kehittyneempiä lämmitysjärjestelmiä, mikä luo myös kaukolämpöyhtiöille tarvetta kehittää omia tuotteitaan kilpailukykyisiksi säilyttämiseksi. Hybridilämmitysjärjestelmät voivat olla yksi mahdollisuus kaukolämmityksen kehittämisessä asiakkaiden tarpeita vastaavaksi. (9.)

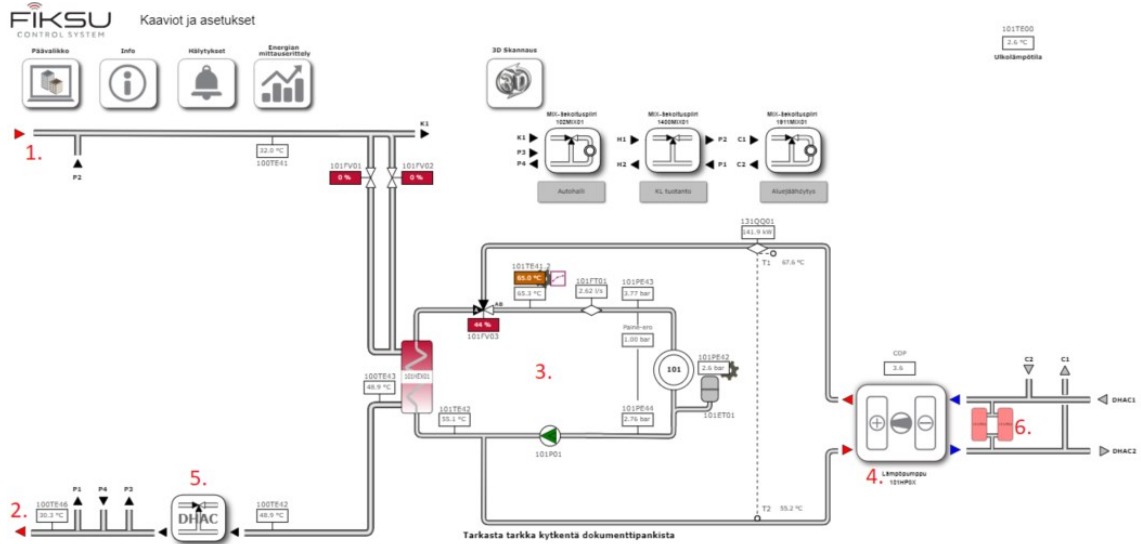
Lämmönjakokeskuksesta käytetään nimitystä hybridilämmönjakokeskus silloin, kun kaukolämmön rinnalle on liitetty muita lämmönlähteitä, esimerkiksi lämpöpumppuja. Yleisimmin kaukolämmön lisäksi käytetään poistoilmalämpöpumppua tai maalämpöpumppua. Poistoilman ja maalämmön lisäksi lämpöpumpun tarvitsemaa lämpöä voidaan kerätä myös esimerkiksi viemäriverdestä viemäriverkoston asennettavalla lämmöntalteenottojärjestelmällä. Lämpöpumppuratkaisut ovat niin kutsuttuja matalalämpöjärjestelmiä, joista saatava hyöty on parhaimmillaan silloin, kun alhainen lämmityksen menoveden lämpötila riittää, kuten lattialämmitysjärjestelmissä. Lämpöpumput eivät yksistään riitä tuottamaan lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen vaatimaa lämpötilaa mitoituslämpötiloissa, joten lisäksi tarvitaan joko sähkölämmitteisiä varaajia tai jokin muu lisä- tai varsinainen lämmönlähde, kuten kaukolämpö. (10, s. 35, 40.)

## 4 KOHTEEN HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Kohteessa on käytössä HögforsGST:n toimittama HybridHEAT-lämmitysjärjestelmä, joka mahdollistaa erilaisten lämmönlähteiden yhdistämisen toimivaksi kokonaisuudeksi. Kohteen lämmitysratkaisussa on hyödynnetty lämpöpumppua kaukolämmön rinnalla. Lämmitysjärjestelmän toimintaa ohjaa HögforsGST:n kehittämä Fiksu-ohjausjärjestelmä, joka on etäohjattava ja -säädetty ja joka älykkyytensä ansiosta auttaa optimoimaan energiatehokkuuden halutun kaltaiseksi. (11.)

Lämpöpumppu ja erilliset aluelämpö- ja alueviilennysverkot mahdollistavat sekä rakennusten lämmityksen että viilennyksen. Lämmitys- ja jäähdytysenergiaa tuottava lämpöpumppujärjestelmä on sijoitettu autohallin tekniseen tilaan, josta energiansiirto rakennuksiin tapahtuu jakeluverkostojen kautta. Jokaisella rakennuksella on oma lämmönjakokeskuksensa, joka huolehtii lämmön siirrosta asuntoihin. (12.) Kohteen hybridilämmitysjärjestelmä ja aluelämpöverkko on otettu käyttöön keväällä 2022.

Havainnollistamisen helpottamiseksi hybridijärjestelmän toimintaa esitellään tässä työssä Fiksu-ohjausjärjestelmästä otettujen kuvaleikkeiden avulla. Kuvassa 2 on esitetty järjestelmän pääkomponentit ohjausjärjestelmän pääoperointinäkyvässä. Kuvan vasemmassa reunassa näkyvät kaukolämmön tulolinja ja paluulinja. Aluelämpöverkon veden lämmitykseen käytetään lämpöpumppua sekä kuumaa kaukolämpövettä kaukolämmön tulolinjasta. Kohteen HybridHEAT-järjestelmä on kytketty kaukolämpöverkkoon poikkeuksellisesti siten, että kaukolämmön paluulinjan energiaa voidaan hyödyntää lämpöpumpulla DHAC-yksikön avulla. Kuvassa lämpöpumpun oikealla puolella nähdään kaksi puskurisäiliötä. Säiliöt ovat tilavuudeltaan 2000 litraa ja toimivat puskurina sekä lämpöpumpulle että aluejäähdytysverkostolle. Säiliöiden virtaussuuntaa voidaan vaihtaa ajotilan mukaan. (12.)



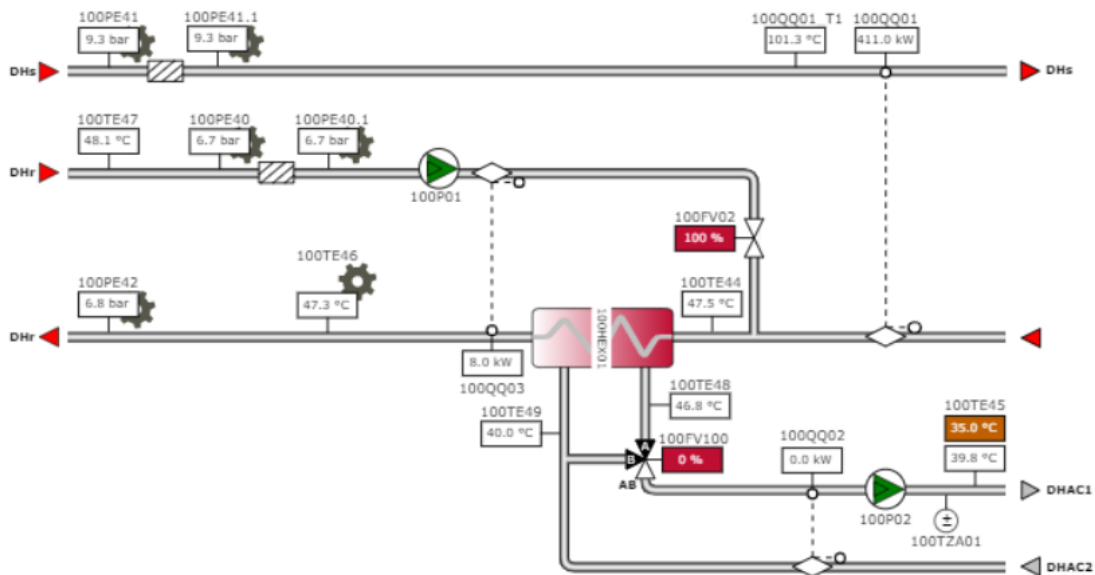
KUVA 2. Hybridilämmitysjärjestelmän operointinäyttö (muokattu), jossa 1. kaukolämmön tulolinja, 2. kaukolämmön paluulinja, 3. aluelämpöverkko, 4. lämpöpumppu ja 5. DHAC-järjestelmä ja 6. keruupiiriin puskurivaraajat (13)

#### 4.1 Kaukolämmön paluuvien energian hyödyntäminen

Kaukolämmön paluulämpötilaa alentamalla saadaan aikaan edullisia vaikutuksia lämmön tuotannolle ja jakelulle. Viileämpi paluuvesi pystyy ottamaan lämpöä talteen useamman tyypistä lämmönlähteistä, mukaan lukien matalalämpöiset lämmönlähteet, kuten teollisuuden hukkalämpö. Kaukolämpöveden matalampi paluulämpötila myös kasvattaa CHP-laitoksen hyötysuhdetta ja parantaa savukaasupesurin toimintaa. Kaukolämpöverkon paluulämpötilaa alentamalla voidaan myös vähentää verkoston lämpöhäviöitä sekä säästää pumppauskustannuksissa tarvittavan virtauksen ja sitä myötä painehäviöiden vähentyessä. (14, s. 15–18.)

Kohteen hybridilämmitysjärjestelmä hyödyntää kaukolämmön paluupuolen energiaa DHAC-yksikön avulla. Lyhenne tulee sanoista District Heating After Cooling ja tarkoittaa vapaasti suomennettuna kaukolämmön jälkijäähdytystä. Kuvassa 3 on esitetty näkymä DHAC-yksikön toiminnasta Fiksu-ohjausjärjestelmässä. DHAC on kytketty kaukolämmön palulinjaan, josta se siirtää lämmitysenergiaa lämpöpumpun keruupuolelle silloin, kun lämpöpumpun toiminnalle on lupa. Kuvassa näkyvä paluuputken lämpötilamittaus 100TE46 määrittelee lämpötilan minimiarvon, jonka alittuessa lämpötila pyritään pitämään asetusravossa rajoitustoimilla. Kuvassa vasemmalla näkyvät

DHr-linjat on kytketty kaukolämmön runkolinjan paluuputkeen, josta paluuvettä kierrätetään DHAC-yksikölle pumpulla 100P01. Pumpun virtaama säätyy optimoidusti lämmöntarpeen mukaan. (12.)



KUVA 3. DHAC Fiksu-ohjausjärjestelmässä (13)

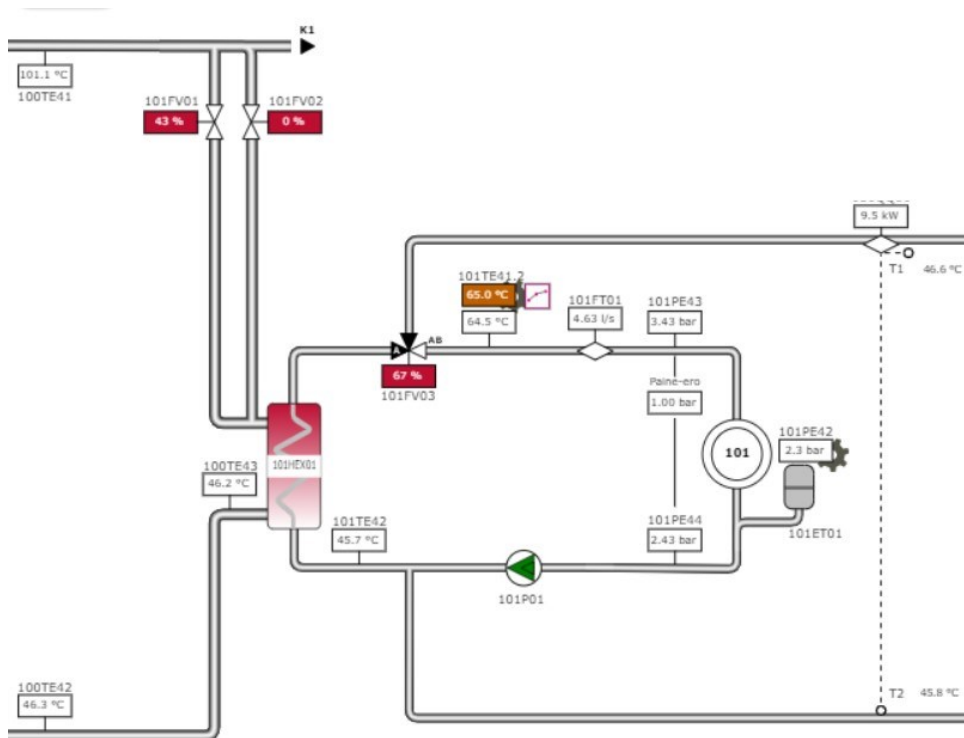
Lämmönsiirtimen 100HEX01 ensiöpuolella virtaa kaukolämmön paluuvesi, jonka lämpöenergiaa siirtyy lämmönsiirtimen välityksellä toisiopuolella virtaavaan lämpöpumpun keruupiirin veteen. Keruupiiriin otettavan kaukolämmön määrää säädetään kolmitieventtiilin 100FV100 avulla. Jos keruupiirin veden lämpötila on riittävän korkea siihen, että lämpöpumpulla saadaan tuotettua tarpeeksi lämpöenergiaa, vesi kiertää vain keruupiirissä eikä kaukolämpövettä käytetä sen lämmittämiseen. Tällöin kolmitieventtiili on auki suunnassa B-AB. Lämmöntarpeen ollessa pumpun tuottamaa lämpömäärää suurempi, kolmitieventtiili avautuu lämmönsiirtimen suuntaan (A-AB) ohjaten virtausta kulkemaan siirtimen kautta, jolloin keruupiirissä kiertävää vettä lämmitetään lisää kaukolämmön paluuviedellä.

## 4.2 Aluelämpöverkko

Kohteeseen on rakennettu oma aluelämpöverkko, jossa kiertävällä vedellä hybridilämmitysjärjestelmän tuottamaa lämpöenergiaa siirretään alueen rakennusten omiin lämmönjakokeskuksiin. Aluelämpöverkko on kaukolämpöverkosta erillinen lämmitysverkko, mutta se on kytketty

kaukolämpöverkkoon lämmönsiirtimen välityksellä, mikä mahdollistaa kaukolämpöveden lämpöenergian siirtämisen aluelämpöverkon veteen. Tämän kohteen aluelämpöverkossa kiertävän veden lämpötilan asetusarvona on 65 °C, eli se on kaukolämmön ensiöpuolen lämpötilaa matalampi. Asetusarvo pysyy ympäri vuoden samana, jotta käyttöveden lämmitys mitoituslämpötilaan 58 °C voidaan taata myös asuntojen lämmitystarpeen ollessa vähäinen.

Lämmitysjärjestelmä käyttää ensisijaisesti lämpöpumpulla tuotettua lämmitysenergiaa. Lämpöpumpun lämmönlähteenä toimii kaukolämpöverkon paluuvesi. Tarvittaessa lämpöenergiaa voidaan ottaa myös kaukolämpöverkon tulolinjan vedestä, jos lämpöpumpun lämpöteho ei jossain tilanteessa riitä. Aluelämpöverkosta lämpöpumpulle menevän ja sieltä palaavan putkilinjan rinnalle on kytketty 2000 litran puskurisäiliö, joka toimii puskurina aluelämpöverkolle. (12.) Kuvan 4 keskiössä on nähtävillä aluelämpöverkko Fiksu-ohjausjärjestelmän näkymässä. Kuvan vasemmassa reunassa näkyvät kaukolämmön meno- ja paluulinjat ja oikeassa reunassa ylhäällä lämpöpumpulta tuleva ja alhaalla lämpöpumpulle menevä linja.



KUVA 4. Aluelämpöverkko Fiksu-ohjausjärjestelmässä (13)

Kuvassa 4 näkyvä lämpötilamittaus 101TE41.2 mittaa aluelämmitysverkon menolämpötilaa ja ohjaa Fiksu-ohjausjärjestelmän välityksellä lämmityspiirin kolmitieventtiiliä 101FV03 ja kaukolämmön ensiöpuolen säätöventtiileitä 101FV01 ja 101FV02 niin, että menolämpötila pysyy asetusarvossaan (kuvassa oranssilla pohjalla). Lämmityspiirin kolmitieventtiilillä on eri toimintatilat lämmitys- ja jäähdytystoiminnoille.

Jos menoveden lämpötila ei saavuta asetusarvoa venttiilin ollessa täysin auki lämpöpumpun suunnasta (B-AB), saadaan lisälämpöä kaukolämmön menopuolelta. Lämmitysverkon virtausta ohjataan lämmönsiirtimelle 101HEX01 avaamalla venttiiliä 101FV03 suunnasta A ja lisäksi ensiöpuolen joko yhtä tai molempia säätöventtiileitä avataan, jolloin kaukolämpövettä pääsee virtaamaan lämmönsiirtimen läpi luovuttamaan lämpöenergiaa aluelämpöverkossa virtaavaan veteen. Jos kaukolämmön jäähtymä jää asetusarvoa pienemmäksi, lämpöpumpulta saatavaa energiaa rajoitetaan ja kaukolämpövettä käytetään puolestaan enemmän, kunnes jäähtymävaatimus toteutuu. Jos taas lämpöpumpulta saadaan lämmitysverkon tarvetta kuumempaa vettä, aluelämpöverkon paluuvettä sekoitetaan menoveteen avaamalla kolmitieventtiiliä suunnasta A, kunnes lämmitysverkon menoveden asetusarvo saavutetaan. Tämän jäähdytystoiminnon aikana kaukolämmön ensiöpuolen säätöventtiilit 101FV01 ja 101FV102 ovat suljettuna, ettei kaukolämpövesi pääse lämmittämään lämmitysverkon vettä.

Aluelämpöverkossa virtaava vesi kiertää alueen rakennusten lämmönjakokeskuksissa luovuttaen lämpöä niiden lämmönsiirtimien kautta huoneistojen sisäilman ja käyttöveden lämmitykseen. Jäähdytynyt vesi palaa lämmönjakokeskuksilta paluuputkea pitkin takaisin lämmitettäväksi.

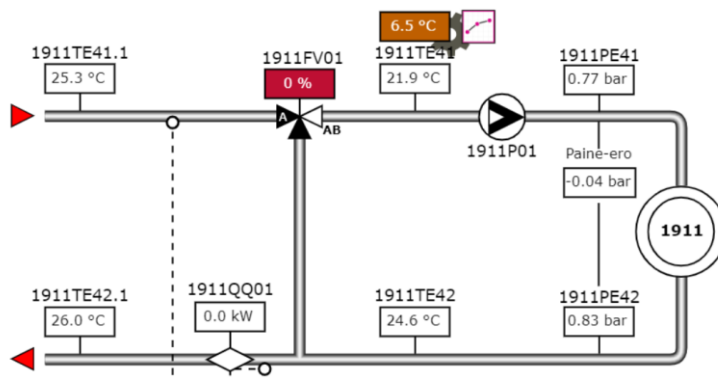
### **4.3 Alueviilennysverkko**

Kohteeseen on toteutettu alueviilennysverkko, jolla toimitetaan viilennysenergiaa rakennusten omiin viilennyksenjakojärjestelmiin sopimusten mukaisesti. Jäähdytystilanteessa lämpöpumpun toiminta muuttuu siten, että se kerää energiaa viilennysverkostossa kiertävästä vedestä. Jokaisessa viilennyksenjakojärjestelmällä varustetussa rakennuksessa on erillinen lämmönsiirrin viilennysverkolle. Lämmönsiirtimessä rakennuksen viilennysverkon vesi luovuttaa lämpöä toisella puolella virtaavaan lämpöpumpun keruupiiriin veteen, jolloin viilennysverkon vesi jäähtyy ja keruupiirin vesi lämpenee.



Lämpöpumppu siirtää rakennuksista palaavasta viilennysverkon vedestä lämpöä latauspiiriin veteen, jolloin viilennysverkon vesi jäähtyy ja palaa takaisin rakennuksia viilentämään. Jäähdytysenergian tuotossa syntynyttä lämpöenergiaa hyödynnetään aluelämpöverkon lämmitykseen, mikä tarkoittaa kesällä pääasiassa käyttöveden lämmitystä. Ylimääräistä lämpöä, jota ei voida hyödyntää aluelämpöverkossa, siirretään kaukolämpöverkkoon. (12.)

Alueviilennysverkko on liitetty lämpöpumpun ja DHAC-yksikön välillä kulkevien putkien rinnalle. Lämpöpumpun jäähdytystoiminto on käytössä, kun ulkolämpötila on yli +14 °C. Kuvassa 5 on esitetty Fiksu-ohjausjärjestelmän näkymä aluejäähdytysverkosta talvella, jolloin jäähdytys ei ole käytössä ja jäähdytysverkkoon virtaavan veden määrää säätelevä kolmitieventtiili 1911FV01 on kiinni jäähdytysverkon suuntaan. Jäähdytystoiminnon ollessa käytössä venttiiliä ohjataan menoveden lämpötilamittauksen 1911TE41 mukaisesti niin, että lämpötila pysyy asetusarvossa 6,5 °C. Jäähdytystoiminnon aikana pumppu 1911P01 kierrättää viilennysverkon vettä vakionopeudella, 0,3 barin paine-erolla.



KUVA 5. Aluejäähdytysverkko Fiksu-ohjausjärjestelmässä (13)

#### 4.4 Lämpöpumppu

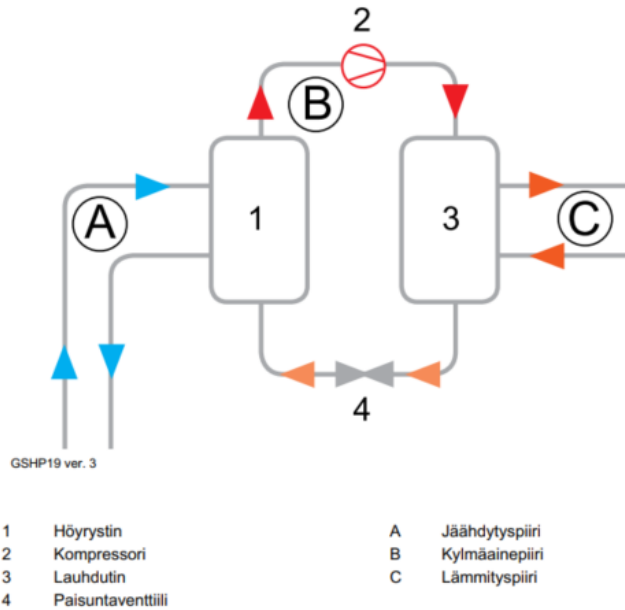
Lämpöpumppu on laite, jonka avulla lämpöenergiaa voidaan siirtää matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Lämmönlähteenä voi toimia vesi, ilma, maaperä tai esimerkiksi teollisuuden tai kotitalouksien tuottama hukkalämpö. Lämpöpumput ovat energiatehokkaita ja siten ympäristöystävällisiä. Niillä voidaan tuottaa lämmitystä ja jäähdytystä energiatehokkaalla tavalla ympäristömme uusiutuvista lämmönlähteistä. Lämpöpumppu tarvitsee vain vähän energiaa nostaakseen viileästä

lämmönlähteestä saatavan lämpöenergian tarvittavan korkeaan lämpötilaan. Lämpöpumppuja voidaan käyttää myös jäähdyttämiseen, jonka sivutuotteena syntyvää lämpöä voidaan toisinaan myös hyödyntää yhtäaikaisen lämmöntarpeen täyttämiseen. (15, s. 275–276, 365.)

Nykyaikaiset lämpöpumput mahdollistavat myös haaleiden hukkalämpöjen hyödyntämisen kauko-  
lämpökäyttöön soveltuvan energian tuottamiseen. Paras hyötysuhde lämpöpumpulle saavutetaan, kun yhdistetään lämmitys ja jäähdytys. Tällöin prosessin yhtä osaa jäähdytetään lämpöpumpulla ja jäähdytysprosessissa saatua lämpöenergiaa voidaan käyttää prosessin toisen osan lämmitykseen perinteisten lämmitysmuotojen sijaan. Näin voidaan saavuttaa hiilineutraali lämmitys- ja jäähdytysratkaisu. (16.)

#### **4.4.1 Lämpöpumppuprosessi**

Lämpöpumpun toiminta perustuu pumpun sisällä suljetussa piirissä kiertävän kylmäaineen höyrystämiseen ja lauhduttamiseen eri painetasoilla (17, s. 15). Lämpöpumpun pääkomponentit ovat yksinkertaisimmillaan höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntaventtiili (kuva 6). Höyrystimelle tullut matalapaineinen ja -lämpötilainen kylmäaine sitoo ympäristöstä lämpöä ja höyrystyy. Höyrystimessä jäähdytettävä aine on esimerkiksi vettä tai ilmaa. Kaasuuntunut kylmäaine imetään kompressoriin, joka puristaa sen korkeampaan paineeseen ja samalla kylmäaineen lämpötila nousee. Korkeapaineinen kylmäainekaasu kulkee lauhduttimeen, jossa se vapauttaa lämpöenergiaa ympäristöön. Luovuttaessaan lämpöenergiaa kylmäaineen lämpötila laskee ja se lauhtuu eli tiivistyy takaisin nesteeksi. Korkeapaineinen nestemäinen kylmäaine johdetaan edelleen paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen paine laskee. Paisunnan yhteydessä osa kylmäaineesta höyrystyy, jolloin sen lämpötilakin laskee. Matalassa lämpötilassa ja paineessa oleva kylmäaine palaa höyrystimelle ja kierto alkaa alusta. (17, s. 49.)



KUVA 6. Lämpöpumpun toimintakaavio (18)

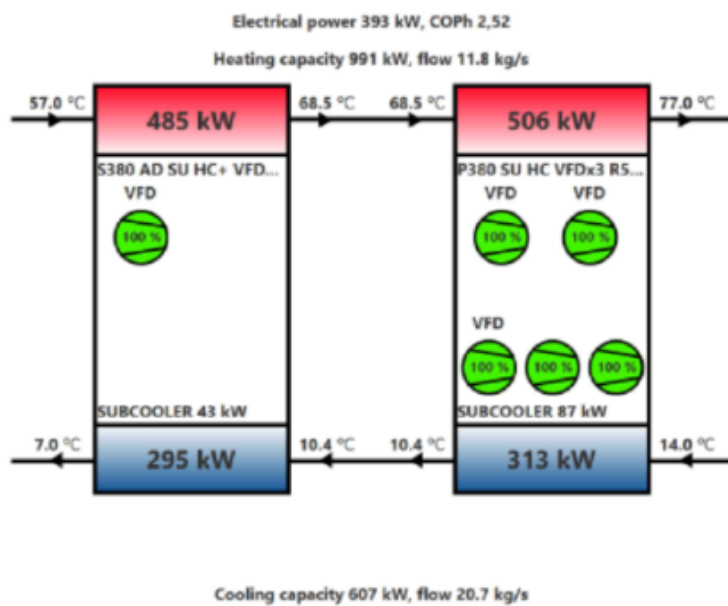
Termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpö siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Kun lämpöenergiaa siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan, täytyy systeemiin tehdä työtä. Lämpöpumpujärjestelmässä työ on kompressoriin vietyä sähköenergiaa, joka muuttuu prosessissa lämpöenergiaksi. Osa lämpöenergiasta siirtyy kylmäaineeseen ja poistuu kompressoria jäähdytettäessä ympäröivään ilmaan tai jäähdyttävään väliaineeseen. (17, s. 16.)

Lämpöpumpun hyötysuhdetta voidaan kuvata lämpökertoimella (COP) ja kylmäkertoimella (COP<sub>c</sub>). Lyhenne COP tulee englannin kielen sanoista Coefficient Of Performance. Lämpökerroin saadaan jakamalla lämpöpumpun tuottama lämpöenergia sen kuluttamalla sähköenergialla. Lämmönlähteen ja lämmitysverkon lämpötiloilla on suuri vaikutus lämpökertoimeen. Hyötysuhde on sitä parempi, eli lämpöpumppu toimii sitä tehokkaammin, mitä korkeampi lämmönlähteen ja mitä matalampi menoveden lämpötila on. (18.)

#### 4.4.2 Kohteen lämpöpumppu

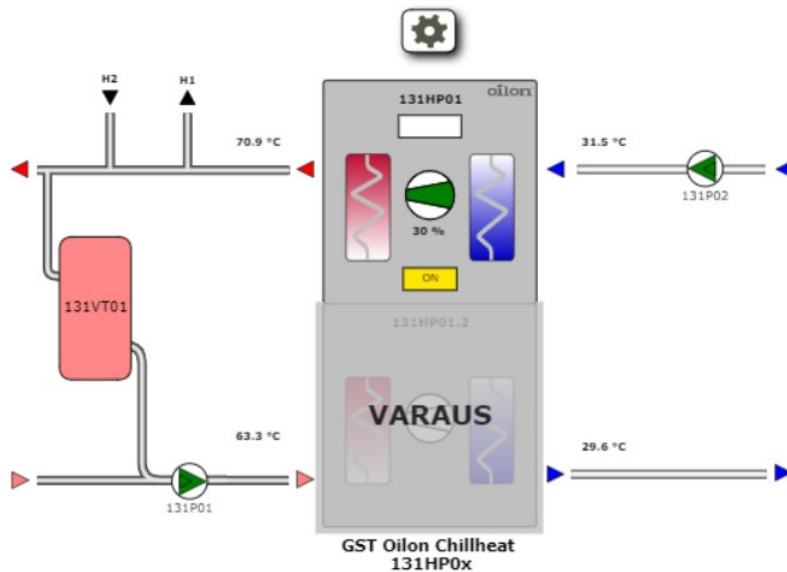
Kohteen hybridijärjestelmässä on tällä hetkellä yksi lämpöpumppu, joka on malliltaan Oilon Chill-Heat P380. ChillHeat-lämpöpumppu on niin sanottu CHC-lämpöpumppu (Combined Heating and Cooling), jolla voidaan tuottaa sekä lämmitystä että jäähdytystä samanaikaisesti. Kesällä

jäähdytystoiminnon ollessa käytössä lämpöpumpun lämmitysteho on 506 kW ja jäähdytysteho 313 kW. Talvella lämmitysteho nousee, kun höyrystinpuolen lämpötilat nousevat ja lauhdutinpuolen menolämpötila putoaa 65–70 °C:n tasolle, koska lämpöenergia menee aluelämpöverkkoon eikä kaukolämpöverkkoon lauhdutettavaksi. Lisäksi lämpöpumpussa on lisävarusteena 87 kW:n alijäähdyt-in. Energiajärjestelmässä on varaus myös toiselle lämpöpumpulle, jonka avulla laajenevan asuinalueen kasvaviin lämmitys- ja erityisesti jäähdytystarpeisiin voitaisiin vastata. Alkuperäisen suunnitelman mukaisten pumppujen mitoitus-tiedot ja tehot on esitetty kuvassa 7. Lämpöpumpussa P380 käytetty kylmäaine on R513A, joka kuuluu neljännen sukupolven fluoripohjaisiin kaasuihin.



KUVA 7. Kohteen lämpöpumppujen keskeiset tiedot alkuperäisen suunnitelman mukaan (18)

Lämpöpumppu on muun järjestelmän tapaan etähallinnassa ja etäohjattavissa Fiksu-ohjausjärjestelmän kautta (kuva 8). Lämpöpumpun ensisijainen ajotapa on pyrkiä pitämään latauspuolelta ja keruupuolelta tulevan veden lämpötila toivotulla tasolla asetettujen säätökäyrien avulla. Kuvassa 8 on esitetty lämpöpumpun lämmitystoiminto, jolloin kaukolämmön paluuveden lämpöä hyödyntävän keruupiirin vesi kiertää sinisellä eli höyrystinpuolella luovuttaen lämpöä punaisella värillä kuvatun aluelämpöverkon lämmittämiseen. Kuvassa nähdään lisäksi aluelämpöverkon puskurivaraaja 131VT01 sekä kytkennät H1 ja H2 kaukolämpöön lauhdutusta varten.

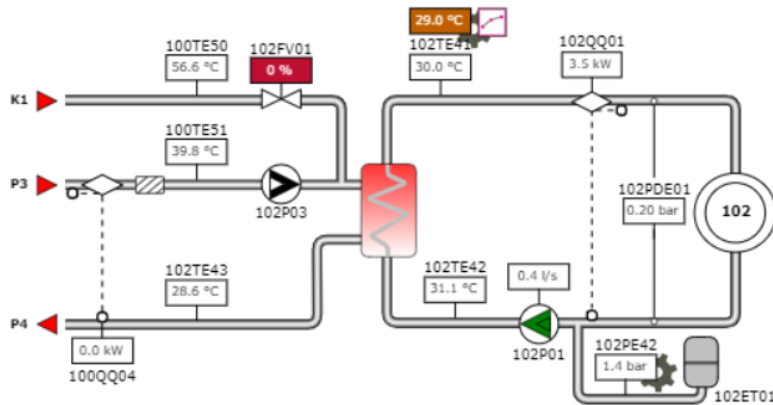


KUVA 8. Lämpöpumpun operointinäyttö Fiksu-ohjausjärjestelmässä (13)

Jäähdytystoiminnon ollessa käytössä pumpun höyrystinpuolella kiertää aluejäähdytysverkon vesi. Jäähdytysverkosta lämpöpumpulle palaava vesi on kerännyt lämpöenergiaa, jota se luovuttaa kylmäaineeseen ja palaa sitten viileämpänä takaisin asuinrakennuksiin. Jäähdytystoiminnossa lauhduttimessa vapautuvaa lämpöenergiaa voidaan hyödyntää aluelämmitysverkossa lämmitettävien tilojen huoneilman ja käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumpun lauhdutinpuolen menoveden asetusarvoa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Asetusarvo on säädetty niin, että pumpun ollessa jäähdytyskäytössä menoveden lämpötila on lämmityskauden tilannetta korkeampi, jotta lämpöenergiaa voidaan sopivassa tilanteessa siirtää myös kaukolämpöverkkoon.

#### 4.5 Autohallin lämmitys

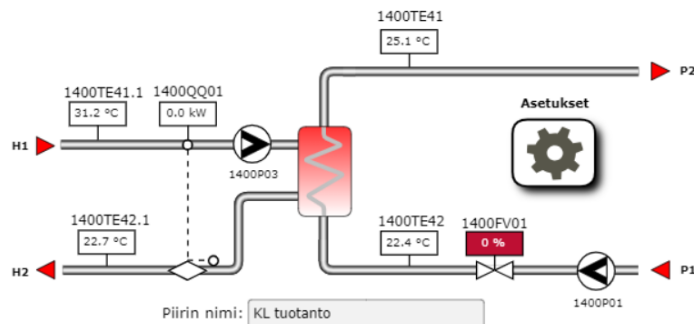
Kohteen autohallin lämmitysjärjestelmä on esitetty kuvassa 9. Kuvassa näkyvä linja P3 tuo lämmönsiirtimelle lämmitysvettä kaukolämmön paluulinjasta sekä DHAC-yksiköltä. Pumpun 102P03 virtaamaa säätämällä pyritään pitämään lämmitysverkon menolämpötila 102TE41 asetusarvoon. Jos menolämpötila jää pumppusäädöllä alle asetusarvon, saadaan lisätehoa kaukolämmön menopuolelta avaamalla säätöventtiiliä 102FV01.



KUVA 9. Autohallin lämmityksen operointinäyttö Fiksu-ohjausjärjestelmässä (13)

#### 4.6 Lauhdutus kaukolämpöön

Lämpöpumpun latauspuolen menoputken ja kaukolämmön meno- ja paluuputkien välille on kytketty sekoituspiiri kaukolämpöön lauhduttamista varten (kuva 10). Lämpöpumpun tuottaman ylimääräisen lämmön siirto kaukolämpöverkkoon alkaa, kun lämpöpumpun latauspuolelta tulevan veden lämpötila 1400TE41.1 nousee yli asetusarvon +75 °C ja järjestelmällä on lupa lämmönsiirtoon. Kaukolämpöpuolen kiertovesipumppu 1400P01 käynnistyy asetetun viiveajan jälkeen ja pumpun kierrosnopeutta ohjataan kaukolämpöverkkoon lähtevän veden lämpötilan 1400TE41 mukaan. Pumpun kierrosnopeus hidastuu, kun kaukolämpöverkkoon lähtevän veden lämpötila alkaa laskea alle asetusarvon. Lämpötilan noustessa pumpun kierrosnopeus kasvaa. Kiertovesipumppu sammutuu, kun latauspuolen lämpötila laskee minimiasetusarvoa matalammaksi. (12.)



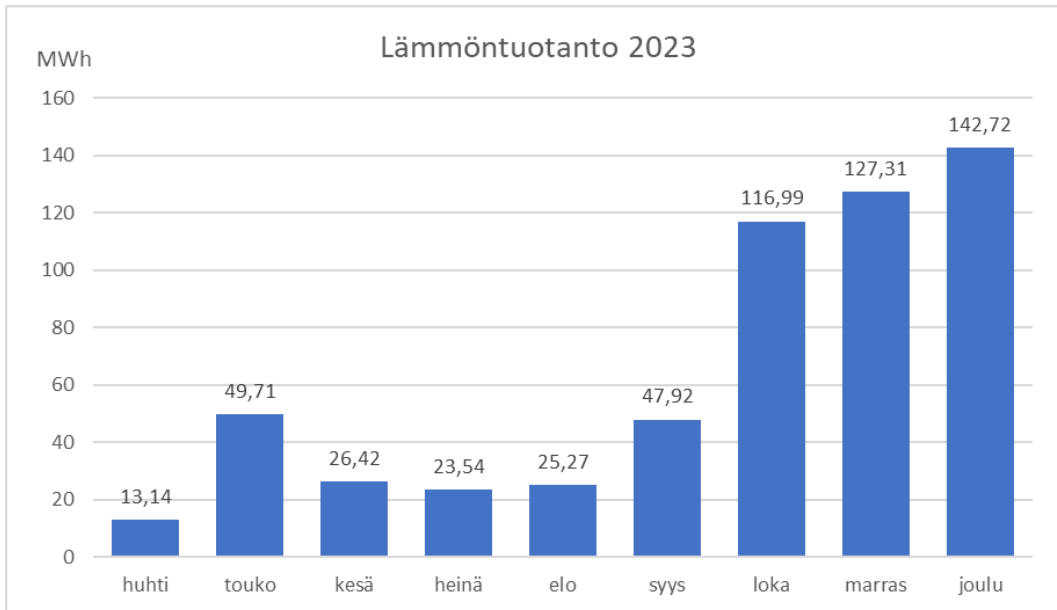
KUVA 10. Kaukolämpöön lauhduttaminen Fiksu-ohjausjärjestelmässä (13)

## 5 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN TOIMINNAN TEKNINEN TARKASTELU

Hybridijärjestelmän toiminnan teknisen tarkastelun keskiössä on tässä työssä lämpöpumpun toiminta. Tarkastelujaksona käytetään vuotta 2023. Lämpöpumpun toimintaa tarkastellaan erikseen lämmitys- ja jäähdytystoimintojen osalta. Lämpöpumppu oli alkuvuoden sammutettuna ja käynnistettiin huhtikuussa, minkä vuoksi sen toimintaa voidaan selvittää vain reilun puolen vuoden ajalta. Teknisessä tarkastelussa selvitetään lämmöntuotannon ja -kulutuksen suhdetta, arvioidaan verkoston lämpöhäviöitä, lasketaan lämpöpumpulle lämpökerroin, arvioidaan hybridijärjestelmän toimintaa viilennyskaudella sekä tutkitaan miten jäähdytystoiminnon vaateet ovat toteutuneet.

### 5.1 Lämmöntuotanto suhteessa lämmönkulutukseen

Lämpöpumpun lämmitysenergian tuotantomäärät kerättiin Fiksu-ohjausjärjestelmästä. Lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian määrä koko vuoden 2023 ajalta oli yhteensä 571,31 MWh. Lämpöpumppu oli alkuvuoden sammutettuna ja käynnistettiin 24.4.2023, minkä vuoksi lämmöntuotantoa tarkastellaan huhti- ja joulukuun väliseltä ajalta. Lämpöpumpun tuottama lämpöenergia kuukausitasolla on esitetty kuvassa 11. Huhtikuussa lämpöpumppu oli käytössä vain viikon ajan, mikä selittää huhtikuun vähäisen tuotantomäärän. Toukokuun ja syyskuun välisenä aikana lämpöpumpun toiminta vaihteli lämmitys- ja jäähdytystoiminnon välillä ulkolämpötilan säätämänä. Lämmitysenergian tuotanto oli tällöin luonnollisesti varsinaisia lämmityskuukausia vähäisempää. Tuotanto oli suurimmillaan joulukuussa, jolloin lämpöpumpulla tuotettiin lähes 143 MWh lämpöenergiaa.



KUVA 11. Lämpöpumpun lämmöntuotanto vuonna 2023

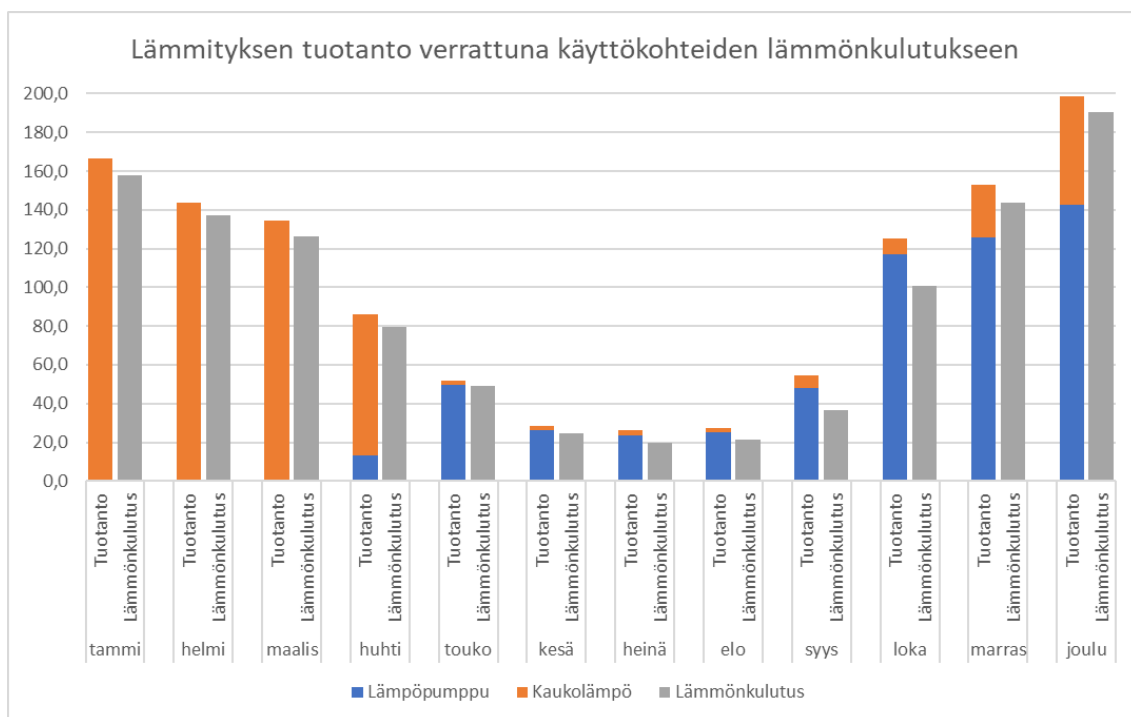
Kaukolämmön kulutustiedot kerättiin Fiksu-ohjausjärjestelmästä. Järjestelmän keräämien hetkelisten tehotietojen avulla laskettiin tuntisten tehojen keskiarvot, joiden perusteella laskettiin kaukolämpöenergian kulutus kuukausitasolla. Vuoden 2023 aikana hybridilämmitysjärjestelmä kulutti yhteensä 625,1 MWh kaukolämpöenergiaa. Aluelämmön kulutustiedot käyttökohteittain koottiin Oulun Energian kulutustietoraporteista ja kaikkien käyttökohteiden lämmönkulutus laskettiin yhteen. Koko vuoden lämmönkulutus neljän aluelämpöä käyttäneen kerrostalon osalta, joista neljäs liittyi lämpöverkkoon syyskuussa, oli 1 086,5 MWh. Taulukkoon 1 on koostettu kuukausittaiset tiedot aluelämpöverkon käyttökohteiden lämmönkulutuksesta, lämpöpumpulla tuotetusta lämpöenergiasta ja järjestelmän kuluttamasta kaukolämpöenergiasta. Taulukossa on esitetty myös lämmöntuotannon ylijäämä, joka on ylijäävä osuus, kun lämpöpumpulla ja kaukolämmöllä tuotetusta lämpöenergiasta on vähennetty käyttökohteiden lämmönkulutus.



TAULUKKO 1. Tiedot lämmöntuotannosta ja -kulutuksesta vuonna 2023

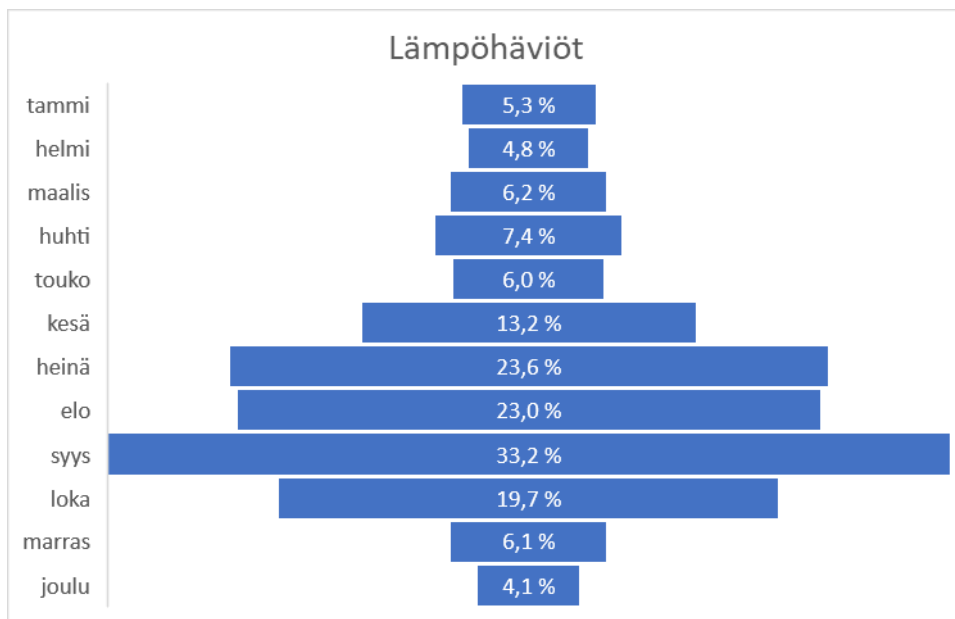
	Lämmönkulutus	Lämmöntuotanto lämpöpumpulla [MWh]	Kaukolämmön kulutus [MWh]	Lämmöntuotanto +kaukolämpö yhteensä [MWh]	Lämmöntuotannon ylijäämä [MWh]
tammi	157,6	0,0	166,5	166,5	8,9
helmi	137,1	0,0	143,9	143,9	6,9
maalis	126,1	0,0	134,4	134,4	8,3
huhti	79,7	13,1	72,9	86,1	6,3
touko	49,0	49,7	2,3	52,1	3,1
kesä	24,8	26,4	2,1	28,6	3,8
heinä	20,0	23,5	2,6	26,2	6,2
elo	21,1	25,3	2,2	27,5	6,3
syys	36,5	47,9	6,7	54,6	18,1
loka	100,5	117,0	8,2	125,2	24,6
marras	143,6	125,6	27,4	153,0	9,4
joulu	190,3	142,7	55,6	198,3	8,1
<b>Yhteensä</b>	<b>1086,5</b>	<b>571,3</b>	<b>625,1</b>	<b>1196,4</b>	<b>110,0</b>

Lämmönkulutuksen ja lämmöntuotannon vertailu on esitetty kuvassa 12. Vuoden ensimmäisen neljänneksen ajan aluelämpöverkossa kiertävää vettä lämmitettiin pelkästään kaukolämmöllä lämpöpumpun ollessa pois käytöstä. Lämpöpumppu käynnistettiin 24.4.2023, minkä jälkeen lämpöpumpulla pystyttiin kattamaan lähes koko lämmityksen tarve. Kesä–lokakuun välisenä aikana lämpöpumpulla tuotetun energian määrä oli lähes 90 % kaikesta tuotetusta lämmöstä. Marraskuussa kaukolämmön osuus kasvoi 18 %:iin ja joulukuussa se oli 28 %.



KUVA 12. Lämmönkulutuksen ja -tuotannon vertailu

Ylimääräisen lämmöntuotannon avulla oli mahdollista arvioida myös aluelämpöverkon lämpöhäviöitä, koska tuotetun ylimääräisen lämpöenergian voidaan ajatella kuluvan verkoston lämpöhäviönä. Lämpöhäviöprosentti laskettiin tuotetun lämmön ylimäärän osuutena tuotetun lämpöenergian kokonaismäärästä. Lämpöhäviöiden prosentuaaliset osuudet kuukausittain on esitetty kuvassa 13. Koko vuoden 2023 kuukausittaisten lämpöhäviöiden keskiarvo oli 12,7 %. Lämpöhäviöiden osuus oli pienimmillään talvella ja kasvoi kesän aikana, jolloin aluelämpöverkon veden virtausnopeus oli pienempi. Häviöenergian määrä kuitenkin pieneni kesällä (taulukko 1) kulutuksen ollessa vähäisempää. Syys–lokakuun suuret lämpöhäviöt selittynevät 25.8.–13.10. välisenä aikana tehdyillä aluelämpöverkoston rakennustöillä, jolloin eristämätöntä kaukolämpölinjaa on ollut noin 170 metrin matkalla (21.).



KUVA 13. Aluelämpöverkon lämpöhäviöt vuonna 2023

## 5.2 Lämpöpumpun lämpökerroin

Lämpöpumpun lämmitystoiminnon hyötysuhteen arvioinnissa käytetään COP-arvoa eli lämpöpumpun lämpökerrointa tietyssä ulkolämpötilassa. COP-arvo on lämpöpumpusta saatavan lämpötehon ja lämpöpumpun kompressorin ja kiertopumpun kuluttaman sähkötehon suhde. COP-arvo kuvastaa sitä, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöä suhteessa käyttämäänsä sähköenergiaan kyseisellä hetkellä ja kyseisissä olosuhteissa. Esimerkiksi COP-arvon ollessa 3, lämpöpumppu voi tuottaa lämpöenergiaa kolminkertaisesti kuluttamaansa sähköenergiaan nähden. (17.) Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan myös SCOP-arvolla, joka on lyhenne englanninkielisestä termistä Seasonal Coefficient of Performance ja joka kertoo lämpöpumpun keskimääräisen hyötysuhteen tietyntylaisessa ilmastossa (19).

Lämmitystoiminnon hyötysuhteen tarkastelu suoritettiin varsinaisten lämmityskuukausien osalta, ajanjaksolla 1.10.–31.12.2023, jolloin jäähdytystoiminto ei ollut käytössä. Hyötysuhteen laskentaan käytettiin Fiksu-ohjausjärjestelmästä saatua mitattua tietoa lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian määrästä sekä lämpöpumpun käyttämän sähköenergian kulutusta. Lämpöpumpun sähkökulutusta ei ollut erikseen mitattu, mutta se saatiin selville vähentämällä järjestelmän kokonais-sähkökulutuksesta järjestelmän peruskulutus. Peruskulutuksena laskennassa käytettiin

sähkönkulutuksen kuukausittaista keskiarvoa ennen lämpöpumpun käynnistystä. Lämpöpumpun lämpökerroin lasketaan kaavalla 1.

*KAAVA 1. Lämpökertoimen laskeminen*

$$SCOP = \frac{\text{tuotettu lämpöenergia}}{\text{kulutettu sähköenergia}}$$

*jossa*

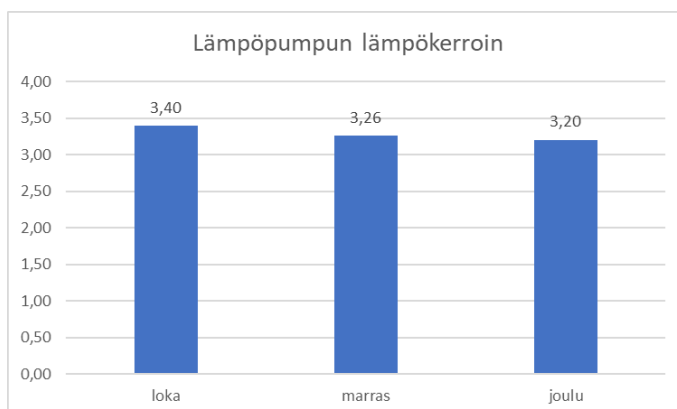
*tuotettu lämpöenergia* = lämpöpumpulla tuotettu energia (MWh)

*kulutettu energia* = lämpöpumpun kuluttama sähköenergia (MWh)

Lämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian määrä tarkastelujaksolla oli 385,3 MWh ja lämpöpumpun sähkönkulutus 117,9 MWh. Lämpöpumpun lämpökertoimeksi eli keskimääräiseksi SCOP-arvoksi koko tarkastelujaksolla saatiin kaavan 1 mukaisesti:

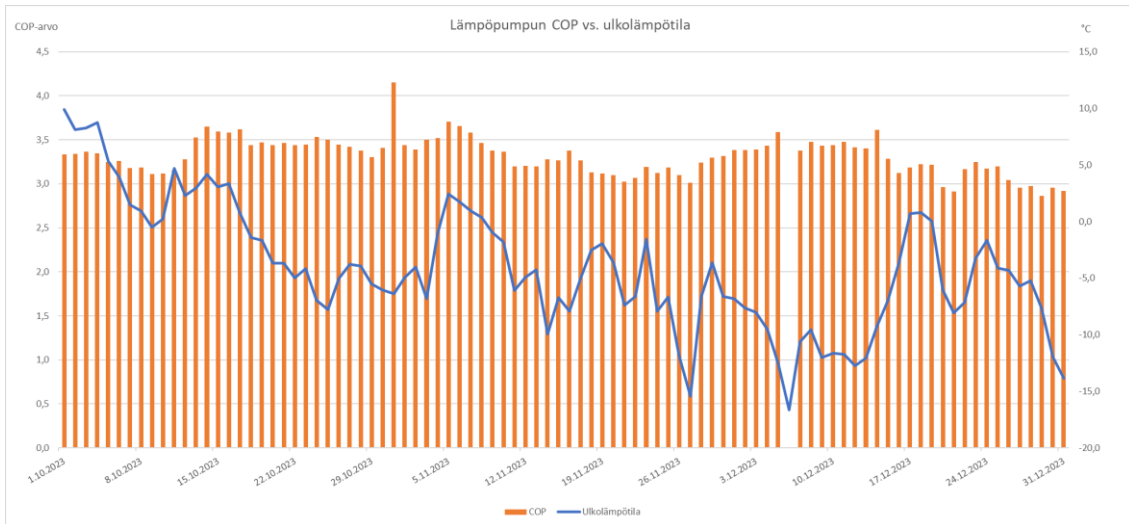
$$SCOP = \frac{385,3 \text{ MWh}}{118,0 \text{ MWh}} = 3,27$$

Lämpökerrointa tarkasteltiin myös kuukausikohtaisesti, jolloin SCOP-arvo vaihteli välillä 3,20–3,40 (kuva 14). Kuukausittaisen lämpökerrointen keskiarvo oli 3,29.



*KUVA 14. Lämpöpumpun kuukausittainen lämpökerroin lämmityskuukausien aikana vuonna 2023*

Lämpöpumpun hyötysuhdetta tarkasteltiin lisäksi päiväkohtaisesti ja verrattiin ulkolämpötilan vuorokautiseen keskilämpötilaan, jotta voitaisiin havaita ulkolämpötilan mahdolliset vaikutukset lämpöpumpun käytön tehokkuuteen. Lämpöpumpun päiväkohtainen lämpökerroin sekä keskilämpötila tarkastelujaksolla on esitetty kuvassa 15. Kuvasta voidaan havaita, ettei vuorokautisen keskilämpötilan ja COP-arvon välille muodostunut selkeää yhteyttä, vaan lämmöntuotannon COP-arvo vaihteli päiväkohtaisesti välillä 2,9–4,2 ulkolämpötilasta riippumattomasti.



KUVA 15. Lämpöpumpun hyötysuhde lämmityskaudella ulkolämpötilaan verrattuna

Lämpöpumpun hyötysuhdetta tarkasteltiin myöhemmin myös Fiksu-ohjausjärjestelmästä, kun tarvittavat mittaukset COP-luvun laskemiseksi oli saatu kytkettyä järjestelmään. Tarkastelussa havaittiin, että lämpöpumpun lauhdutinpuolelle tulevan veden lämpötilaa laskemalla hyötysuhdetta voitaisiin parantaa, eli lämpöpumpun toimintaa saada tehokkaammaksi, kun lämpötilaero tulo- ja menopuolella kasvaisi. (20.) Järjestelmän toimintaa korjaavilla toimenpiteillä aluelämpöverkosta palaavan veden lämpötilaa saatiin laskettua reilusti aiempaa matalammaksi. Ongelmaksi jäi kuitenkin edelleen puskurivaraajan 131VT01 kautta kiertävä virtaus, joka lämmitti lämpöpumpulle palaavan veden asetuservoa korkeammaksi.

### 5.3 Hybridijärjestelmän toiminnan tarkastelu viilennyskaudella

ChillHeat-lämpöpumpun toimintaa tarkasteltiin erikseen viilennyskauden ajalta, jolloin alueviilennysverkon asiakkaille oli tarjolla asuntojen viilennysmahdollisuus alueviilennysverkon kautta.

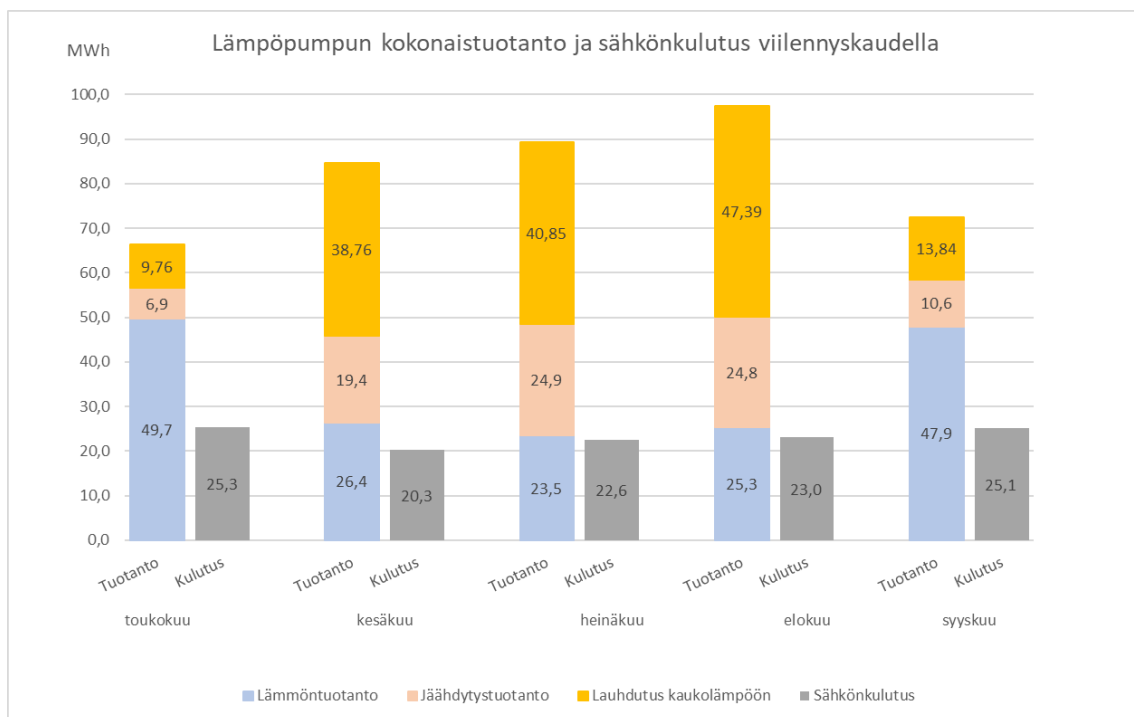
Tarkastelujakso sijoittui ajanjaksolle 1.5.–30.9.2023, jonka aikana lämpöpumpulla tuotettiin yhteensä 86,6 MWh viilennysenergiaa. Opinnäytetyöhön liittyvien selvitysten aikana kävi ilmi, ettei tarkempi mittaustieto tuotetun viilennysenergian määrästä ollut siirtynyt ohjausjärjestelmään eikä myöskään lämpöpumpun toimintamoodista ollut käytettävissä tilastoitua tietoa, joten lämpöpumpun jäähdytyskäyttöä pyrittiin tässä työssä selvittämään mitatun ulkolämpötilan perusteella. Lämpöpumpun jäähdytyskäytön raja-arvona on vähintään +14 °C:n ulkolämpötila, ja tarkastelujakson aikana oli yhteensä 2 128 tuntia, joiden aikana ulkolämpötilan tuntinen keskiarvo oli yli raja-arvon ja lämpöpumpun oletettiin toimivan jäähdytysmoodissa. Viilennysenergian kokonaistuotanto jaettiin ulkolämpötilan mukaisille viilennystunneille, jotta viilennystoimintoa voitaisiin tarkastella yksityiskohtaisemmin.

Lämpöpumpun viilennystoiminnon hyötysuhdetta oli tarkoitus arvioida samaan tapaan kuin lämmitystoiminnon osaltakin, eli laskemalla lämpöpumpulle kylmäkerroin tuotetun viilennysenergian ja lämpöpumpun kuluttaman sähköenergian suhteena. Lämpöpumpun toiminta jäähdytyksen ja lämmityksen välillä vaihtelee kuitenkin myös yhden tunnin ajanjaksolla ja järjestelmän sähkönkulutusdataa puolestaan on kerätty tunneittain, mikä teki sähkönkulutuksen jakamisesta lämpöpumpun eri käyttötapojen kesken käytännössä mahdotonta. Lämpöpumpun hetkellinen tuotantoteho myös vaihtelee todellisuudessa, eikä kokonaistuotannon jakaminen tasan jäähdytystoiminnon käyttötunneille anna näin ollen tarkkaa tietoa viilennyksen tuotannosta.

Lämpöpumppu tuottaa jäähdytyksen sivutuotteena myös lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää aluelämpöverkossa esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen tai vaihtoehtoisesti lauhduttaa kaukolämpöveden. Työhön liittyvien selvitysten aikana havaittiin, ettei kaukolämpöön lauhdutetun energiamäärän mittaustieto ollut siirtynyt Fiksu-ohjausjärjestelmään. Lauhdutetun energian määrästä oli kuitenkin tiedossa energiamittarilta helmikuussa 2024 luettu kokonaismäärä sekä noin vuotta aiemmin kirjattu mittarilukema. Koska kaukolämpöön voidaan lauhduttaa vain silloin, kun lämpöpumpulta saadaan yli +75 asteista vettä, mikä lämpöpumpun säätökäyrän mukaisesti tarkoittaa vähintään noin +16 asteen ulkolämpötilaa, voidaan kaiken lauhduttamisen olettaa tapahtuneen vuoden 2023 kesän aikana. Näin ollen lauhdutetun energian määrä saatiin tiedossa olevien mittarilukemien erotuksena. Kaukolämpöön lauhdutetun energian määrä vuonna 2023 oli yhteensä 150,6 MWh. Kaukolämpöön lauhdutetun energian kokonaismäärä jaettiin tasan niille tunneille, jolloin ulkolämpötila oli ollut vähintään +16 °C. Näin voitiin laskea arvio lauhdutetun energian kuukausittaisista kokonaismääristä.

Kaukolämpöverkkoon lauhduttaminen tapahtuu sekoituspiirissä, joka on kytketty lämpöpumpulta aluelämpöverkkoon lähtevään putkeen ennen lämpöpumpun tuottamaa energiaa mittaavaa energiamittaria, joten kaukolämpöön lauhdetun energian määrää ei huomioitu lämpöenergian tuotannon ja kulutuksen vertailussa luvussa 5.1.

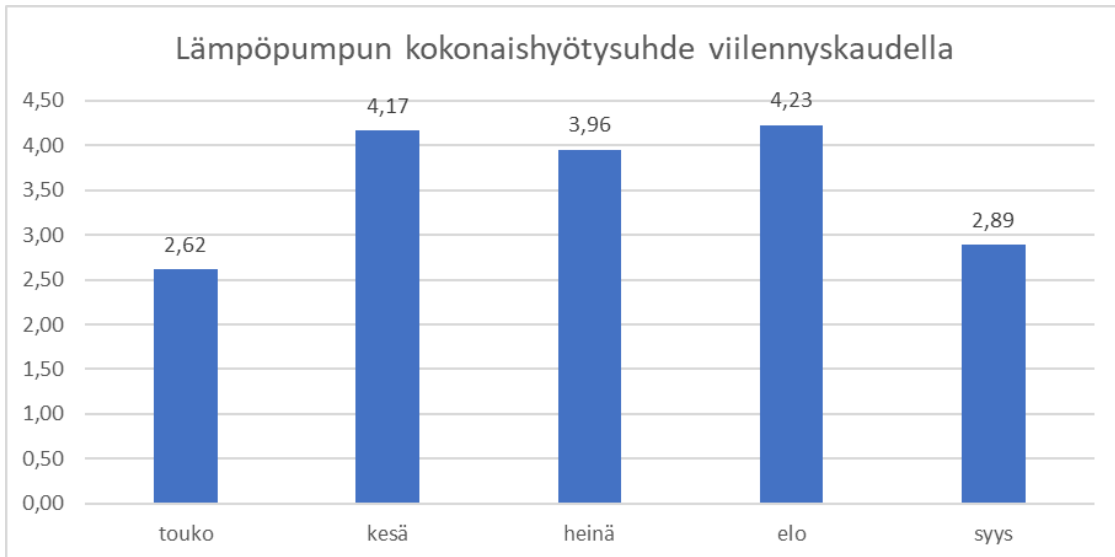
Koska viilennystoiminnon osalta hyötysuhdetta ei puutteellisten mittaustietojen vuoksi voitu tarkastella omana erillisenä osanaan, päädyttiin tässä työssä tarkastelemaan lämpöpumpun kokonaishyötysuhdetta viilennyskauden ajalta. Hyötysuhteen laskennassa huomioitiin sekä jäähdytyksen että lämmöntuotanto, kaukolämpöön lauhdetun lämpöenergian määrä ja lämpöpumpun sähkönkulutus. Lämpöpumpun kuukausittain tuottama viilennys- ja lämpöenergia, kaukolämpöön lauhdettu energia sekä lämpöpumpun kuluttama sähköenergia viilennyskauden ajalta on esitetty kuvassa 16.



KUVA 16. Lämpöpumpun kokonaistuotanto ja sähkönkulutus kuukausitasolla viilennyskauden aikana

Lämpöpumpujärjestelmälle laskettiin viilennyskauden ajalle kokonaishyötysuhde edellä esitettyjen lämpöpumpun kuukausittaisten kokonaistuotantomäärien ja sähkönkulutuksen suhteena. Hyötysuhde kuukausitasolla on esitetty kuvassa 17. Lämpöpumpun kokonaishyötysuhteen

keskiarvoksi saatiin kuukausittaisten hyötysuhteiden perusteella 3,57. Hyötysuhde laskettiin myös niin, että koko viilennyskaudella tuotetun jäähdytys- ja lämpöenergian sekä kaukolämpöön lauhdutetun energian määrä jaettiin järjestelmän kuluttaman sähköenergian määrällä. Tällä tavalla lasketuna koko viilennyskauden aikaiseksi lämpöpumpun hyötysuhteeksi saatiin 3,53.



KUVA 17. Lämpöpumpun kokonaishyötysuhde viilennyskaudella vuonna 2023

Viilennyskauden aikaisen lämpöpumpun hyötysuhteen laskennan luotettavuuteen vaikutti viilennysenergian tuotannon ja kaukolämpöön lauhdutetun energian tarkemman mittaustiedon puuttuminen. Ulkolämpötilaan perustuva viilennysenergian ja kaukolämpöön lauhdutetun energian kokonaistuotantomäärien jakaminen oletetuille viilennys- ja lauhdutustunneille ei välttämättä ollut täysin luotettava menetelmä todellisten kuukausittaisten tuotantomäärien selvittämiseen ja voi vääristää kuukausittaisia kokonaishyötysuhteita.

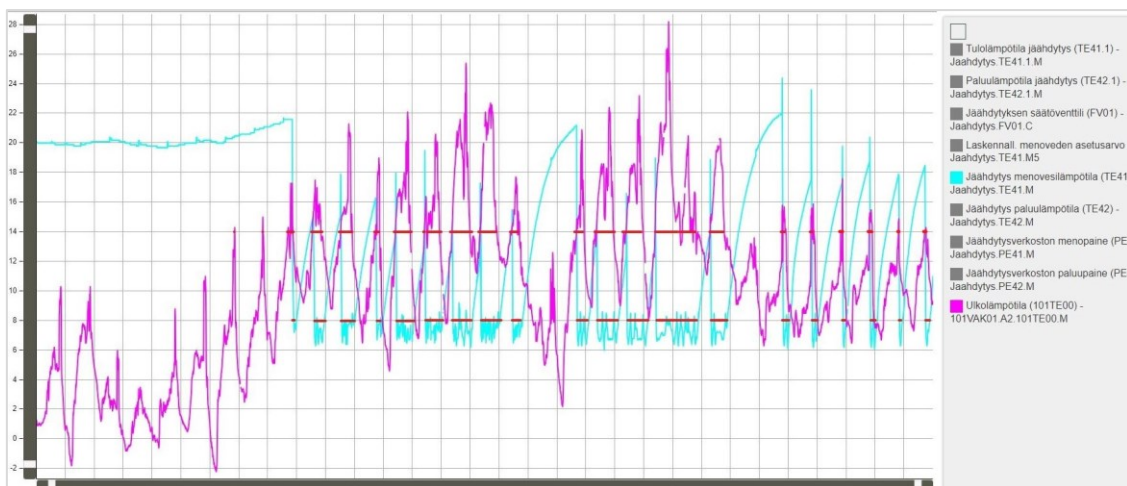
#### 5.4 ChillHeat-lämpöpumpun jäähdytystoiminnon tarkastelu

Lämpöpumpun jäähdytystoiminnon osalta haluttiin tarkastella myös sitä, miten viilennysenergian tuotanto on vastannut sitä, mitä asiakkaille on luvattu. Viilennyksen toimitussopimukseen on kirjattu, että myyjän toimittaman alueviilennysveden lämpötila asiakkaan mittauskeskuksessa sijaitsevalla vaihtimella mitattuna on enintään +8 °C. Esimerkiksi vikatilanteessa sovitusta lämpötilasta voidaan poiketa. (21.) Lupauksen toteutumista tarkasteltiin Fiksu-ohjausjärjestelmästä kerättyjen



trendikuvaajien avulla. Mittaustiedoiksi kuvaajiin valittiin alueviilennysverkkoon menevän jäähdytysveden lämpötila TE41 sekä ulkolämpötila 101TE00. Tarkastelun helpottamiseksi kuvaajat koostettiin kuukausitasolla.

Tarkastelussa havainnointiin viilennystoiminnon reagointia ulkolämpötilan muutoksiin, eli sitä, laskeeko jäähdytysveden lämpötila +8 °C:n tasolle ulkolämpötilan noustessa yli +14 °C:een. Toukokuun 2023 kuvaaja on esitetty kuvassa 18 ja loput kuukausittaiset kuvaajat liitteessä 1. Kuvaajissa violetti käyrä esittää ulkolämpötilaa ja turkoosi käyrä jäähdytyksen menoveden lämpötilaa. Havainnoinnin helpottamiseksi kuvaajiin on merkitty punaisella viivalla ne jaksot, kun ulkolämpötila ylittää +14 °C raja-arvon ja vastaavasti ne jaksot, jolloin jäähdytyksen menoveden lämpötila on korkeintaan noin +8 °C.



KUVA 18. Jäähdytysverkon menoveden lämpötila suhteessa ulkolämpötilaan toukokuussa 2023

Kuvaajia tarkastelemalla voidaan todeta, että jäähdytyksen menoveden lämpötila reagoi pääasiassa hyvin ulkolämpötilan noustessa yli viilennystoiminnon raja-arvon. Viilennystoiminnon ollessa käytössä menoveden lämpötila pysyttelee enimmäkseen alle +8 °C:ssa. Hetkellisesti mitatut korkeimmat menoveden lämpötila-arvot poikkeavat enimmäkseen alle yhden asteen luvatusista. Ainoastaan elokuussa on havaittavissa selkeä, useamman tunnin kestänyt menoveden lämpötilan nousu tavoitearvoa korkeammaksi, mikä voisi viitata lyhyeen häiriöön järjestelmän toiminnassa. Järjestelmän voidaan tämän tarkastelun perusteella arvioida toimivan hyvin viilennystoiminnon osalta ja lämpöpumpun tuottavan viilennysenergiaa toivotulla tavalla.

Viilennyksen asiakaskohtaisilla toimitussopimuksilla on alueviilennysverkon menolämpötilan ohella maininta, jonka mukaan jäähdytysveden tulee olla vähintään +14 °C poistuessaan asiakkaan kierrosta asiakkaan laitteistosta mitattuna (21). Asiakkaiden laitteistojen lämpömittarien dataa ei ollut työssä käytettävissä, mutta viilennysverkon asiakaslaitteilta palaavassa putkessa sijaitsevan lämpötilamittarin TE42 mukaan palaavan veden lämpötila oli viilennystoiminnon käytön aikana huomattavasti oletettua viileämpää. Palaavan viilennysveden alhaisen lämpötilan syy on todennäköisesti verkostossa ja se tullaan selvittämään viilennyksenmyyjän toimesta seuraavalla viilennyskaudella.

## 6 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN TALOUDELLINEN TARKASTELU

Lämpöpumppujärjestelmällä odotetaan saavutettavan taloudellista hyötyä perinteiseen kaukolämmöllä toteutettuun lämmitykseen nähden. Tässä luvussa tarkastellaan lämpöpumpulla saavutettua hyötyä sekä arvioidaan, millä tuotantokustannuksilla lämpöpumpun käyttö on vielä kannattavaa. Lisäksi koko hybridijärjestelmän osalta tehdään kannattavuuslaskelma vuoden 2023 myyntitulojen ja kuluerien perusteella.

### 6.1 Lämpöpumpulla saavutetun hyödyn arviointi lämmityskaudella

Lämpöpumppujärjestelmällä saavutettua hyötyä arvioitiin vertaamalla lämpöpumpulla tuotetun energian kustannuksia siihen, jos kaikki lämpö olisikin tuotettu kaukolämmöllä. Oulun Energian Karjasillan kohteessa asiakasta ei laskuteta suoraan kaukolämmön kulutuksen vaan aluelämpöverkon energiankulutuksen mukaan, joten tässä työssä kaukolämmön hintana käytetään lämmöntuottajalle aiheutuvia kustannuksia kaukolämmön tuotannosta. Lämpöpumpulla tuotetun lämmitysenergian kustannuksina käytetään kaukolämmön paluuveden energian hintaa sekä sähkölaskuista saatavia sähkön kulutus- ja hintatietoja.

Tarkastelu suoritettiin 1.10.–31.12.2023 välisellä ajanjaksolla. Lämpöpumpulla tuotettiin tarkastelujakson aikana yhteensä 385,3 MWh lämpöenergiaa. Hybridilämmitysjärjestelmän sähkön kulutus tarkastelujaksolla oli 125,8 MWh ja kulutetun kaukolämmön paluuveden energiamäärä 278,3 MWh. Tässä työssä kulutetusta kaukolämmön paluuveden energiasta 60 % ajatellaan olevan niin sanottua ilmaisenergiaa, ja jäljelle jäävän 40 % osuuden hintana käytetään kaukolämmön tuotantokustannuksia (22). Energiankulutuksen kustannukset lasketaan kulutetun energian (MWh) ja energian hinnan (€/MWh) tulona ja lämpöpumpulla tuotettu säästö kaukolämpöön verrattuna kaavalla 2. Vertailussa selvisi, että energian tuottaminen lämpöpumpulla oli noin 16 % edullisempää, kuin kaukolämmöllä tuotettuna. Lämpöpumpulla saavutetun hyödyn laskenta kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 2.

## *KAAVA 2. Lämpöpumpulla tuotetun säästön laskenta*

*Lämpöpumpulla tuotettu säästö = kaukolämmön hinta –  
lämpöpumpun kustannukset*

*jossa*

*kaukolämmön hinta* = lämpöpumpun tuottaman energiamäärän hinta kaukolämmöllä tuotettuna (€)

*lämpöpumpun kustannukset* = lämpöpumpulla tuotetun energian kustannukset (€)

Työssä haluttiin selvittää myös, millä sähkön hinnalla lämmöntuotanto lämpöpumpulla on vielä kannattavaa kaukolämmöllä tuotettuun verrattuna. Sähkönhinnan raja-arvo saadaan karkeasti ajatellen laskettua kertomalla kaukolämmön tuotantokustannusten hinta lämpöpumpun keskimääräisellä SCOP-arvolla (kaava 3). Näin saadaan arvo, jota sähkön kokonaishinta ei saa ylittää, jos lämpöpumpulla tuotetun energian halutaan olla kaukolämmöllä tuotettua edullisempaa.

## *KAAVA 3. Sähkönhinnan raja-arvon määrittäminen*

*Sähkönhinnan raja – arvo = kaukolämmön hinta \* SCOP*

*jossa*

*kaukolämmön hinta* = kaukolämmön tuotantokustannukset (€/MWh)

*SCOP* = lämpöpumpun keskimääräinen SCOP-arvo

Sähkönhinnan raja-arvon laskenta on esitetty liitteessä 3.

## **6.2 Energian tuotantokustannusten raja-arvo viilennyskaudella**

Työssä haluttiin selvittää myös viilennyskauden osalta, millä energian tuotantohinnalla energian tuottaminen lämpöpumpulla on kannattavaa. Lämpöpumppu tuottaa viilennyskaudella

viilennysenergiaa, lämmitysenergiaa sekä myös ylimääräistä lämpöenergiaa, jota voidaan lauhduttaa kaukolämpöverkkoon ja myydä muihin lämmityskohteisiin.

Tarkastelussa huomioitiin kaikki lämpöpumpun tuottama energia. Kaikille energiatyypeille laskettiin kuukausittaiset myyntihinnat energian tuotantomäärien (MWh) ja energiatyyppin myyntihinnan (€/MWh) tulona. Laskennassa oletettiin, että kaikki kaukolämpöverkkoon tuotettu lämpöenergia saadaan myytyä. Eri energiatyyppien myyntitulot laskettiin yhteen, jolloin saatiin selville lämpöpumpun tuottaman energian kokonaismyyntihinta. Energian tuottamiseen käytetyn sähkön osalta huomioitiin koko järjestelmän kuluttaman sähkön kuukausittaiset kokonaismäärät. Laskennassa käytetyt energian tuotantomäärät ja järjestelmän sähkönkulutus on esitetty taulukossa 2.

*TAULUKKO 2. Viilennyskauden aikainen lämpöpumpun energiantuotanto ja lämpöpumpujärjestelmän sähkönkulutus*

	Lämmön- tuotanto [MWh]	Jäähdytys- tuotanto [MWh]	Lauhdutus kaukoläm- pöön [MWh]	Järjestel- män säh- könkulutus MWh
<b>touko</b>	49,71	6,87	9,76	27,99
<b>kesä</b>	26,42	19,40	38,76	22,86
<b>heinä</b>	23,54	24,89	40,85	25,24
<b>elo</b>	25,27	24,81	47,39	25,71
<b>syys</b>	47,92	10,62	13,84	27,65
<b>yh- teensä</b>	172,86	86,60	150,60	129,45

Energian tuotantokustannusten raja-arvo laskettiin jakamalla kokonaismyyntitulot (€) tuotantoon käytetyn sähköenergian kokonaismäärällä. Näin saatiin selville mitä raja-arvoa tuotantokustannukset eivät saa ylittää, jos tuotannon halutaan olevan taloudellisesti kannattavaa. Kaikki laskennassa käytetyt myyntihinnat ja tuotantokustannusten raja-arvo kuukausittain on esitetty liitteessä 4.

### 6.3 Hybridilämmitysjärjestelmän taloudellisen kannattavuuden tarkastelu

Kohteen lämpöpumppujärjestelmän taloudellista kannattavuutta arvioitiin työssä myös kokonaisuutena, jossa menoina huomioitiin hybridijärjestelmästä aiheutuvat kustannukset sekä kaukolämmön kulutus ja tuloina lämmön- ja kylmänmyynnistä saadut tulot sekä ylimääräisen lämmön lauhduttamisesta kaukolämpöön saatu hyöty. Hybridijärjestelmän kuluina laskennassa huomioitiin sähkölaskujen mukaiset sähkön siirto- ja kulutusmaksut, kaukolämmön paluuveden kulutuksesta aiheutuvat kustannukset sekä järjestelmän huolto- ja ylläpitokustannukset.

Lämmönmyynnin osalta käytettävissä oli kuukausittaiset laskutustiedot neljälle käyttöpaikalle eriteltynä. Kylmänmyynnistä ei ollut saatavilla kuukausikohtaista laskutustietoa, joten kannattavuuden arvioinnissa viilennysenergian osalta huomioitiin käyttöpaikkojen kokonaislaskutus viilennyskauden ajalta. Arvio kuukausikohtaisesta laskutuksesta tehtiin kuitenkin ulkolämpötilojen perusteella jaettujen viilennysenergian tuotantomäärien mukaan.

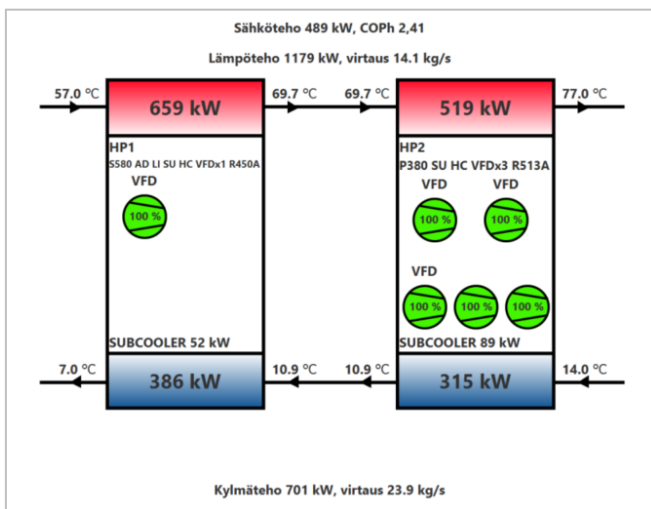
Kaukolämpöön lauhdutetun energiamäärän osalta käytettävissä oli energiamittarista luettu lauhdutusenergian kokonaismäärä. Lauhdutusenergian määrän jakautumista eri kuukausille arvioitiin ulkolämpötilan perusteella. Lauhdutuksen oletettiin tapahtuvan silloin, kun ulkolämpötila on vähintään 16 °C, jolloin lämpöpumppu säätokäyränsä mukaisesti voi tuottaa vähintään +75 °C vettä. Arvio lauhdutuksen tuottamasta säästöstä energian tuottajalle laskettiin kertomalla lauhdutusenergian määrä kaukolämpöenergian myyntihinnalla olettaen, että kaikki lämpöenergia saadaan myytyä. Taloudellisen kannattavuuden tarkastelu kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 5.

## 7 JATKOINVESTOINNIT

Tässä luvussa arvioidaan kustannuksia jatkoinvestoinneille, joita alueen lisärakentaminen edellyttää. Tarkasteluun on otettu alueen viilennysenergian tarpeen kasvaessa järjestelmään lisättävä toinen ChillHeat-lämpöpumppu sekä viilennysenergian jakeluun tarvittava viilennysverkon laajennus. Viilennysverkon laajennuksen osalta vertaillaan kahden materiaalivaihtoehdon rakennuskustannuksia.

### 7.1 Lämpöpumppu

Alueen laajennuksen myötä erityisesti viilennystarpeen kasvu edellyttää toisen lämpöpumpun lisäämistä hybridijärjestelmään. Alkuperäisen suunnitelman mukaan toinen lämpöpumppu olisi malliltaan ChillHeat S380. Viilennystehon tarve on kuitenkin kasvanut alkuperäisen suunnitelman mitoitusiedoista ollen nyt 698 kW ja tästä syystä toisen lämpöpumpun täytyy olla teholtaan suurempi. Lämpöpumpun toimittaja Oilon on tarjonnut toiseksi lämpöpumpuksi mallia S580, jolloin viilennysenergian tuotanto riittäisi koko tulevan tarpeen täyttämiseen. Oilonin tarjoaman lämpöpumppuparin mitoitusiedot on esitetty kuvassa 19.



KUVA 19. Lämpöpumppujen mitoitusiedot (23)

Lämpöpumppuvaihtoehtojen mallikohtaiset hintatiedot on esitetty liitteessä 6. Alueen viilennystehontarpeen kasvun myötä lämpöpumpun investointikustannukset kasvoivat 27 prosenttia.

## 7.2 Viilennysverkon putkimateriaalin vertailu

Viilennysverkon laajennuksen osalta haluttiin vertailla rakennuskustannuksia kahden eri putkimateriaalin välillä. Jo rakennetussa putkistossa on käytetty rosteriputkea, mutta vertailuun haluttiin ottaa myös polyeteenistä valmistettu muoviputki COOL-FIT 2.0, joka soveltuu viileän veden kuljetamiseen. Valmistajan mukaan COOL-FIT 2.0 on täysin suojattu korroosiota vastaan eikä putkessa muodostu kondensaatiota. COOL-FIT 2.0:n kerrotaan olevan metalliputkia energiatehokkaampi alhaisen lämmönjohtavuuden ja vähäisten painehäviöiden ansiosta. Muoviputken asennusaika on rosteriputken asennusta nopeampi ja ympäristövaikutus pienempi. (24.)

Rosteriputken osalta laskennassa käytettiin aiemmin toteutuneita verkoston rakennuskustannuksia. DN125-kokoisen rosteriputken kokonaishinta sisältää putkimateriaalit, kannakkeet, asennus- ja hitsaustyön sekä eristyksen ja eristystyön. Hintaerittely on esitetty liitteessä 7. Hintaerittelyssä on laskettu kokonaishinta 170 metrin mittaisen putkiston rakentamiselle, josta voitiin laskea hinta rosteriputkelle yhtä rakennettavaa metriä kohden.

Muoviputken osalta rakennuskustannukset muodostuivat asennuskustannuksista ja materiaalikustannuksista. Asennuskustannuksiin laskettiin liitostyöntekijän palkka ja asennustyön hinta sekä kannakointitarvikkeet, nostinvuokra ja rahti. Asennustyön normituntien määrä 100 metrin matkalle laskettiin rakennusliiton laskurin avulla (25). Kannakointitarvikkeiden, nostinvuokran ja rahdin osalta hintana käytettiin aiempien teräsputkitusten kustannuksia. Materiaalikustannusten laskennassa käytettiin COOL-FIT-valmistajan arviota komponenttien määrästä 100 metriä kohden. Muoviputken asennus- ja materiaalikustannukset toimeksiantajan hinnoilla LVI-alan verkkokaupasta on esitetty liitteessä 7.

Viilennysverkon tarvittava laajennus on pituudeltaan 240 metriä ja sen rakentamiselle laskettiin kokonaiskustannukset rosteri- ja muoviputken osalta. Vaihtoehtojen kokonaiskustannukset on esitetty liitteessä 7. Hintavertailun tuloksena voitiin todeta, että laajennuksen toteuttaminen muoviputkella on kokonaiskustannuksiltaan 3 % rosteriputkea edullisempää.



## 8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella hybridijärjestelmän toimintaa teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Teknisen tarkastelun osalta työssä haluttiin selvittää lämpöpumpun ja koko hybridijärjestelmän toimintaa lämmöntuotantoa ja -kulutusta vertailemalla. Lisäksi haluttiin tutkia aluelämpöverkon lämpöhäviöitä sekä arvioida lämpöpumpun hyötysuhdetta laskemalla lämpöpumpulle lämpö- ja kylmäkerroin.

Lämmöntuotannon ja -kulutuksen vertailussa tarkasteltiin lämpöpumpulla ja kaukolämmöllä tuotetun lämmitysenergian kuukausittaisia kokonaismääriä suhteessa aluelämpöverkon käyttöpaikkojen lämmönkulutukseen. Lämpöpumppu oli käynnistetty huhtikuun viimeisellä viikolla ja siihen saakka kaikki lämpöenergia oli tuotettu kaukolämmöllä. Tarkastelun tuloksena selvisi, että lämpöpumpun käynnistyksen jälkeen sillä tuotetun lämpöenergian määrä oli keskimäärin 88 % kaikesta lämmöntuotannosta. Viilennyskauden aikana kaukolämmön osuus oli enimmillään 12 % lämmöntuotannosta, mutta kaukolämmön osuus kasvoi marras-joulukuun aikana lämmönkulutuksen lisääntyessä.

Lämpöhäviöitä tarkasteltiin työssä kuukausikohtaisesti lämmöntuotannon ylijäämän osuutena lämmön kokonaistuotannosta. Vuoden 2023 aikana kuukausittaisten lämpöhäviöiden keskiarvo oli 12,7 %. Kesällä lämpöhäviöiden osuus kasvoi lämmitysverkoston virtausnopeuden laskiessa, mutta samalla häviöenergian määrä oli pienempi lämmönkulutuksen ollessa vähäistä. Syys-lokuun aikana lämpöhäviöt kasvoivat merkittävästi, mikä selittyi aluelämpöverkon rakennustöillä. Opinnäytetyön tuloksena saadut arviot lämpöhäviöprosentteista olivat samankaltaisia kuin Oulun Energian kaukolämpöverkosta lasketut lämpöhäviöt.

Lämpöpumpulle laskettiin lämmityskauden aikainen lämpökerroin lämmöntuotannon ja sähkönkulutuksen suhteena. Lämpöpumpun lämpökerroin oli keskimäärin 3,3. Myös ulkolämpötilan vaikutusta lämpökertoimeen tutkittiin, mutta minkäänlaista riippuvuutta suureiden välillä ei havaittu. Viilennyskauden osalta työssä laskettiin lämpöpumpulle kylmäkerroimen sijaan kokonaishyötysuhde, koska lämpöpumpun viilennysenergiantuotantoa ei ollut jatkuvasti mitattu, eikä myöskään lämpöpumpun kuluttaman sähköenergian määrää pelkän viilennysenergian tuotannon osalta tiedetty puuttuvien mittaustietojen vuoksi. Kokonaishyötysuhteen laskennassa huomioitiin kaikki

lämpöpumpulla tuotettu energia ja lämpöpumpun kuluttama sähköenergia. Kuukausittaisten kokonaishyötysuhteiden keskiarvo oli 3,6.

Jäähdytystoiminnon osalta järjestelmän toimintaa selvitettiin viilennysverkosta mitattuja lämpötiloja tarkastelemalla. Työn tuloksena selvisi, että viilennysverkkoon menevän veden lämpötilan osalta järjestelmä toimi odotetusti mutta asiakkailta palaavan veden lämpötila oli luvattua alhaisempi. Ongelman syy on todennäköisesti verkostossa ja se tullaan korjaamaan myöhemmin.

Opinnäytetyössä taloudellisen tarkastelun osalta arvioitiin lämpöpumpulla saavutettua hyötyä verrattuna lämmön tuottamiseen kaukolämmöllä. Työn tuloksena selvisi, että lämpöpumpulla tuottaminen oli ollut tarkastelujaksolla noin 16 % kaukolämpöä edullisempaa. Järjestelmän kannattavuutta arvioitiin myös kokonaisuutena koko vuoden 2023 ajalta. Kannattavuuslaskelmassa kaukolämmön paluuveden energian hintana käytettiin sen hetkistä arviota, koska varmaa tietoa paluuveden niin sanotun ilmaisenergian osuudesta ei vielä ollut. Ilmaisenergian osuus voi todellisuudessa olla pienempi, jolloin myös lämpöpumppujärjestelmän kannattavuus on heikompi.

Lämpöpumpulla saavutettava hyöty riippuu sähköhinnasta, joten työssä laskettiin myös lämpöpumpun käyttämän sähköenergian hinnalle raja-arvo, jonka ylittyttyä lämmitysenergian tuottaminen lämpöpumpulla ei ole enää kannattavaa. Viilennyskauden osalta laskettiin samankaltainen raja-arvo energian tuotantokustannuksille.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää lämpöpumppujärjestelmän toiminnan ja kannattavuuden arvioinnissa. Opinnäytetyön myötä järjestelmässä havaittiin myös useita puutteita ja heikkouksia, jotka korjaamalla lämpöpumppujärjestelmän tehokkuutta voidaan parantaa ja seurata tehostaa. Ohjausjärjestelmästä puuttuivat energiamittaukset lämpöpumpun tuottaman viilennysenergian sekä kaukolämpöön lauhdutetun energian osalta. Myöskään lämpöpumpun kuluttaman sähköenergian määrää ei ollut mitattu. Energiamittauksia lisättiin Fiksu-ohjausjärjestelmään ja lämpöpumppujärjestelmän toiminnan seuranta saatiin paremmaksi.

Opinnäytetyön aikana nousi esiin myös kehitysideoita järjestelmän parantamiseksi. Lämpötilamittauksia olisi hyvä lisätä esimerkiksi puskurivaraajien jälkeen, jolloin varaajien toimintaa voitaisiin seurata paremmin. Työn aikana ilmeni myös, että lämpöpumpulle tulevan latauspiirin veden lämpötilaa laskemalla lämpöpumpun hyötysuhdetta voitaisiin parantaa. Aluelämpöverkosta palaavan

veden lämpötilaa laskettiin, mutta ongelmaksi jäi edelleen puskurivaraajan kautta kiertävä virtaus. Latauspiirin puskurivaraajalle voisi olla hyvä lisätä säätöventtiili varaajan toiminnan ohjaamista varten. Lisäksi lämpöpumpun hyötysuhteen jatkuvasta seurannasta tai hälytysominaisuudesta hyötysuhteen laskiessa liian alas voisi olla hyötyä.

Opinnäytetyössä ilmenneet puutteet järjestelmän mittaustiedon keruussa aiheuttivat haasteita työssä asetettujen tavoitteiden saavuttamiselle. Esimerkiksi lämpöpumpun kylmäkerointia ei voitu laskea saatavilla olevan mittaustiedon avulla, minkä vuoksi työssä päädyttiin laskemaan viilennyskauden osalta lämpöpumpun kokonaishyötysuhde. Mittaustiedon puutteet saattoivat myös vääristää työssä tehtyjä laskelmia hyötysuhteiden ja kannattavuuden osalta. Opinnäytetyön myötä ilmenneitä puutteita korjaamalla järjestelmää on kuitenkin mahdollista kehittää ja sen toimintaa optimoida entisestään. Lisäksi tulevien hybridikohteiden osalta samoja ongelmia osataan välttää jo suunnitteluvaiheessa. Jatkossa, tarkemman mittaustiedon keruun myötä, järjestelmän toimintaa voisi olla hyvä tarkastella uudestaan.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen projekti, joka tarjosi haasteita mutta myös onnistumisen kokemuksia sopivassa suhteessa. Työ opetti etsimään ratkaisuja tarvittaessa myös alkuperäisen suunnitelman ulkopuolelta ja niistä resursseista, mitä käytettävissä kulloinkin oli. Yhteistyö opinnäytetyön toimeksiantajan ja Oulun ammattikorkeakoulun kanssa sujui jouhevasti ja työ valmistui laaditun aikataulun puitteissa.

## LÄHTEET

1. Oulun Energia. Oulun Energia pähkinänkuoressa. Hakupäivä 11.1.2024. <https://www.ouluenergia.fi/oulu-energia/tietoa-meista/>.
2. Oulun Energia. Hiilineutraalius Oulun Energiassa. Hakupäivä 11.1.2024 <https://www.ouluenergia.fi/vastuullisuus/hiilineutraalius/>.
3. Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Oppimateriaali. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 23.1.2024. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>.
4. Motiva 2022. Kaukolämpö. Hakupäivä 25.1.2024. [https://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/energiatehokas\\_pientalo/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energiatehokas_pientalo/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo).
5. Energiateollisuus. Kaukolämpö ja kaukojäähdytys. Hakupäivä 31.1.2024. <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>.
6. Energiateollisuus 2024. Energiavuosi 2023 - Kaukolämpö. Hakupäivä 25.1.2024. [https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023\\_ennakkograafit.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023_ennakkograafit.pdf).
7. Työ- ja elinkeinoministeriö 2022. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Hakupäivä 26.1.2024. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM\\_2022\\_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
8. Hakupäivä 29.1.2024 <https://www.hartela.fi/fi/asunnot/tulevat-asuinalueet/oulu-karjasillan-kulma/>.
9. Hakupäivä 19.2.2024. <https://vanha.oamk.fi/oamkjournal/2022/kaukolammituksen-uudet-tuulet-kohti-alykkaita-hybridilammitysjarjestelmia/>.
10. Kempainen, Arto 2022. Taloyhtiön energiatehokkaat lämmitysratkaisut. Kiinteistömedia Oy.
11. HögforsGST. HybridHEAT. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä, jossa on terävämpää älyä. Hakupäivä 17.1.2024. <https://indd.adobe.com/view/85d66cf1-3943-4878-8cab-f38d7aa2227e>
12. Oulun Energia 2023. Karjasillan Kulman energijärjestelmä – Toimintaselostus. Sisäinen lähde.
13. HögforsGST Oy – Oulun Energia Oy 2021. Fiksu-ohjausjärjestelmä. Sisäinen lähde.
14. AFRY 2020. Väliottokytkeä ja kaukolämmön paluulämpötila. Loppuraportti. Hakupäivä 18.1.2024. [https://hogforsgst.com/sites/default/files/imce/files/V%C3%A4liottokytkeent%C3%A4\\_loppuraportti.pdf](https://hogforsgst.com/sites/default/files/imce/files/V%C3%A4liottokytkeent%C3%A4_loppuraportti.pdf).

15. Dincer, Ibrahim & Kanoglu, Mehmet 2010. Refrigeration Systems and Applications. Second Edition. West Sussex, United Kingdom. John Wiley & Sons, Ltd. Saatavilla: ProQuest Ebook Central. Hakupäivä 22.1.2024. <https://ebookcentral-proquest-com.ezp.oamk.fi:2047/lib/oamk-ebooks/reader.action?docID=514421>.
16. Oilon. Teollisuuslämpöpumput – edistämme energiasiirtymää. Hakupäivä 22.1.2024. <https://oilon.com/fi/tuotteet/teollisuuslampopumput/>.
17. Kaappola, Esko, Hirvelä, Aulis, Jokela, Matti & Kianta, Jani 2022. Kylmätekniiikan perusteet. 10. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
18. Oilon 2021. ChillHeat P 30 – P 450. Asennus- ja käyttöohje. Sisäinen lähde.
19. Vattenfall. Ilmalämpöpumppu ABC. Hakupäivä 11.3.2024. <https://www.vattenfall.fi/ilmalampopumppu/ilmalampopumppu-abc/>.
20. Virkki, Juha 2024. Liiketoimintajohtaja. HögforsGST Oy. Teams-palaveri. 19.2.2024.
21. Niemi, Heikki 2024. Opinnäytetyön tilaajan yhdyshenkilö. Oulun Energia Oy. Oulu. Henkilökohdainen sähköpostikeskustelu.
22. Pantsar, Reijo 2024. Opinnäytetyön tilaajan yhdyshenkilö. Oulun Energia Oy. Oulu. Teams-palaverit.
23. Oilon 2023. Budjettihinta. Tarjoukset S380- ja S580 lämpöpumpuista Oulun Energia Oy:lle.
24. GF Piping Systems. Cool-Fit 2.0. Georg Fischer AB. Vantaa. Hakupäivä 16.4.2024. <https://www.gfps.com/fi-fi/products-solutions/systems/cool-fit-2.html>.
25. Rakennusliitto 2024. Normaalitalo 2022–2025. Putken urakanmittausohjelma. Hakupäivä 15.4.2024. <https://rakennusliitto.fi/wp-content/uploads/2024/03/Normaalitalo-2022-2025-paivitetty-8.3.2024.xlsx>.

## **LIITTEET**

Liite 1 Jäähdytysverkon menoveden lämpötila ja ulkolämpötila

Liite 2 Lämpöpumpun tuottaman säästön laskenta

Liite 3 Sähköhinnan raja-arvon määrittäminen lämmityskaudella

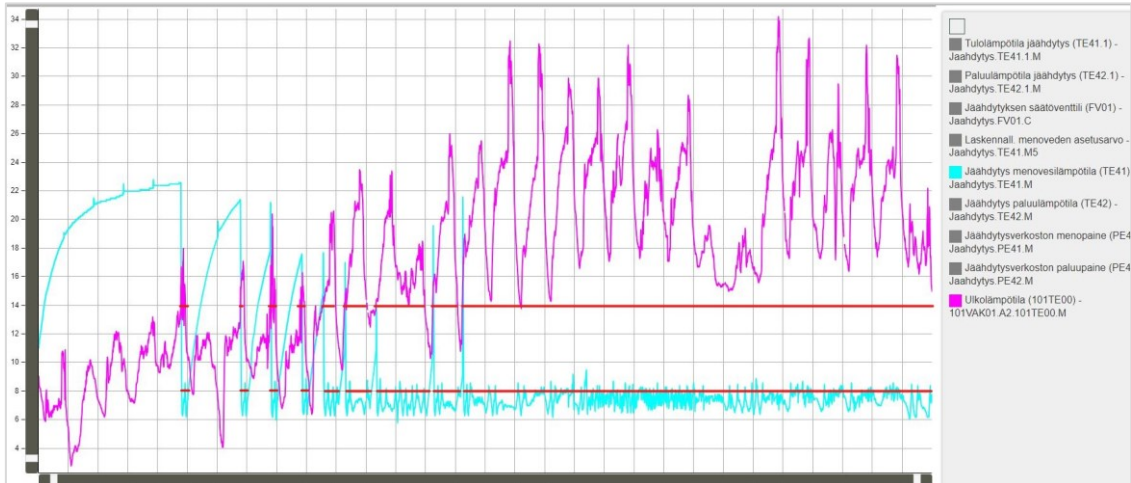
Liite 4 Viilennyksikauden tuotantokustannusten rajahinta

Liite 5 Hybridijärjestelmän taloudellinen kannattavuus

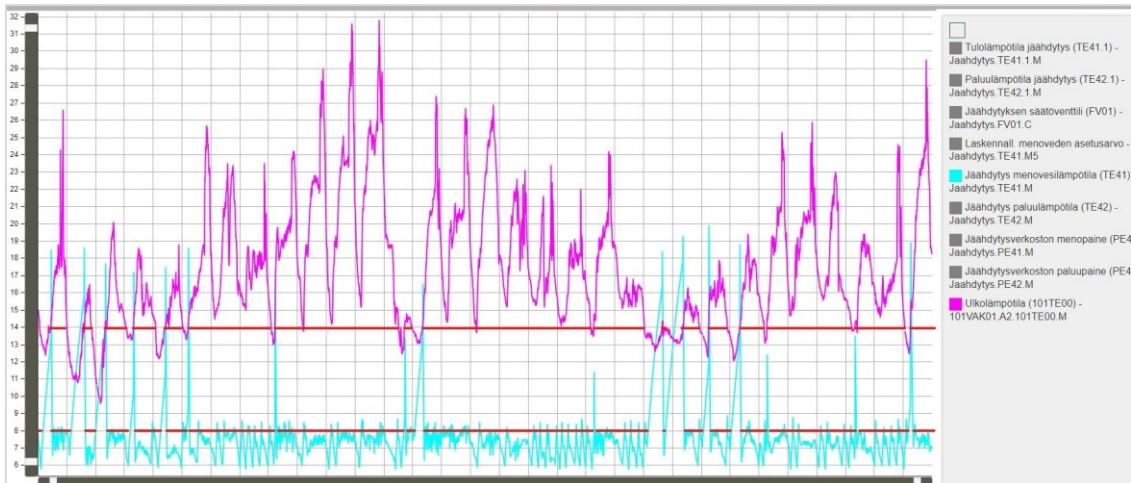
Liite 6 Oilonin lämpöpumppujen budjettihinnat

Liite 7 Putkimateriaalien kustannukset

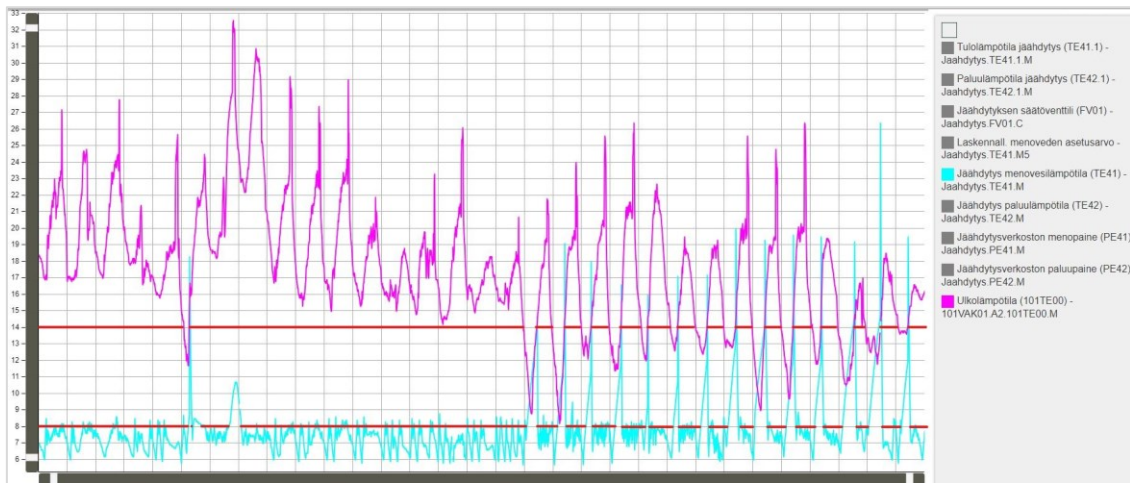
Kesäkuu 2023



Heinäkuu 2023



## Elokuu 2023



## Syyskuu 2023

