

Rinnakkaisten lämmönlähteiden kytkennän vaikutus kaukolämpöjärjestelmän toimivuus- teen

Tiivistelmä

Tekijä Rosilainen, Minttu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 49	Valmistumisaika 2021
Työn nimi Rinnakkaisten lämmönlähteiden kytkennän vaikutus kaukolämpöjärjestelmän toimivuuteen		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Johanna Iivonen, DI, kaukolämpöinsinööri, Lahti Energia Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tutkittiin kaukolämmön hybridikohteiden kytkentöjä. Toimeksiantaja oli kiinnostunut, miten valittujen kohteiden kaukolämmön ja rinnakkaisen lämmönlähteen erilaiset kytkentätavat vaikuttavat kaukolämpöjärjestelmään.</p> <p>Opinnäytetyössä käytettiin toimeksiantajan kulutustietojärjestelmän keräämää lämpötila- ja kulutusdataa kohteiden mittauskeskuksista. Lähempään tarkasteluun valittiin neljä kytkennältään erilaista hybridikohdetta. Hybridikohteista kerättyjä aineistoja vertailtiin keskenään. Tietoa teoriaan sekä datan tueksi saatiin toimeksiantajan sisäisistä lähteistä, toimeksiantajan ja Energiateollisuus ry:n ohjeista ja tilastoista, tehdyistä diplomitöistä sekä muista alan lähteistä.</p> <p>Tulokseksi saatiin vertailemalla hybridikohteiden dataa, että rinnakkainen lämmitysjärjestelmä aiheutti kaukolämmön jäähtymän merkittävää heikkenemistä kahdessa hybridikohteessa. Suositusten ja ohjeiden vastaisella kytkentätavalla jäähtymän heikkeneminen oli merkittävää. Lisäksi kaikissa hybridikohteissa kaukolämmön kulutus oli vähentynyt.</p> <p>Työssä pohdittiin myös, miten tulevaisuudessa kaukolämpöveden jäähtymää heikentäviä hybridikytkentöjä voitaisiin ennalta ehkäistä. Hybridijärjestelmien määrä kasvaa jatkuvasti, ja tulevaisuudessa kaukolämpö on yleisemmin tukilämmönlähde.</p>		
Asiasanat kaukolämpö, hybridijärjestelmä, kytkentä		

Abstract

Author	Type of Publication	Published
Rosilainen, Minttu	Bachelor's thesis	2021
	Number of Pages	
	49	
Title of Publication		
Effect of coupling of parallel heat sources on the operation of a district heating system		
Degree and field of study		
Bachelor of Engineering		
Name, title and organisation of the client		
Johanna Iivonen, M.Sc., district heating engineer, Lahti Energia Oy		
Abstract		
<p>The thesis investigated the coupling of hybrid heating systems. The client was interested in how the different couplings of the district heating and the parallel heat source of the selected sites affected the system.</p> <p>In the thesis, the temperature and consumption data collected by the client's consumption information system from the measurement centers of the sites were used. Four hybrid sites with different connections were selected for closer examination. The data collected from the sites were compared with each other. Information to support the theory and data was obtained from the client's internal sources, the client's instructions and statistics, diploma theses completed, the instructions of the Finnish Energy Association and other sources in the field.</p> <p>The result was obtained by comparing the data of the sites that the parallel heating system caused a significant deterioration of the district heating water cooling in two sites. Especially in the way of coupling contrary to the recommendations and instructions, the decrease in cooling was significant. In addition, district heating consumption had decreased at all sites.</p> <p>The work also considered how, in the future, couplings that weaken the cooling of district heating water could be prevented in advance. The number of hybrid systems is constantly growing, and in the future district heating will be a more common source of additional heat.</p>		
Keywords		
district heating, hybrid heating system, coupling		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kaukolämmitys	2
2.1	Tuotanto ja jakelu	2
2.2	Asiakaslaitteet	3
2.3	Kaukolämmön hinta	4
2.4	Kaukolämmön tulevaisuus	5
3	Lämpöpumput.....	6
3.1	Lämpöpumpun lämpökerroin	6
3.2	Maalämpöpumppu (MLP)	7
3.3	Ilma-ilmaalämpöpumppu (ILP).....	8
3.4	Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP).....	9
3.5	Poistoilmaalämpöpumppu (PILP).....	10
4	Rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän kytkentä kaukolämpöön	12
4.1	Kaukolämmön sopimusehdot.....	12
4.2	Energiateollisuus ry:n rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä	13
4.3	Lahti Energian hybridikytkentäohje	14
4.4	Rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän edut ja haasteet	15
5	Hybridikohde 1	17
5.1	Kytkentä	17
5.2	Kaukolämmön paluuveden lämpötila	17
5.3	Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia	20
6	Hybridikohde 2.....	22
6.1	Kytkentä	22
6.2	Kaukolämmön paluuveden lämpötila	22
6.3	Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia	25
7	Hybridikohde 3.....	27
7.1	Kytkentä	27
7.2	Kaukolämmön paluuveden lämpötila	27
7.3	Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia	29
8	Hybridikohde 4.....	32
8.1	Kytkentä	32
8.2	Kaukolämmön paluuveden lämpötila	32
8.3	Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia	34
9	Johtopäätökset	37

10 Yhteenveto	40
Lähteet	41

Liitteet

Liite 1. KytKentäkaavioissa käytettyjen merkkien selitykset.

Liite 2. Rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä.

Liite 3. Kohteen 1 kytkentäkaavio.

Liite 4. Kohteen 2 kytkentäkaavio.

Liite 5. Kohteen 3 kytkentäkaavio.

Liite 6. Kohteen 4 kytkentäkaavio.

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tarkasteltiin rinnakkaisen lämmönlähteen kytkennän vaikutusta kaukolämpöjärjestelmään kaukolämpöyhtiön näkökulmasta. Työn toimeksiantaja oli Lahti Energia Oy. Lahti Energia Oy on Lahden kaupungin omistama energiayhtiö, joka toimittaa lämpöä Lahden, Hollolan ja Asikkalan alueilla. Lahti Energian kaukolämpöverkkoon liitettävien hybridikohteiden määrä on jatkuvassa kasvussa. Suositusten vastaisesti toteutetut hybridikytkentätavat voivat heikentää kaukolämpöjärjestelmän toimivuutta.

Kaukolämmön sopimusehtojen mukaan kaukolämpölaitteisiin saa tehdä vain kaukolämpöyhtiön hyväksymiä muutoksia. Hybridilämmitysjärjestelmällä tarkoitetaan kahden tai useamman lämmitysjärjestelmän yhdistelmää, tässä työssä kaukolämpöjärjestelmän ja lämpöpumpun hybridiä. Kohteiden kytkentöjen ja niissä tapahtuneiden muutosten tarkastelun avulla voidaan tunnistaa haitalliset kytkentätavat. Tavoitteena on ohjeiden ja suositusten avulla varmistaa toimiva ja energiaa säästävä hybridijärjestelmä, niin asiakkaan kuin kaukolämpöyhtiönkin näkökulmasta.

Työssä käytiin läpi kaukolämmityksen perusteita ja erilaisia lämpöpumpputeknologioita, sekä hybridijärjestelmän kytkentää koskevia suosituksia ja ohjeita. Rinnakkaisen lämmönlähteen kytkentätavalla on vaikutusta järjestelmän toimivuuteen, kaukolämpöveden kulu- tukseen sekä jäähtymään.

Työ rajattiin käsittelemään kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun (PILP) hybridejä, joita Lahti Energian kaukolämpöverkossa on eniten. Lähempään tarkasteluun on valittu neljä kytkennältään erilaista hybridikohdetta. Kohteissa on aikaisemmin ollut lämmitysjärjestelmänä vain kaukolämpö, ja niihin on myöhemmin liitetty rinnakkaiseksi lämmönlähteeksi PILP. Näin kohteista voitiin verrata kaukolämmön käyttöä ennen ja jälkeen rinnakkaisen lämmönlähteen kytkennän, sekä erilaisten kytkentätapojen vaikutusta kaukolämpöjärjestelmään. Kohteissa tilojen ja käyttöveden pääasiallinen lämmönlähde on PILP, ja kaukolämpöä käytetään lisälämmönlähteenä. Hybridikohteita tarkastellaan anonymisti.

Lahti Energian kulutustietojärjestelmästä kerätystä datasta tarkasteltiin kohteesta palaavan kaukolämpöveden lämpötilaa, sekä kohteen kaukolämmön kulutusta ennen ja jälkeen hybridijärjestelmän käyttöön ottamista. Lähteinä käytettiin toimeksiantajan sisäisiä järjestelmiä ja dokumentteja, toimeksiantajan julkaisuja, Energiateollisuus ry:n julkaisuja, alan yritysten internet-sivuja sekä alan diplomitöitä.

2 Kaukolämmitys

Kaukolämmityksellä tarkoitetaan laajan alueen keskitettyä lämmön tuotantoa ja jakelujärjestelmää. Kaukolämpöä tuotetaan voimalaitoksissa ja lämpökeskuksissa esimerkiksi polttamalla tai lämpöpumpuilla. Lämpöenergiaa jaetaan asiakkaille kaukolämpöverkoston avulla, jossa virtaa kuuma kiertovesi tai höyry (Koskelainen, 2006). Kaukolämpöasiakkaan kiinteistö liitetään kaukolämpöverkkoon lämmönjakokeskuksella, jossa lämpöenergia siirtyy kaukolämpövedestä asiakkaalle joko käyttöveteen tai lämmitysjärjestelmän kiertoveteen. (Mäkelä, 2015)

Suomessa lämmön tarve vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Kaukolämmön kulutus vaihtelee lisäksi myös päivä- ja viikkorytmien mukaan, esimerkiksi käyttöveden kulutushuiput ovat yleensä aamuisin ja iltaisin. (Koskelainen, 2006)

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto (Koskelainen, 2006; Motiva, 2019b; Mäkelä, 2015). Energiategollisuus ry:n (2020a) tilastojen mukaan Suomessa kaukolämpöverkkoa oli vuoden 2019 lopussa yhteensä 15 430 kilometriä ja kaukolämpöasiakkaita 155 500 kappaletta. Kaukolämmön kulutus vuonna 2019 oli 33 200 MWh, josta 53,6 % oli asuintalojen käyttämää energiaa.

Vuonna 2020 Lahti Energialla oli kaukolämpöverkkoa yhteensä 678 kilometriä Lahdessa, Hollolassa ja Vääksyssä, ja asiakkaita oli yhteensä 8 759. Suurin osa Lahti Energian kaukolämmön tuotannosta tapahtuu Kymijärven voimalaitoksella ja lisäksi myös lämpökeskuksissa. (Lahti Energia, 2021c)

2.1 Tuotanto ja jakelu

Kaukolämpöä voidaan tuottaa monipuolisesti eri tavoin, kuten esimerkiksi sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, erillisissä lämpökeskuksissa, hyödyntämällä hukkalämpöä sekä geotermistä lämpöä (Mäkelä, 2015). Suomessa suurin osa kaukolämmön tuotannosta tapahtuu yhteistuotannolla. Kaukolämmityksellä on keskeinen rooli päästöjen vähentämisessä, yhteistuotanto on noin 30 % energiatehokkaampi tapa tuottaa lämpöä kuin erillistuotanto (Koskelainen, 2006). Lämpövoimalaitoksissa hukkalämpöä otetaan talteen esimerkiksi lämmöntalteenottopesureilla (Mäkelä, 2015).

Lahti Energia tuottaa sähköä ja lämpöä pääasiassa Kymijärvi II- ja Kymijärvi III-voimalaitoksilla. Kymijärvi II-kaasutuslaitoksella tuotetaan sekä sähköä että kaukolämpöä, ja polttoaineena käytetään kierrätysmateriaalia. Kymijärvi II-laitoksen sähköteho on 50 MW ja kaukolämpöteho on noin 90 MW. Kymijärvi III-biolämpölaitos käyttää polttoaineenaan sertifioitua

biomassaa, kuten esimerkiksi metsätähdehaketta. Kymijärvi III-laitoksen kaukolämpöteho on noin 150 MW, ja savukaasupesurin olleessa toiminnassa noin 190 MW. (Iivonen, 2021a)

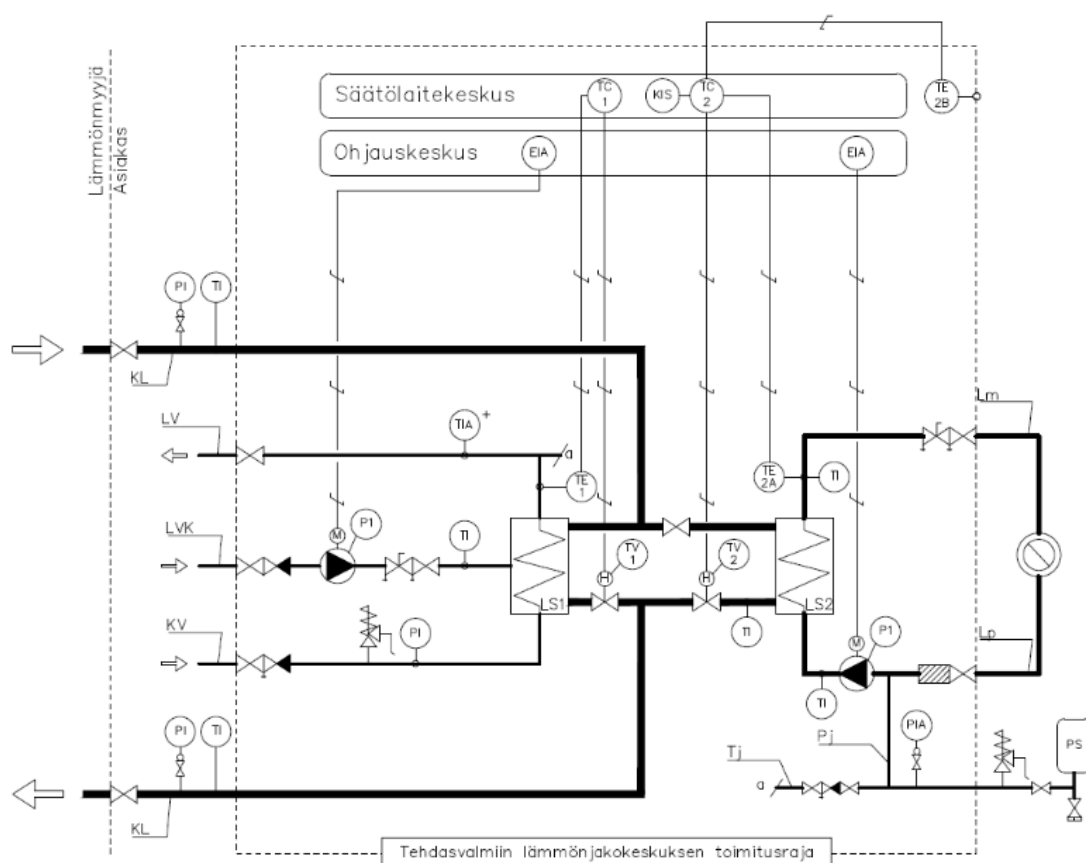
Lämpölaitoksella tuotettu lämpö siirretään asiakkaalle kaukolämpöverkon avulla. Jakeluverkko on kaksiputkinen, menoputkea pitkin kuuma kaukolämpövesi virtaa lämpölaitokselta asiakkaalle, ja asiakaslaitteissa jäähtynyt kaukolämpövesi virtaa paluuputkessa takaisin lämpölaitokselle. Kaukolämpöputket asennetaan yleensä noin 0,5-1 metrin syvyyteen, mutta kaukolämpöputkia voi olla rakennettu myös rakennusten sisään tai muihin rakenteisiin, esimerkiksi siltoihin (Mäkelä, 2015). Kaukolämpövesi on puhdistettua ja siitä on poistettu happi korroosion ehkäisemiseksi. Lisäksi kaukolämpövesi on värjättyä vuotojen havaitsemisen helpottamiseksi. (Motiva, 2017b) Kaukolämpöveden menolämpötila on lämmityskaudella tavallisesti noin 115 °C ja lämmityskauden ulkopuolella noin 70 °C (Mäkelä, 2015). Kaukolämpövesi jäähtyy kaukolämpöputkissa jonkin verran matkalla laitokselta asiakkaalle.

2.2 Asiakaslaitteet

Asiakaan kiinteistö liitetään kaukolämpöverkkoon liittymisjohtolla. Liittymisjohto päättyy asiakkaan lämmönjakohuoneessa oleviin asiakaslaitteisiin. Asiakaslaitteet koostuvat kaukolämpöyhtiön omistamasta ja ylläpitämästä mittauskeskuksesta sekä asiakkaan omistamasta ja ylläpitämästä lämmönjakokeskuksesta. Mittauskeskuksen laskijalaitteeseen on kytketty kaukolämmön meno- ja paluueden lämpötila-anturit, sekä virtausanturi, joiden avulla lämmönmyyjä seuraa kulutusta ja jäähtymää. Lämmönjakokeskukseen kuuluu muun muassa lämmönsiirtimet, pumput sekä automatiikka. (Mäkelä, 2015) Lämmönmyyjän toimintusraja päättyy lianerottimen yhteeseen, sen jälkeiset laitteet ovat asiakkaan vastuulla (Iivonen, 2021b).

Lämmönjakohuoneen kaukolämpölaitteet jaetaan ensiö- ja toisiopuoleen. Ensiöpuolella virtaa kaukolämpövesi, toisiopuolella taas asiakkaan lämmityspiirin vesi. Ensiöpuolen kaukolämpövesi virtaa lämmönsiirtimien läpi, ja lämmittää toisiopuolen vettä. Lämmönsiirtimeltä palaava kaukolämpövesi virtaa kaukolämpöverkon paluuvesiputkeen. Ensiöpuolella sijaitsee kaukolämmön säätöventtiilit, joiden avulla säädellään siirtimelle virtaavaa kaukolämpöveden määrää, eli virtaamaa. Järjestelmä säätää säätöventtiilien asentoa toisiopuolen lämpötila-antureiden tiedon sekä järjestelmän asetusarvojen mukaan. Esimerkiksi, käyttöveden asetuslämpötila on 58 astetta, jos käyttöveden lämpötila laskee lisääntyneen kulutuksen myötä asetusarvon alapuolelle, säätöventtiileitä ohjataan enemmän auki, jolloin kaukolämpöveden virtaama lämmönsiirtimen läpi kasvaa. Vastaavasti käyttöveden lämpötilan ollessa riittävän korkea, virtaamaa voidaan pienentää. (Iivonen, 2021a)

Laitteiden valinta ja mitoitus riippuu asiakkaan tarvitsemasta lämpötehosta, vesivirrasta sekä kokonaispainehäviöstä. Nykyään asennettavat lämmönjakokeskukset ovat valmiita tehdasvalmisteisia kaukolämpöpaketteja, jotka mitoitetaan asiakaskohtaisesti (Mäkelä, 2015). Jo suunnitteluvaiheessa laitteita mitoittaessa ja valittaessa on tavoiteltava mahdollisimman tehokasta energian käyttöä, sekä varmistettava sisäilman laatu. Mitoituslämpötilana käytetään kaukolämpöveden maksimilämpötilaa 120 °C. Suunnittelpaineena ensiöpuolella käytetään 16 baaria, käyttövesiverkoissa 10 baaria ja lämmitysverkoissa 6 baaria. Kaikkien asiakkaan laitteiden ja varusteiden on oltava ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne kestävät edellä mainittuja lämpötiloja ja painetta jatkuvassa käytössä. (Koskelainen, 2006) Kuvassa 1 on esimerkki lämmönjakokeskuksen kytkennästä.



Kuva 1 Esimerkki Energiateollisuus ry:n (2020b) lämpimän veden kierron peruskytkennästä. Liitteessä 1 on kytkentäkaaviossa käytettyjen merkkien selitykset.

2.3 Kaukolämmön hinta

Kaukolämmön hinta vaihtelee paikkakunnittain riippuen kaukolämpöä tuottavasta yrityksestä sekä tuotantotavasta. Energiateollisuus ry:n (2020a) kaukolämpötilaston mukaan kaukolämmön verollinen keskihinta oli Suomessa 82,30 euroa megawattitunnilta vuonna

2019. Hinnaltaan kaukolämpö on kilpailukykyinen ja sitä kannattaa harkita vaihtoehdoksi, jos lämmitettävä kohde on jakeluverkon saavutettavissa. Kaukolämmön hinta koostuu liittymis-, perus- sekä energiamaksusta. Liittymismaksu maksetaan liityttäessä kaukolämpöön, ja se sisältää muun muassa liittymisjohdon rakentamisen. Perusmaksun suuruus riippuu liittymän koosta, ja energiamaksua maksetaan käytön mukaan. Kaukolämmön käyttöä mitataan asiakaskohtaisesti mittauslaitteiston avulla. (Motiva, 2019a)

2.4 Kaukolämmön tulevaisuus

Uudet teknologiat mahdollistavat tarkemmat mittaus-, säätö- sekä vuotovalvontatoiminnot. Kaukolämmityksen automaation yhdistäminen tiedonsiirto ja mittaustekniikoihin parantavat kaukolämmön käyttövarmuutta ja pienentävät painehäviöitä. Uudet innovaatiot tuotannossa ja jakelussa nostavat kustannustehokkuutta. Esimerkiksi sähkön ja lämmön yhteistuotannolla energiaa tuotetaan tehokkaammin, ja kiinnivaahdotetun kaukolämpöputken avulla kaukolämmön toimitusvarmuus kasvaa. (Koskelainen, 2006)

Kaukolämmön tuotanto kehittyy edelleen yhä energiatehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi. Lämmöntarve laskee jatkuvasti, ja kaukolämpöyhtiöt ovat uusien haasteiden edessä. Erityisesti hukkalämpöä hyödyntävät lämpöpumput ovat olleet suuressa roolissa monella energiayhtiöllä. (Motiva, 2017a)

Nykyaikaiset rakennukset ovat energiatehokkaita, joka johtaa lämmön tarpeen pienentymiseen tulevaisuudessa. Etenkin uusilla energiatehokkailla asuinalueilla lämmöntarve on niin pieni, että perinteistä kaukolämmön jakeluverkkoa ei kannata rakentaa. Muutokseen voidaan vastata esimerkiksi matalalämpöisemmällä kevytkaukolämpöverkolla, jolloin tuotanto- sekä rakennuskustannukset ovat alhaisemmat muovisten virtausputkien vuoksi. (Motiva, 2017a) Kaukolämpöjärjestelmän lämpötilan alentaminen nykyisestä 115 asteesta 90 asteeseen parantaisi hyötysuhdetta ja jakelun kapasiteettia (Koskelainen, 2006).

3 Lämpöpumput

Huoli ilmastonmuutoksesta sekä energian hintojen nousu ovat vauhdittaneet lämpöpumppujen suosion kasvua. Lämpöpumppujen avulla voidaan saavuttaa suuria taloudellisia säästöjä sekä ympäristöhyötyjä. Esimerkiksi taloyhtiöissä lämpöpumpulla voidaan pienentää lämmityskustannuksia sekä nostaa kiinteistön arvoa. (Motiva, 2020b)

Lämpöpumppu hyödyntää ilmaan, maaperään tai vesistöön varastoitunutta lämpöenergiaa. Keräysputkistossa kiertävä lämmönkeräysneste lämpiää tämän lämpöenergian avulla. Lämmennyt lämmönkeräysneste kulkee lämmönsiirtimeen, jossa se lämmittää kylmäainetta aiheuttaen sen höyrystymisen. Lämpöpumpun kompressori puristaa syntyneen kaasun korkeaan paineeseen, jolloin kaasu lämpenee. Lauhduttimen avulla pumpun tuottama lämpö johdetaan lämmitysjärjestelmään, jolloin kylmäaineen paine laskee ja se jäähtyy, muuttuen takaisin nesteeksi. Prosessi alkaa uudelleen, kun kylmäaine kohtaa jälleen keruupiiristä tulevan lämpimän lämmönkeräysnesteen. (Kari, 2018)

3.1 Lämpöpumpun lämpökerroin

Lämpöpumppujen tehokkuuden kuvaamiseen käytetään yleisesti COP (Coefficient Of Performance), SCOP (Season Coefficient Of Performance) ja SPF (Seasonal Performance Factor) arvoja. COP kertoo lämpöpumpun käyttämän ja tuottaman energian suhteen. COP voidaan laskea alla olevan yhtälön mukaisesti. (Iivonen, 2021a)

$$COP = \frac{\Phi}{P}$$

missä

Φ = tuotettu teho

P= kulutettu teho

Lämpöpumpun COP-arvossa ei oteta huomioon käyttöveden lämmitystä. COP-arvon suuruus riippuu myös lämpöenergian keruu- sekä luovutuslämpötiloista (Iivonen, 2021a). Valmistajan lämpöpumpuille ilmoittamat COP-arvot ovat teoreettisia eivätkä vastaa pumpun todellista suorituskykyä (Kari, 2018).

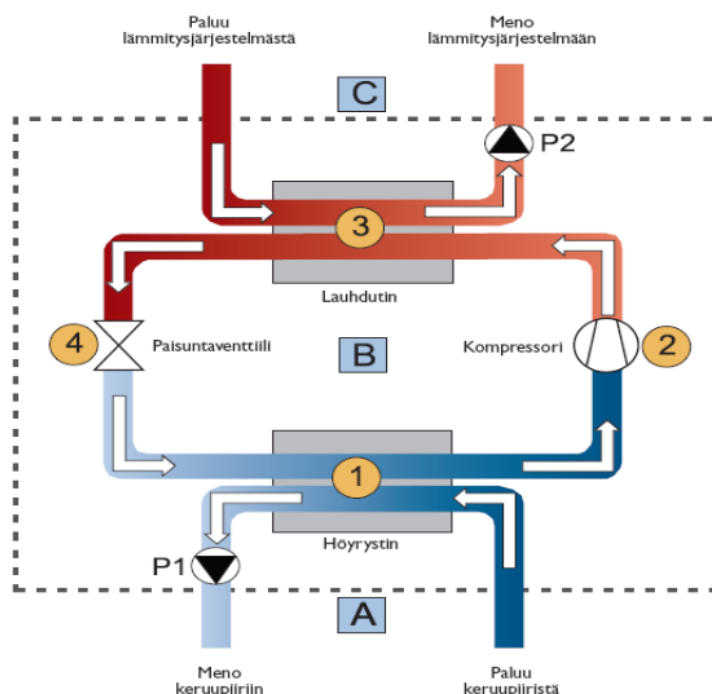
SCOP on lämpöpumpun hyötysuhdeluku, joka ottaa huomioon markkina-alueen sekä lämmityskausien vaihtelut, ja näin kuvaa paremmin lämpöpumpun tehokkuutta. SPF-arvo kuvaa lämpöpumpun tehokkuutta ja ottaa huomioon vuodenaikavaihteluiden lisäksi myös

käyttöveden lämmityksen, poiketen näin COP ja SCOP-arvoista. SPF-arvo antaa paremmin todellisuutta vastaavan kuvan lämpöpumpun suorituskyvystä. (Iivonen, 2021a)

3.2 Maalämpöpumppu (MLP)

Maalämpöpumpulla (MLP) tuotetaan lämpöä hyödyntämällä lämpöenergiaa maalämpökai- vosta tai joko maan tai veden alla olevasta keruupiiristä. Suomessa maa- ja kallioperän lämpötila on korkeampi kuin ilman ja suhteellisen tasainen ympäri vuoden, joten koko vuo- den lämmitysenergia saadaan maasta. Keruupiiri mitoitetaan maaperän laadusta eli sen lämmön siirron tehokkuudesta riippuen. Keruunesteen, yleensä bioetanolin, tärkeitä omi- naisuuksia ovat hyvä lämmönsiirtokyky sekä alhainen jäätymispiste. Maalämpöpumpun toi- minta periaate on esitetty kuvassa 2. (Kari, 2018)

Maalämpöpumppu on investointina isompi muihin lämpöpumppuihin verrattuna, esimerkiksi omakotitaloihin investoinnin suuruus on noin 12 000-20 000 euron välillä, mutta käyttökus- tannukset ovat pienet. Maalämpöpumpun asennus on edullisempaa uudiskohteissa kuin saneerauskohteissa. Maalämpöpumpun vuosilämpökerroin on yleensä 2,5-3,5 välillä. Maa- lämpöputkiston asennus on luvanvaraista, ja luvan saamiseen vaikuttaa suojaetäisyydet muun muassa rakennuksiin, toisiin lämpökaivoihin ja vesistöön, etenkin pohjavesiin. (Mo- tiva, 2021b)

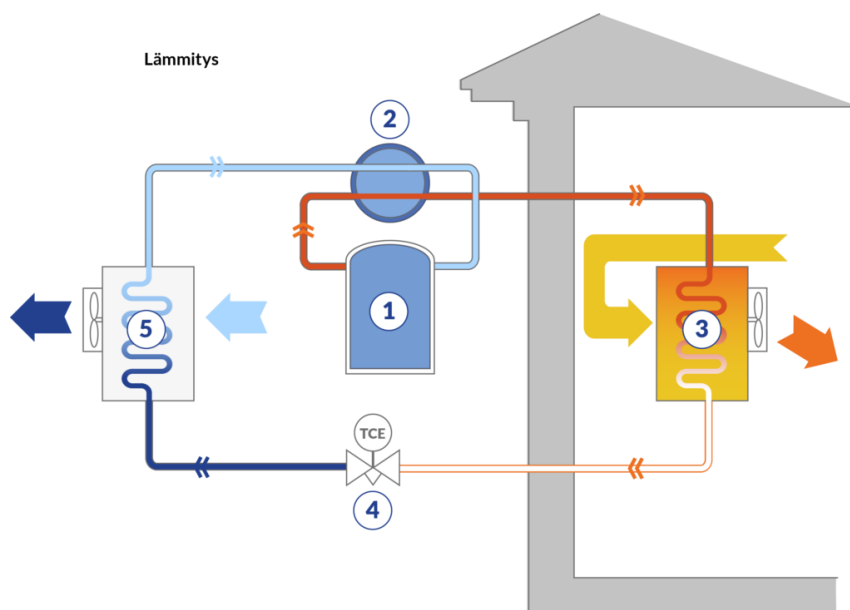


Kuva 2 Havainnekuva maalämpöpumpun toimintaperiaatteesta. Katkoviiva rajaa varsinaisen lämpöpumpun. (Ketonen, 2012)

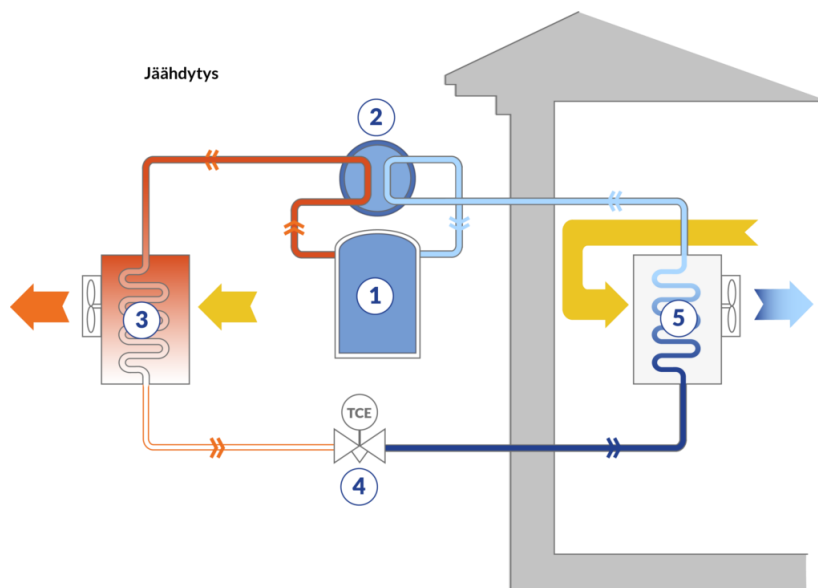
3.3 Ilma-ilmalämpöpumppu (ILP)

Ilmalämpöpumppu (ILP) on toiminnaltaan yksinkertainen ja se on myös edullinen. Se koostuu ulkoyksiköstä sekä yhdestä tai useammasta sisäyksiköstä. Ilmalämpöpumppu kerää lämpöenergiaa suoraan ulkoilmasta ulkoyksikön avulla ja sisäyksikkö lämmitteää sisäilmaa. Yksiköissä on lämmönsiirtimet ja puhaltimet, ja niiden välissä kiertää kylmäaine. ILP sopii päälämmitysjärjestelmän rinnalle tukijärjestelmäksi, jolloin sen avulla voidaan saada aikaan energiansäästöjä. Lämmityksen lisäksi ilmalämpöpumpulla pystytään myös jäähdyttämään, poistamaan kosteutta sekä parantamaan huoneilman laatua. (Kari, 2018) Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate lämmityskäytössä on esitetty kuvassa 3 ja jäähdytyksessä kuvassa 4.

Ilmalämpöpumppu on nopea ja yksinkertainen asentaa, sekä tarvittaessa helppo huoltaa esimerkiksi vaihtamalla sisä- tai ulkoyksikön. Ilmalämpöpumpun asennuskustannukset vaihtelevat omakotitaloissa 1 500–2 500 euron välillä. Ilmalämpöpumppu toimii parhaiten pienellä lämpötilaerolla, kovilla pakkasilla sen hyötysuhde vastaa sähkölämmitystä. (Motiva, 2021b)



Kuva 3 havainnekuva ilmalämpöpumpun toiminnasta lämmityskäytössä. 1. Lauhdutin 2. Kompressor 3. Sisäyksikkö 4. Paisuntaventtiili 5. Ulkoyksikkö. (Scanoffice)

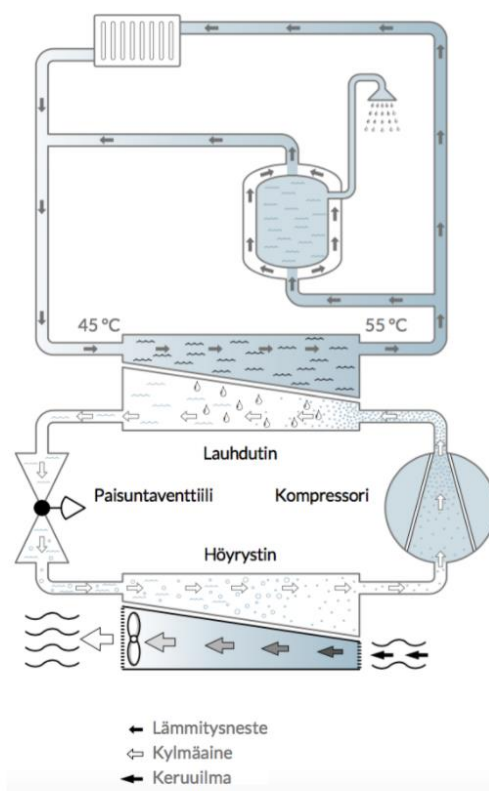


Kuva 4 Havainnekuva ilmalämpöpumpun toiminnasta jäähdytys käytössä. 1. Lauhdutin 2. Kompressor 3. Ulkoyksikkö 4. Paisuntaventtiili 5. Sisäyksikkö. (Scanoffice)

3.4 Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP)

Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP) on toimintaperiaatteeltaan samankaltainen, kuin ilmalämpöpumppu, mutta lämmönluovutus tehdään huoneilman sijasta veteen. IVLP:lla voidaan siis lämmitellä vesikiertoista lämmitysjärjestelmää, esimerkiksi patteriverkostoa tai lattialämmitystä, ja valmistaa lämmintä käyttövettä. Ilmalämpöpumpun tapaan myös vesi-ilmalämpöpumpun hyötysuhde heikkenee ulkolämpötilan laskiessa, jolloin sähkön kulutus vastaavasti kasvaa. (Kari, 2018) IVLP:n toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5.

Ilma-vesilämpöpumppu sopii ainoaksi lämmitysjärjestelmäksi ja myös hybridikäyttöön. Investointina ilma-vesilämpöpumppu on yleensä pienempi kuin maalämmön, esimerkiksi asennus omakotitaloon maksaa 7 000–14 000 euroa, mutta tuottaa myös vähemmän energiaa vuositasolla. Ilma-vesilämpöpumput ovat pääosin kahta eri tyyppiä, Split tai monoblock. Split-laitteessa on ilmalämpöpumpun tapaan erikseen ulko- ja sisäyksiköt, monoblockissa pelkkä ulkoyksikkö, josta vesi kiertää varaajaan. (Motiva, 2021a)



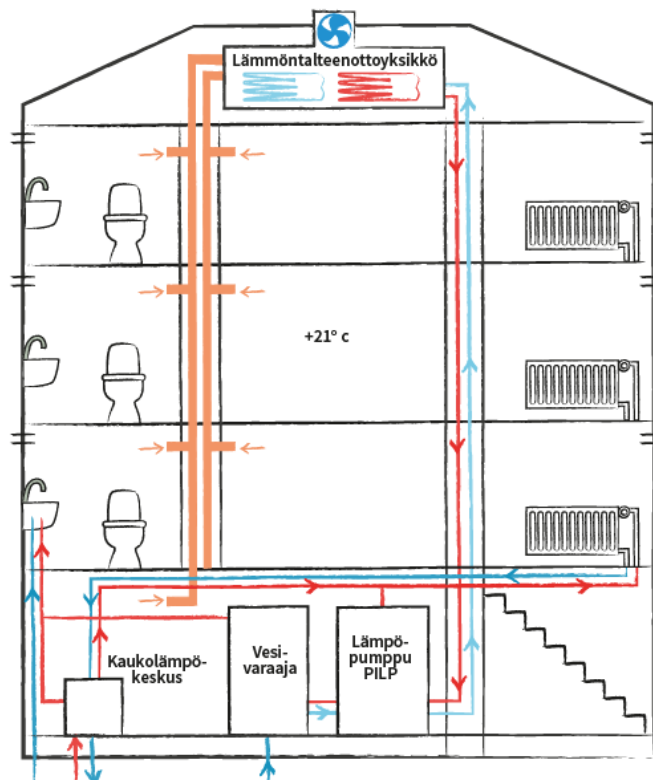
Kuva 5 Havainnekuva ilma-vesilämpöpumpun toiminnasta. (Suomen vesitekniikka)

3.5 Poistoilmalämpöpumppu (PILP)

Rakennusten lämmin poistoilma on hukkalämpöä, joka voidaan kerätä talteen poistoilmalämpöpumpun (PILP) avulla. PILP:in tuottamalla lämpöenergialla voidaan lämmittää tuloilmaa, vesikiertoista lämmitysjärjestelmää ja käyttövettä. Poistoilma on lämpötilaltaan tasainen ympärivuoden, joten PILP voi tuottaa lämmitysenergiaa vakioteholla lähes vuoden ympäri. Rakennuksen koosta ja energiatasosta riippuen lämmitysenergian tarve voidaan katata osittain, esimerkiksi kerrostaloissa, tai lähes kokonaan, esimerkiksi matalaenergia pientaloissa, PILP:in avulla. (Kari, 2018) PILP:in toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6.

Poistoilmalämpöpumpun oikeanlainen mitoitus on tärkeää, jotta se toimii optimoidusti. Etenkin hybridikohteissa on kiinnitettävä huomiota lämmitysjärjestelmien yhteensovittamiseen. PILP-järjestelmän avulla voidaan myös viilentää sisätiloja sekä puhdistaa huoneilmaa. (Motiva, 2020c)

POISTOILMA-
LÄMPÖPUMPPU



Kuva 6 Havainnekuva poistoilmalämpöpumpun toiminnasta. (Koutsi – HSY:N verkkokurssit)

4 Rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän kytkentä kaukolämpöön

Hybridilämmitysjärjestelmästä puhuttaessa tarkoitetaan kahden tai useamman lämmitysjärjestelmän yhdistelmää. Useimmiten yksi lämmitysjärjestelmä toimii pääasiallisena lämpöenergianlähteenä, ja muut tukijärjestelmänä. Kaukolämmön rinnakkaisena energianlähteenä hyödynnetään usein lämpöpumppuja, etenkin poistoilmalämpöpumput ovat yleistyneet Lahti Energian kaukolämpöasiakkaiden keskuudessa (Iivonen, 2021b). (Kari, 2018; Iivonen, 2021a)

Rinnakkaiset lämmitysjärjestelmät parantavat rakennusten energiatehokkuutta ja edesauttavat energiatarvoitteiden täyttymistä. Rinnakkainen lämmönlähde auttaa optimoimaan lämmön hyödyntämisen tarpeen mukaan ja vakauttaa energiakuluja. Uusiutuvan energian ja hukkalämmön hyödyntäminen vähentää ympäristön rasitusta pienentämällä energiantuotannon tarvetta. Tuottamalla lämpöenergiaa hajautetusti pystytään lisäksi tasaamaan teho- ja lämpökuormitusta, nostamaan kaukolämpöverkon kapasiteettia sekä laskemaan investointi- ja pumpauskustannuksia. (Kari, 2018)

4.1 Kaukolämmön sopimusehdot

Asiakkaan liittyessä kaukolämpöverkkoon osapuolet sopivat lämmöntoimituksen ehdoista. Energiayhtiöt määrittelevät yleisissä sopimusehdoissa mitä energiankäyttöön merkittävästi vaikuttavissa hankkeissa tulee ottaa huomioon, esimerkiksi liitettäessä lämmöntalteenottojärjestelmää kaukolämpölaitteisiin. Sopimusehtojen avulla energiayhtiö varmistaa asiakkaidensa turvallisuuden sekä luotettavan lämmöntoimituksen. Mikäli järjestelmään tehdään muutoksia, on suunnitelmat ja laitteet tarkastettava energiayhtiön toimesta. Tarkastuksen avulla varmistetaan, ettei asiakkaan lämmönsaanti rajoitu, riittävä virtaus säilyy ja jäähtymä ei pääse heikkenemään merkittävästi. Tarkastamalla laitteet etukäteen tulevaisuudessa vältytään ylimääräisiltä selvityksiltä ja tarkistuksilta. Samalla autetaan asiakasta energiansäästöissä sekä varmistetaan energiatehokkuus huomioimalla koko järjestelmä kokonaisuutena. (Energiateollisuus ry, 2017)

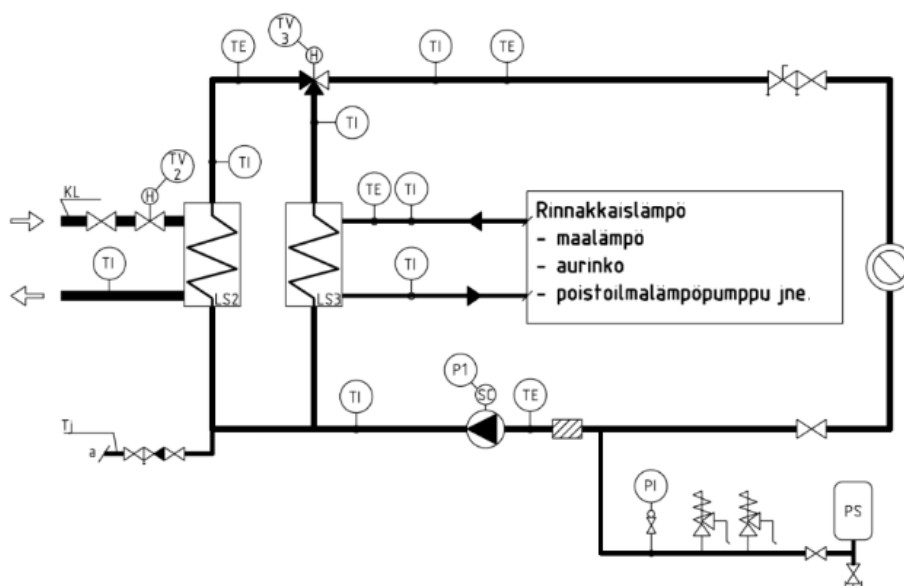
Lahti Energian (2013) soveltamat alue- ja kaukolämmön liittymis- ja myyntiehdot on otettava huomioon liitettäessä rinnakkaista lämmitysjärjestelmää kaukolämpöön, vaikka niissä ei suoraan mainita hybridijärjestelmää. Sopimusehdot velvoittavat asiakkaan noudattamaan lämmönmyyjän suosituksia ja ohjeita hybridijärjestelmälle, sillä sopimusehtojen mukaan kaukolämpöjärjestelmään saa tehdä vain lämmönmyyjän hyväksymiä muutoksia. Asiakkaan on ilmoitettava lämmönmyyjälle, mikäli kiinteistössä tai lämmitysjärjestelmässä tehdään kaukolämmön kulutukseen vaikuttavia muutoksia. Asiakkaan on lähetettävä muutosta

koskeva suunnitelma, joka sisältää myös kytkentäkaavion, Lahti Energialle, sekä tilattava asennuksen jälkeinen laitteiden tarkastus. Menettelyn avulla varmistetaan, että hybridijärjestelmä ei aiheuta vahinkoa kaukolämpöjärjestelmälle. Sopimusehdoissa vaaditaan, että kaukolämpöveden jäähtymän on oltava vähintään 25 °C ja paluueden lämpötila saa olla korkeintaan 65 °C. Lämmönmyyjällä on oikeus keskeyttää lämmöntoimitus ja jopa purkaa sopimus, mikäli asiakas olennaisesti laiminlyö velvollisuuksiaan.

4.2 Energiateollisuus ry:n rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä

Energiateollisuus ry:n (2020b) julkaisussa K1/2020 on ohjeita rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän kytkentään. Laitteet on suunniteltava ja mitoitettava niin, että lainsäädännön lämpötilavaatimukset täyttyvät. Mikäli lämpötehon tarvetta ei pystytä kattamaan rinnakkaisella lämmönlähteellä, otetaan tarvittava lisälämpö kaukolämmöstä.

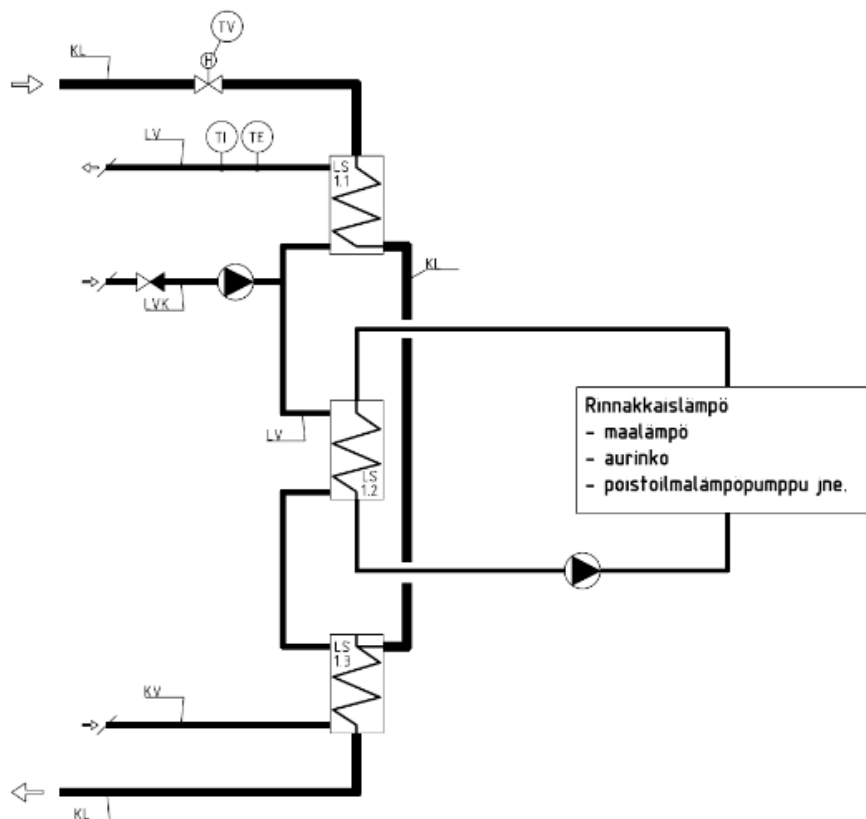
Kytkentätapa tilojen lämmitykseen ei saa tarpeettomasti heikentää kaukolämpöveden jäähtymää ja lämmöntoimituksen varmuutta vaarantamatta. Rinnakkainen lämmitysjärjestelmä on aina kytkettävä kaukolämpöjärjestelmän rinnalle, jolloin kaukolämmön paluuvettä ei lämmitetä. Kuvassa 7 on esimerkkikytkentä tilojen lämmitykseen. (Energiateollisuus ry, 2020b)



Kuva 7 Energiateollisuus ry:n (2020b) rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä tilojen lämmitykseen. Liitteessä 1 on kytkentäkaaviossa käytettyjen merkkien selitykset.

Lämmitettäessä käyttövedtä rinnakkaisella lämmönlähteellä on myös otettava huomioon kaukolämmön paluueden riittävä jäähtymä. Rinnakkaislämpöä ei tule ohjata lämmittämään lämpimän käyttöveden kiertoa. Käyttöveden kiertojohdon lämmittäminen voi aiheuttaa voimakkaita lämpötilavaihteluita rasittaen kaukolämmön liittymisjohtoa, kasvattaen näin

vaurioitumisen riskiä. Käyttöveden lämmityksen esimerkki kytkentä on esitetty kuvassa 8. Liitteessä 2 on hybridikytkentäesimerkki, jossa on sekä käyttöveden että tilojen lämmitys rinnakkaislämmöllä. (Energiateollisuus ry, 2020b)



Kuva 8 Energiateollisuus ry:n (2020b) rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä käyttöveden lämmitykseen. Liitteessä 1 on kytkentäkaaviossa käytettyjen merkien selitykset.

4.3 Lahti Energian hybridikytkentäohje

Parhaimman mahdollisen kytkentätavan varmistamiseksi Lahti Energia on laatinut asiakkaiden ja suunnittelijoiden avuksi hybridikytkentäohjeen. Ohje sisältää suunnittelu- ja asennusohjeita, vaatimuksia lämmitys- ja lämminvesilaitteistoa koskien sekä listan suunnitelmissa esitettävistä asioista. Lahti Energian kaukolämpöverkkoon kytkettävän hybridijärjestelmän on noudatettava Energiateollisuus ry:n julkaisun K1/2020 määräyksiä ja ohjeita, ympäristöministeriön asetusta rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asumisterveysohjetta sekä Lahti Energia Oy:n hybridikytkentäohjetta. (Lahti Energia)

Hybridikytkentäohjeen mukaan kaukolämmön rinnakkainen lämmönlähde on aina kytkettävä rinnankytkennällä, eikä lämmitysverkoston paluuvettä tule lämmittää ennen sen virtausta kaukolämpösiirtimelle. Kytkentä ei saa heikentää jäähdytystä eikä kaukolämmön

toimitusvarmuutta. Laitteisto on mitoitettava kaukolämpöveden mahdollisimman tehokkaaseen jäähtyvyyteen pyrkien. Laitteiston mitoituksessa on myös huomioitava, että rinnakkaiselta lämmönlähteeltä tulevan veden lämpötilaa voidaan tarvittaessa nostaa kaukolämmöllä. Lämpimän käyttöveden ja lämpimän käyttöveden kierron esilämmitys ei ole sallittua. (Lahti Energia)

4.4 Rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän edut ja haasteet

Hybridijärjestelmissä lämpö tuotetaan lämmitysmuotojen priorisointijärjestyksessä. Esimerkiksi kaukolämmön ja lämpöpumpun hybridijärjestelmässä lämpöpumppu toimii pääasiallisena lämmönlähteenä, ja kaukolämpöä käytetään tarvittaessa tukilämmitysjärjestelmänä (Iivonen, 2021b). Hybridijärjestelmän avulla lämmitysmuotoja hyödynnetään tehokkaasti ajojärjestyksen optimoinnin ansiosta. Lämpöpumpun avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä lämmitysjärjestelmän käyttökustannuksissa sekä päästöissä. Toisaalta järjestelmän monimutkaistuesssa alkuinvestointi on suuri ja kustannukset kasvavat hankintavaiheen lisäksi myös huollontarpeen vuoksi. Järjestelmän taloudellista kannattavuutta on kuitenkin tärkeä arvioida sen koko elinkaaren ajalta. (Kari, 2018)

Rinnakkainen lämmönlähde vähentää merkittävästi kaukolämmön kulutusta. Tulevaisuudessa hybridijärjestelmien määrän kasvaessa kaukolämmön kulutus vähenee huomattavasti, sillä suurimman osan rakennusten lämpöenergian tarpeesta lämmityskaudella pystytään kattamaan lämpöpumpun avulla. Kaukolämpö on kuitenkin tarpeellinen kulutushuippujen aikana, esimerkiksi kovilla pakkasilla, kun lämpöpumppujen kapasiteetti ei riitä. Seurauksena kaukolämmön rooli varalämmön lähteenä nostaa tuotantokustannuksia. (Kari, 2018)

Oleellisin asia hybridijärjestelmän toiminnan kannalta on oikea mitoitus, automaatio ja kytkentä. Rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän kytkennällä on suuri merkitys kaukolämpöverkon toiminnan kannalta. Hybridikytkentä voidaan toteuttaa esimerkiksi kolmitieventtiilillä, jonka avulla säädellään, otetaanko tarvittava lämpö kaukolämmöstä vai rinnakkaisesta lämmönlähteestä (Iivonen, 2021b). Huono kytkentä heikentää kaukolämmön jäähtymää, eli kaukolämmön paluuvien lämpötila jää liian korkeaksi. Väärä mitoitus kasvattaa tarvittavaa vesivirtaa. Energiategollisuus ry:n (2020b) esimerkki hybridikytkennästä, joka on toteutettu kolmitieventtiilillä, on esitetty liitteessä 2. (Kari, 2018)

Kaukolämpöveden jäähtymän merkitys riippuu lämmöntuotantolaitoksesta. Huono jäähtymä heikentää yhteistuotantolaitoksilla sähköntuotantoa (Mäkelä, 2015). Tuotantolaitoksilla, joissa on käytössä lämmöntalteenottopesuri, saavutetaan suurempi hyöty kaukolämpöveden paremmalla jäähtymällä. Savukaasupesurin avulla savukaasuista otetaan

lämpöenergiaa talteen siirtämällä se kaukolämpövedeen. Jäähdytymän parantuessa kaukolämmön vesivirta pienenee. Pienemmällä vesivirralla kaukolämpöverkon paine-erot ja pumppauskustannukset laskevat ja lisäksi lämpötilaero kaukolämmön meno- ja paluupuolten välillä kasvaa. Seurauksena kaukolämpövedettä voidaan siirtää pienemmissä putkissa, tai vastaavasti olemassa olevaa verkon kapasiteettia voidaan kasvattaa, ilman että tuotantoa tarvitsee lisätä. (Kari, 2018)

Hybridijärjestelmien määrän kasvun myötä kaukolämpöyhtiön investointitarve uuteen tuotantokapasiteettiin pienenee. Myös tarve tuottaa lämpöä kaasulla tai öljyllä käyvillä laitoksilla kulutushuippujen aikana laskee. Hybridijärjestelmien tuomia haasteita kaukolämpöyhtiölle aiheuttaa hajatuotannon koordinointi, kysynnän volyymin lasku ja tuotantokustannusten mahdollinen nousu sekä kasvava riski on kaukolämmön toimintavarmuuden heikentymiseen. (Kari, 2018)

5 Hybridikohde 1

Hybridikohde 1 on kerrostalo, jossa lämmitysjärjestelmänä on aiemmin ollut vain kaukolämpö. Kohteeseen on investoitu poistoilmalämpöpumppu (PILP). PILP on kytketty kohteessa jo olleeseen kaukolämpölaitteistoon hybridilämmitysjärjestelmäksi. Kohteen kulutuksen perusteella (kuva 9) pystytään päättelemään, että hybridilämmitysjärjestelmä on otettu käyttöön vuosien 2019 ja 2020 vaihteessa.

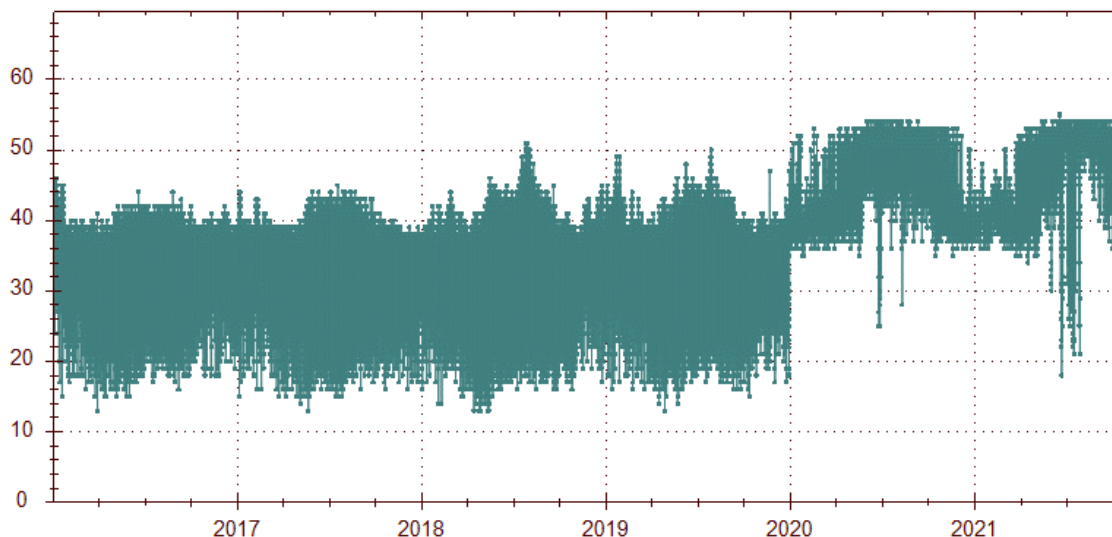
5.1 KytKentä

Kohteessa 1 käyttövettä ja kahta lämmitysverkostoa lämmitetään lämpöpumpulla ja kaukolämmöllä. Kohteen 1 kytkennässä keskeisin kaukolämpöjärjestelmän toimintaan vaikuttava tekijä on lämpimän käyttöveden kierron esilämmitys. Kohteessa käyttövesi lämmitetään ensin lämpöpumpun varaajassa, jonka jälkeen lämmennyt käyttövesi tuodaan lämpimän käyttöveden kiertoputkeen ennen kaukolämpösiirrintä. Kaukolämpösiirtimessä käyttöveden lämpötila nostetaan asetusarvoon tarvittaessa. Tällöin kaukolämpösiirtimelle tuleva käyttövesi on jo lämmintä, eikä kaukolämpövesi jäähdy riittävästi. Kohteen 1 kytkentä on esitetty liitteessä 3.

KytKentä ei ole Energiateollisuus ry:n (2020b) julkaisun K1/2020 suositusten mukainen, eikä noudata Lahti Energian hybridikytKentäohjetta. Lämpimän käyttöveden kierron esilämmitys voi aiheuttaa järjestelmään vaurioita sekä heikentää kaukolämpöveden jäähtymää.

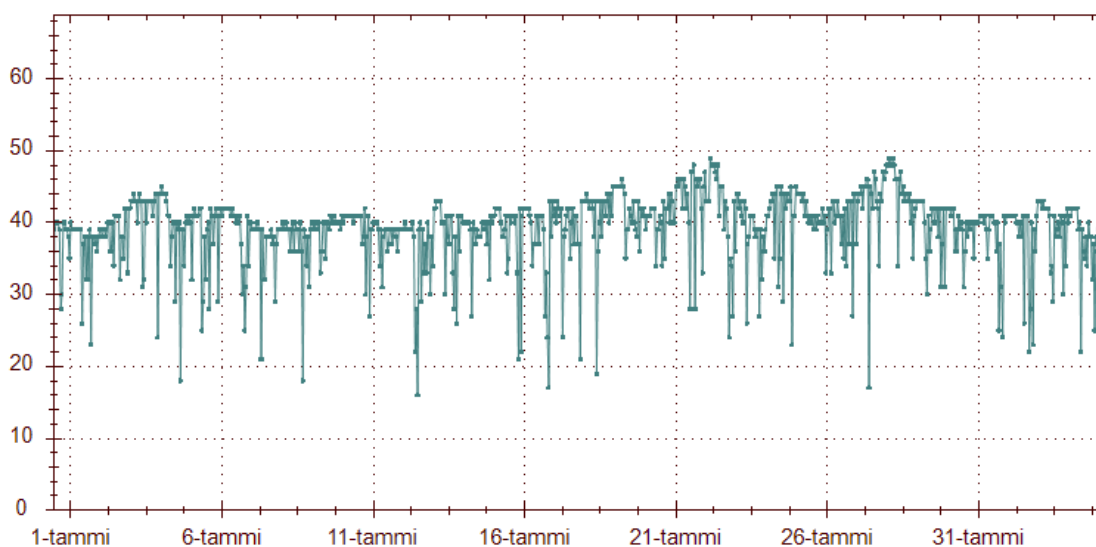
5.2 Kaukolämmön paluueden lämpötila

Lahti Energian (2021a) kulutusseurantajärjestelmästä saatavasta datasta nähdään selvä muutos kaukolämmön paluueden lämpötilassa vuosien 2019 ja 2020 vaihteessa (kuva 9). Paluueden lämpötila on rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän kytkennän seurauksena kohonnut merkittävästi.

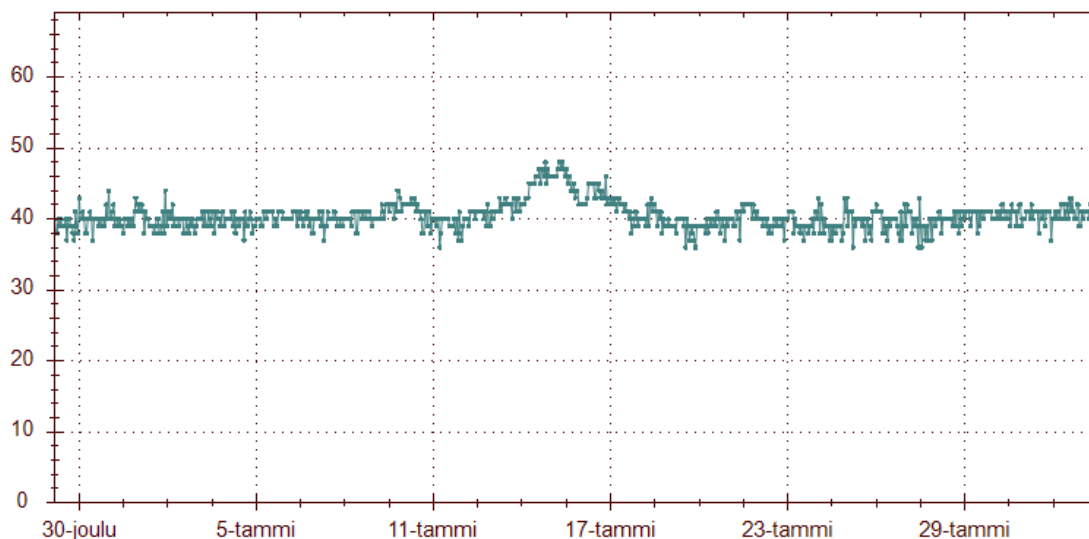


Kuva 9 Kohteen 1 kaukolämmön paluveden lämpötila tunneittain tammikuusta 2015 loka-kuuhun 2021 (°C). Kuvasta nähdään hybridijärjestelmän aiheuttama muutos lämpötilassa vuoden 2020 vaihteessa.

Verratessa kohteen 1 vuoden 2019 kaukolämmön paluveden lämpötiloja, jolloin PILP-järjestelmä ei ollut vielä kytketty kaukolämpöön, vuoden 2021 lämpötiloihin, PILP-järjestelmän käyttöönoton jälkeen, on havaittavissa selkeä nousu etenkin lämmityskauden ulkopuolella. Lämmityskaudella paluveden lämpötilojen vaihteluväli on pienempi hybridijärjestelmän käyttöönoton jälkeen. Lämmityskaudella tammikuussa vuonna 2021 (kuva 11) paluulämpötila on usein korkeampi kuin tammikuussa vuonna 2019 (kuva 10). Paluveden keskilämpötila oli vuonna 2019 tammikuussa 39,5 astetta, ja vuonna 2021 tammikuussa 40,5 astetta.

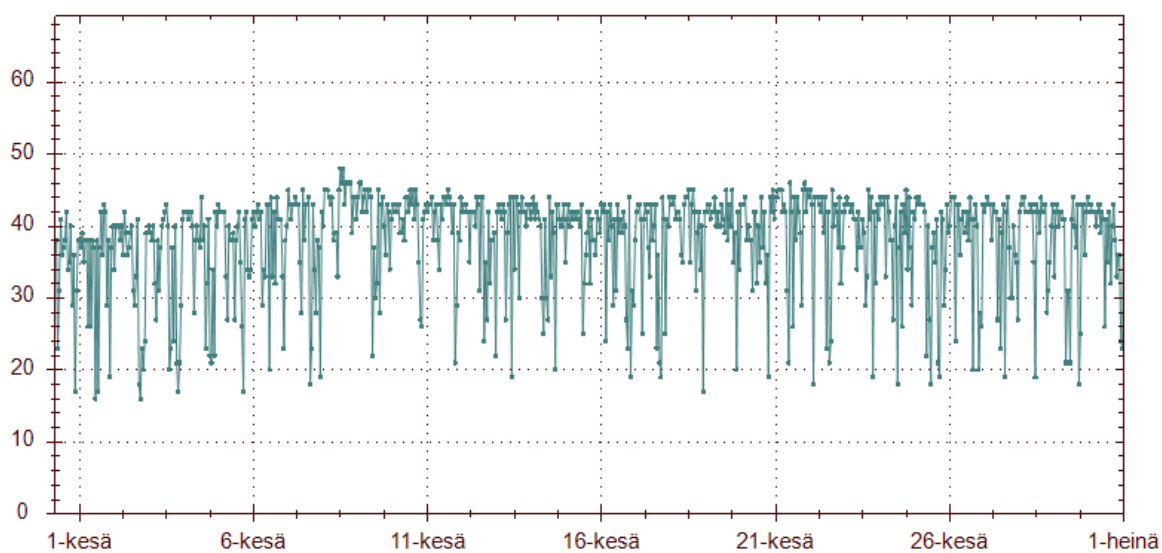


Kuva 10 Kohteen 1 kaukolämmön paluveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2019 (°C).

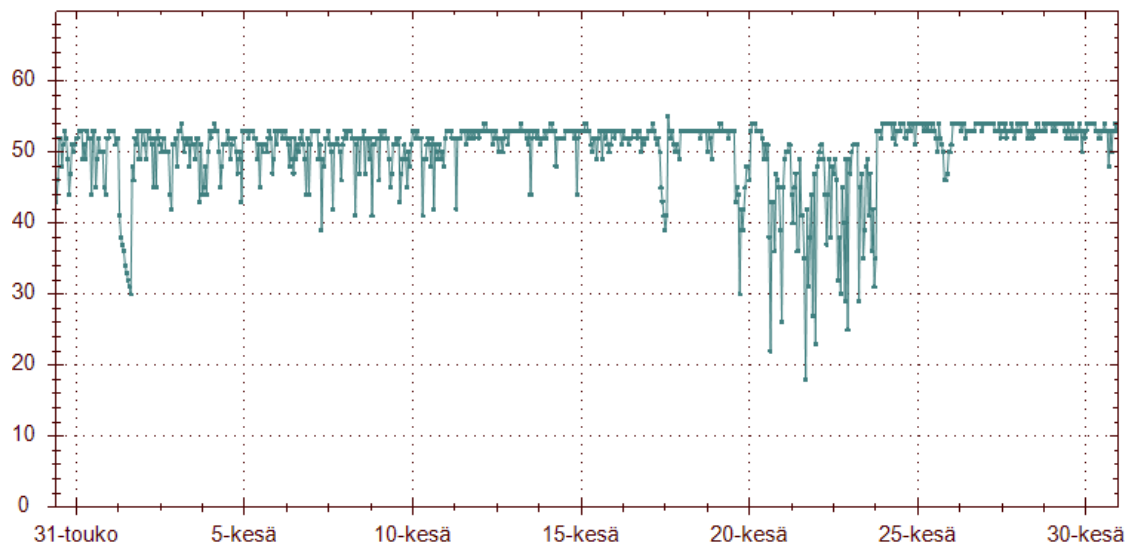


Kuva 11 Kohteen 1 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2021 (°C).

Kuvassa 12 on esitetty kohteen 1 paluuveden lämpötila lämmityskauden ulkopuolella kesäkuussa 2019 ja kuvassa 13 kesäkuussa on 2021. Kesäkuussa 2019 lämpötilat ovat selvästi alle 50 astetta, kun taas kesäkuussa 2021 lämpötilat ovat yli 50 astetta lähes päivittäin. Paluuveden keskilämpötila oli vuonna 2019 kesäkuussa 38,1 astetta, ja vuonna 2021 kesäkuussa 50,2 astetta.



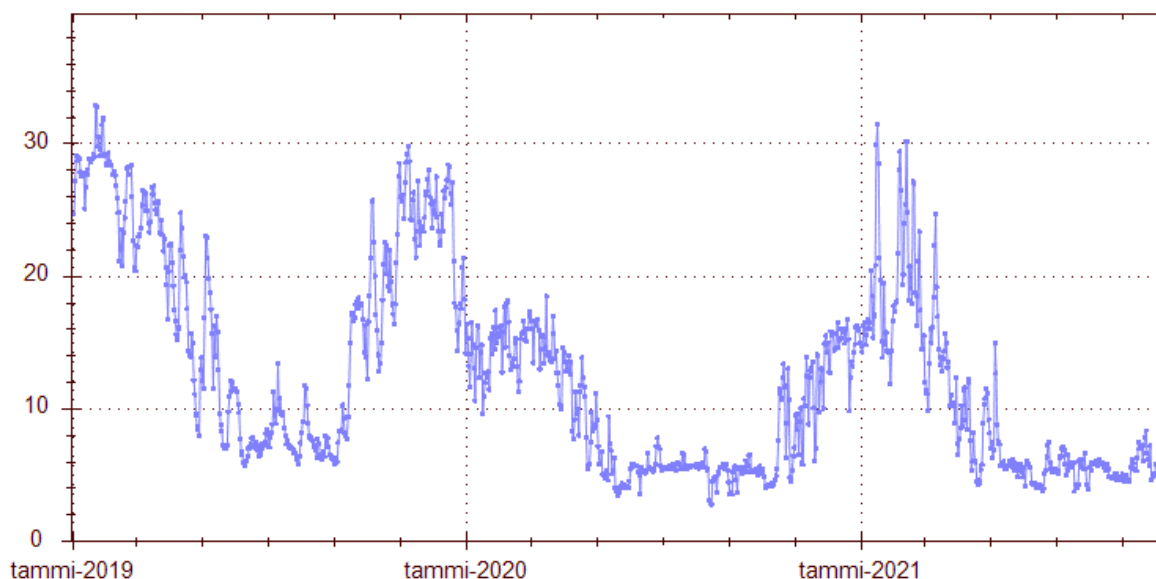
Kuva 12 Kohteen 1 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain kesäkuussa 2019 (°C).



Kuva 13 Kohteen 1 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain kesäkuussa 2021 (°C).

5.3 Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia

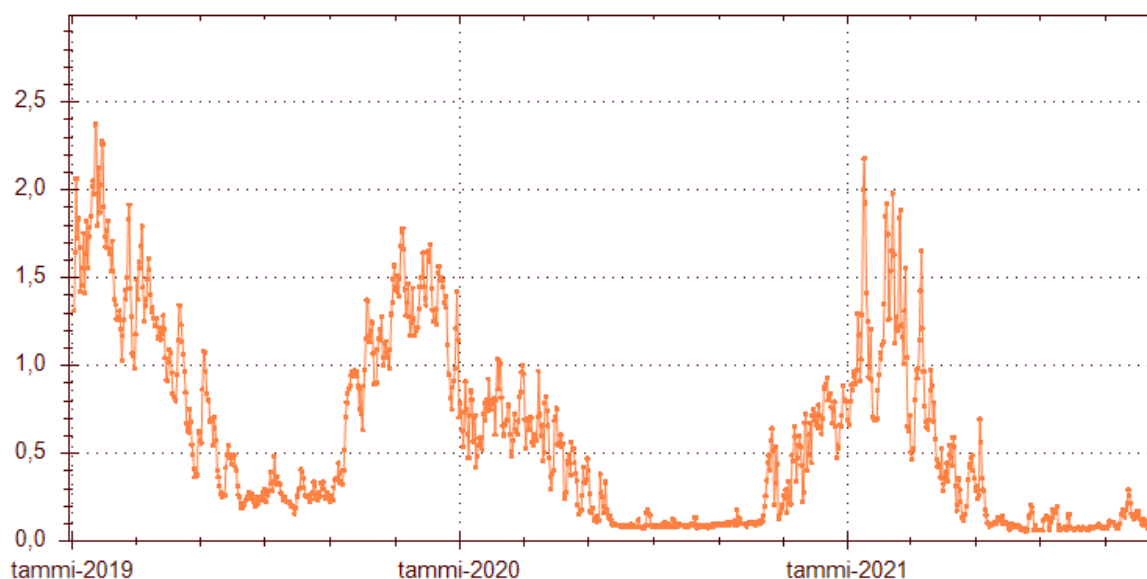
Kuvasta 14 on havaittavissa PILP-järjestelmän vaikutus kohteen 1 kaukolämpöveden virtaukseen. Virtaus on pienentynyt vuoden 2019 jälkeen. Kokonaisvirtaus oli ennen hybridijärjestelmän käyttöönottoa vuonna 2019 tammikuussa 865,6 m³, ja hybridijärjestelmän käyttöönoton jälkeen vuonna 2021 tammikuussa 532,8 m³.



Kuva 14 Kohteen 1 kaukolämmön päiväkohtaiset virtaukset tammikuusta 2019 syyskuuhun 2021 (m³).

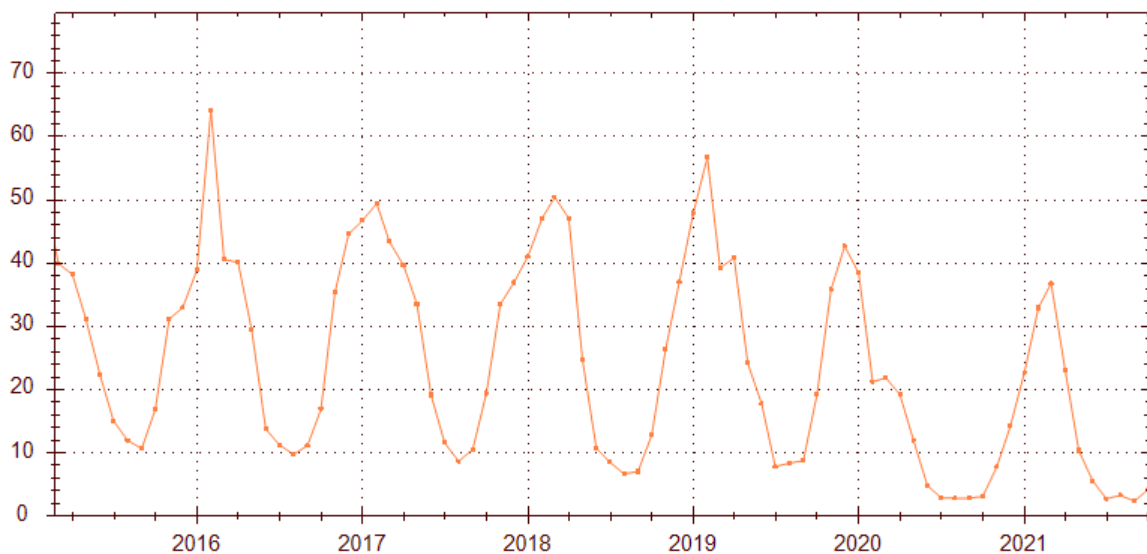
Kaukolämpöenergian kulutuksessa on havaittavissa sama ilmiö kuin kaukolämpöveden virtauksessa, se on pienentynyt PILP-järjestelmän käyttöönoton myötä (kuva 15). Esimerkiksi

tammikuussa 2019 kohteen kaukolämpöenergiankulutus oli 56,7 MWh, ja tammikuussa 2021 kulutus oli 32,9 MWh.



Kuva 15 Kohteen 1 päivittäin kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2019 syyskuuhun 2021 (MWh).

Kuvasta 16 nähdään, että kaukolämpöenergian tarve on vaihdellut vuodesta riippuen, sillä toiset talvet ovat kylmempiä kuin toiset. Kuitenkin kaukolämpöenergian kulutuksessa on havaittavissa laskua. Kaukolämmön kulutus kohteessa on siis selvästi vähentynyt PILP-järjestelmän käyttöönoton seurauksena. Kaukolämpöä käytetään eniten lämmityskaudella, kun lämmöntarvetta ei pystytä kattamaan kokonaan lämpöpumpulla.



Kuva 16 Kohteen 1 kuukausittain kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2015 syyskuuhun 2021 (MWh).

6 Hybridikohde 2

Hybridikohde 2 on kerrostalo, jossa poistoilmalämpöpumppu on lisätty ja kytketty kaukolämpöjärjestelmään loppuvuodesta 2019. Hybridilämmitysjärjestelmän kytkentäajankohta voidaan päätellä kuvasta 17.

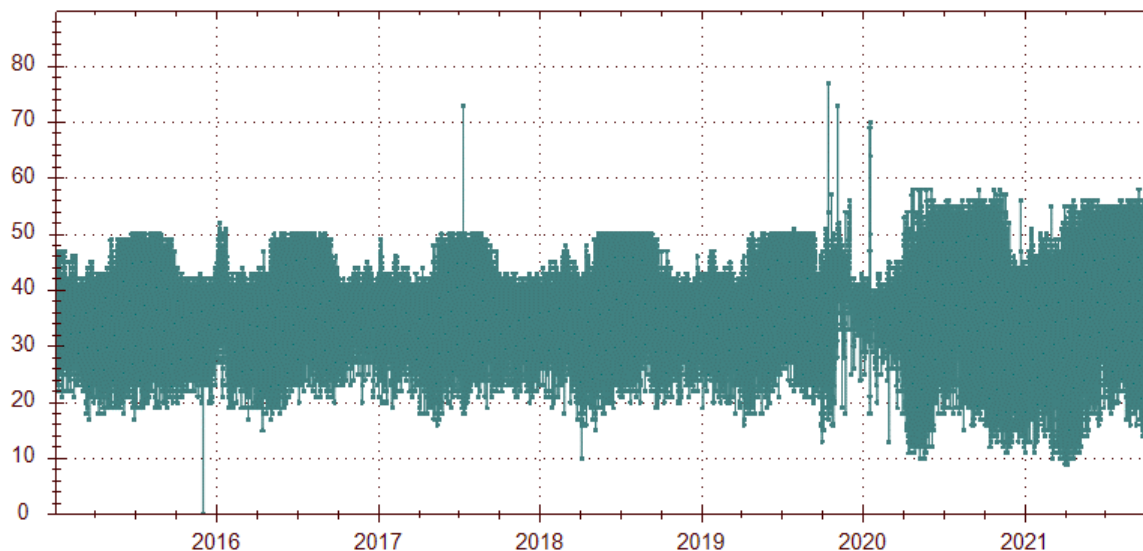
6.1 Kytkeä

Kohteessa 2 lämmitysverkostoa lämmitetään pääasiassa lämpöpumpulla. Käyttöveden lämmityksessä hyödynnetään lämpöpumpun tuottamaa lämpöä, jos sitä ei lämmityksessä tarvita. Kylmää käyttövettä lämmitetään ensin kaukolämpösiirtimessä paluuedellä, jonka jälkeen sitä lämmitetään lämpöpumpun avulla. Viimeisenä lämmennyt käyttövesi tuodaan kaukolämpösiirtimelle, jossa se lämmitetään asetusarvoon kaukolämmön menovedellä. Lämpimän käyttöveden kierrossa on lämpöpumpun tulistussiirrin, jolla nostetaan kierron lämpötilaa muutamalla asteella tarvittaessa. Kaukolämpöä ei tarvita kierron lämmitykseen. Kohteen 2 kytkentä on esitetty liitteessä 4.

Rinnakkainen lämmönlähde on kytketty suositusten mukaisesti rinnankytkennällä. Kytkeä, jossa on tulistussiirrin, on hyväksytty Lahti Energialla, jos on otettu huomioon kaukolämpöliittymän jäätymisriski talvella. Automaatiossa on oltava toiminto, joka ajaa kaukolämmön säätöventtiileitä auki tietyin väliajoin.

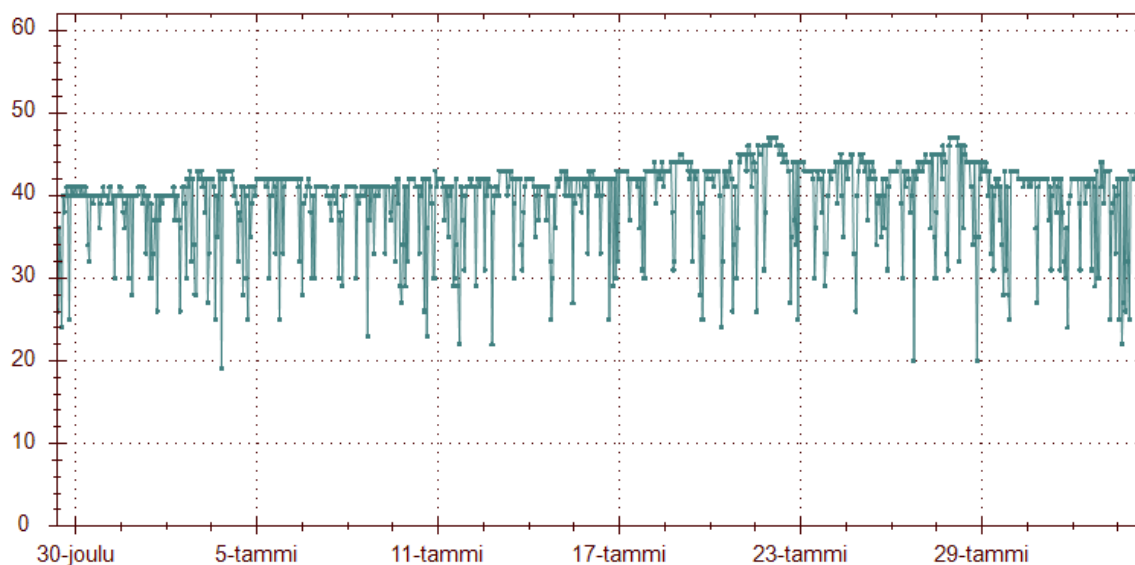
6.2 Kaukolämmön paluueden lämpötila

Lahti Energian (2021a) kulutusseurantajärjestelmästä saadusta datasta kaukolämmön paluueden lämpötilassa huomataan selkeä muutos vuoden 2019 lopussa. Kuvasta 17 nähdään, että vuosina 2015-2019 ennen hybridijärjestelmän käyttöönottoa kaukolämmön paluulämpötila on vaihdellut vuodenajan mukaan. Loppuvuodesta 2019 alkuvuoteen 2020 hybridijärjestelmän toiminta on oletettavasti ollut vaihtelevaa, jonka jälkeen paluueden lämpötila näyttää muuttuvan ennustettavammin.

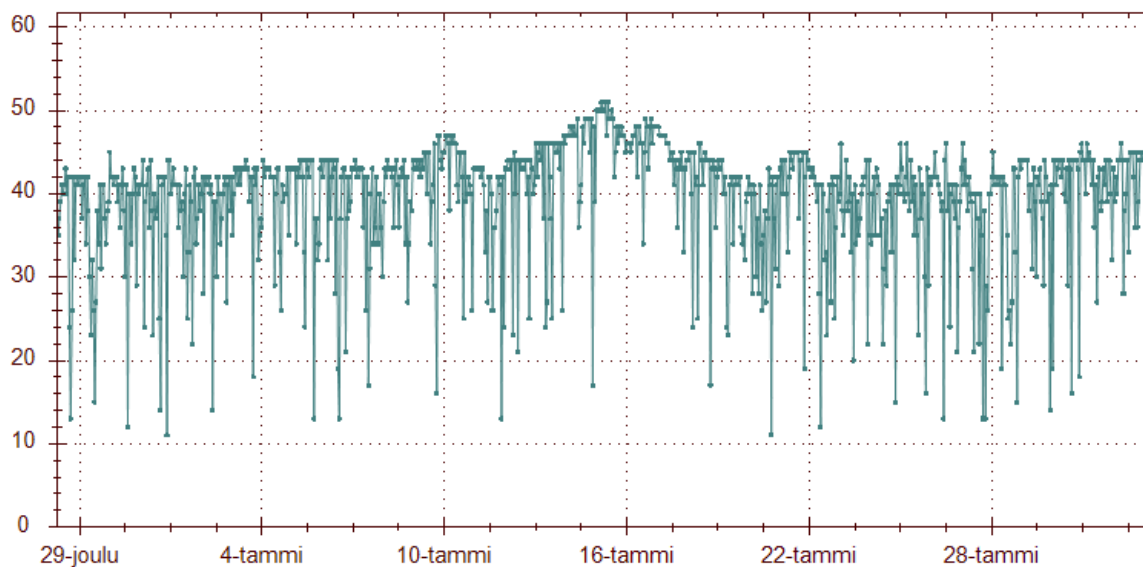


Kuva 17 Kohteen 2 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuusta 2015 lokakuuhun 2021 (°C). Kuvasta nähdään hybridijärjestelmän aiheuttama muutos lämpötilassa vuoden 2019 lopussa.

Verrattaessa kaukolämmön paluuveden lämpötiloja lämmityskaudella vuonna 2019 ennen ja vuonna 2021 jälkeen PILP-järjestelmän liittämisen kaukolämpöön havaitaan lämpötilassa enemmän vaihtelua. Vuonna 2019 paluuveden keskilämpötila tammikuussa oli 39,9 astetta ja vuonna 2021 tammikuussa 39,6 astetta. Keskilämpötilan perusteella voitaisiin päätellä, että suurta muutosta ei ole tapahtunut, mutta vertaamalla kuvia 18 ja 19 havaitaan, että paluulämpötilan vaihteluväli on suurempi vuonna 2021. PILP-järjestelmän käyttöönoton jälkeen paluuveden lämpötila on paikoin korkeampi, mutta myös käy matalammalla kuin ennen.

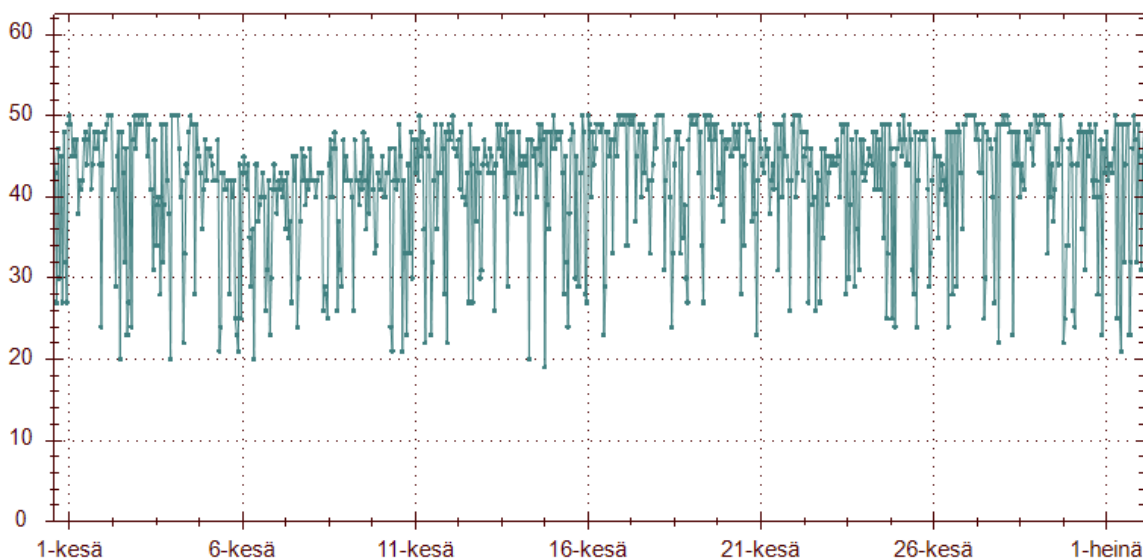


Kuva 18 Kohteen 2 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2019 (°C).

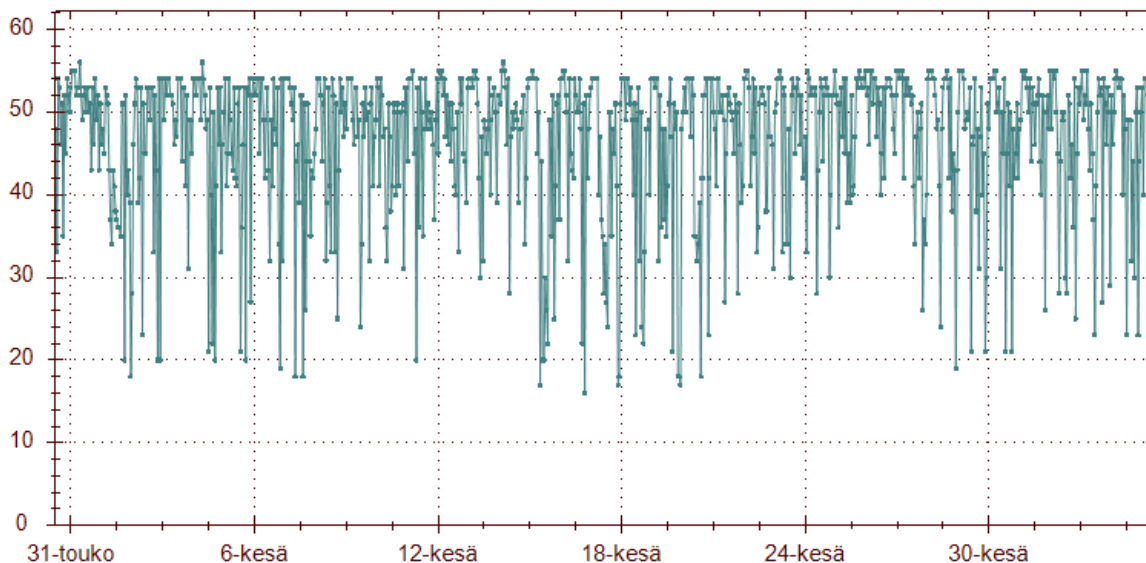


Kuva 19 Kohteen 2 kaukolämmön paluveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2021 (°C).

Lämmityskauden ulkopuolella kesäkuussa vuonna 2019 paluveden keskilämpötila oli 44,7 astetta ja kesäkuussa vuonna 2021 46,4 astetta. Vertaamalla kuvia 20 ja 21 huomataan, että lämpötila käy päivittäin korkeammalla vuonna 2021 kuin vuonna 2019. Muutos ei ole suuri verrattaessa keskilämpötiloja, sillä lämpötilan vaihteluväli on kasvanut PILP-järjestelmän käyttöönoton jälkeen.



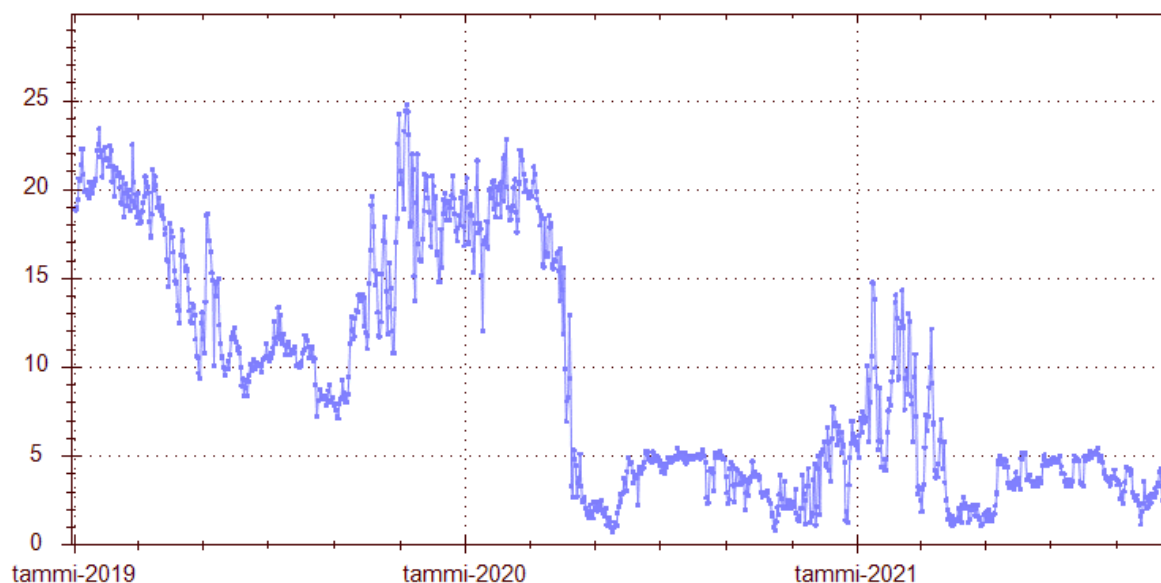
Kuva 20 Kohteen 2 kaukolämmön paluveden lämpötila tunneittain kesäkuussa 2019 (°C).



Kuva 21 Kohteen 2 kaukolämmön paluveden lämpötila tunneittain kesäkuussa 2021 (°C).

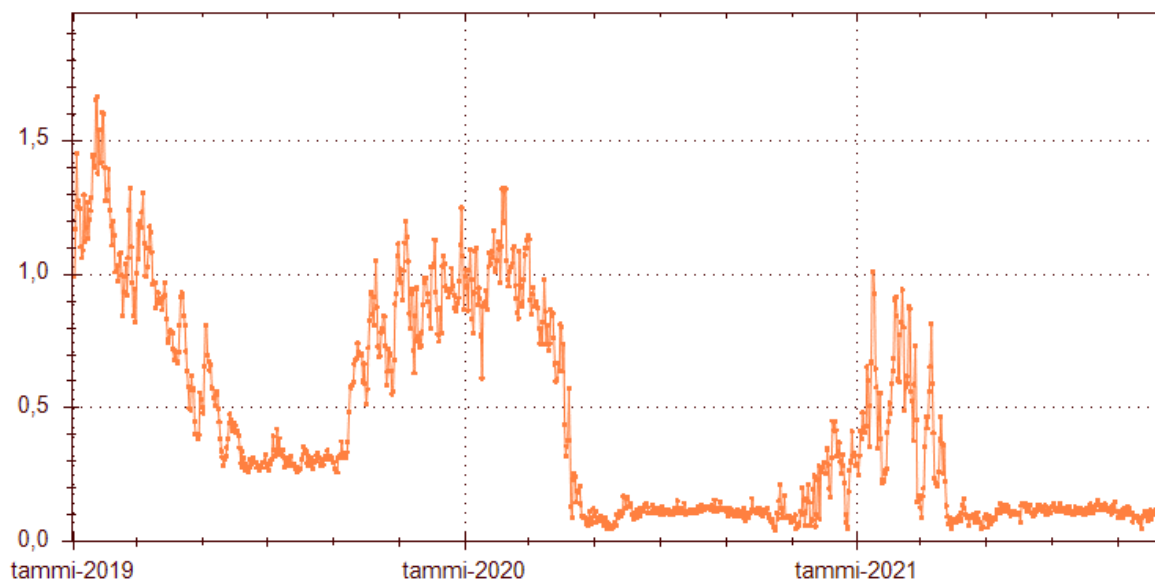
6.3 Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia

Kohteen 2 kaukolämpöveden virtauksessa tapahtunut selkeä pudotus rinnakkaisen lämmönlähteen liittämisen jälkeen on havaittavissa kuvasta 22. Kaukolämpöveden kokonaisvirtaus oli vuonna 2019 tammikuussa $624,5 \text{ m}^3$ ja vuonna 2021 tammikuussa $229,36 \text{ m}^3$.



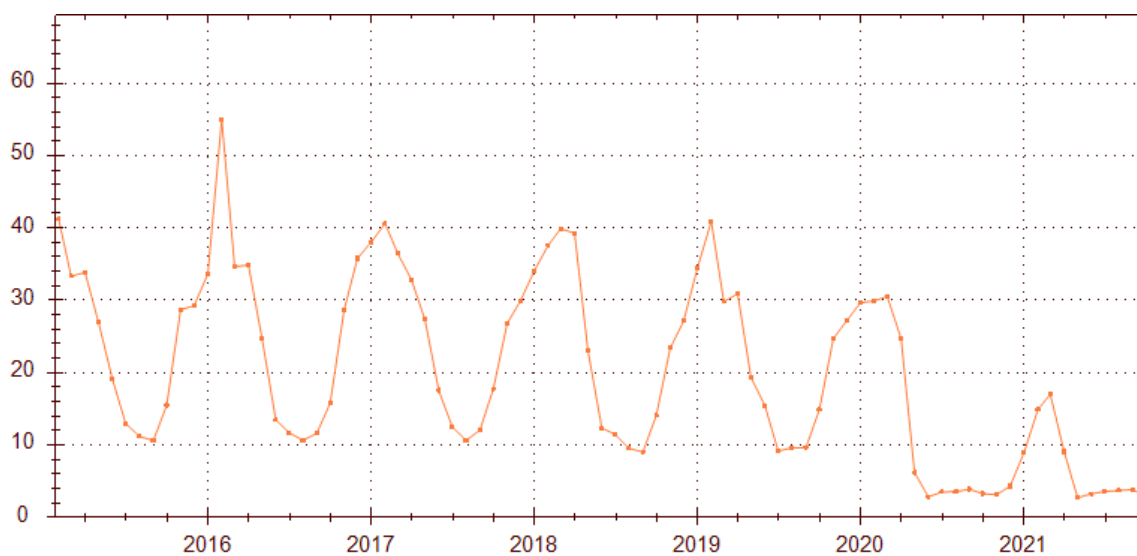
Kuva 22 Kohteen 2 kaukolämmön päiväkohtaiset virtaukset tammikuusta 2019 syyskuuhun 2021 (m^3).

Kohteen 2 kaukolämpöenergian kulutuksessa on tapahtunut laskua rinnakkaisen lämmönlähteen käyttöönoton jälkeen (kuva 23). Tammikuussa vuonna 2019 kaukolämpöenergian kulutus oli $39,6 \text{ MWh}$ ja vuonna 2021 tammikuussa $14,4 \text{ MWh}$.



Kuva 23 Kohteen 2 päivittäin kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2019 syyskuuhun 2021 (MWh).

Kuvasta 24 nähdään kohteen 2 kuukausittain kuluttama kaukolämpöenergia vuosina 2015–2021. Kulutus vaihtelee vuosittain lämpötilojen mukaan. Vuoden 2020 jälkeen kaukolämpöenergian kulutus on selvästi pienempi kuin aikaisempina vuosina.



Kuva 24 Kohteen 2 kuukausittain kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2015 syyskuuhun 2021 (MWh).

7 Hybridikohde 3

Kohde 3 on kerrostalo, jossa kaukolämpöjärjestelmään on lisätty ja kytketty poistoilmalämpöpumppu. Kohteen datasta pääteltynä hybridilämmitysjärjestelmä on otettu käyttöön alkukesästä 2019 (kuva 25).

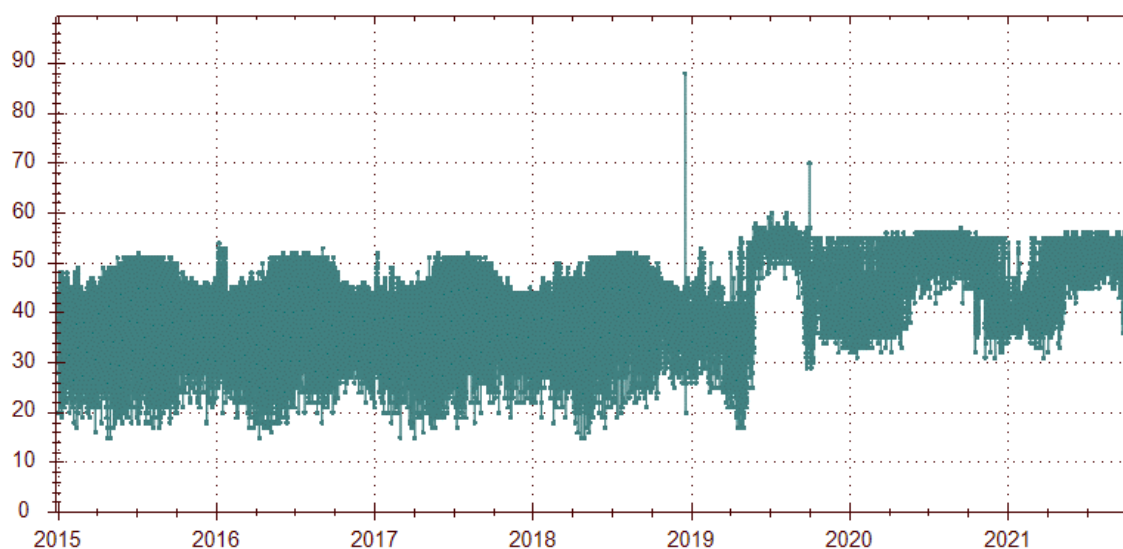
7.1 KytKentä

Kohteessa 3 rinnakkainen lämmönlähde on kytketty sarjaan kytkennällä sekä käyttöveteen että lämmitysverkostoon. Lämpöpumpulla lämmitetään ensisijaisesti kahta lämmitysverkostoa ja toissijaisesti käyttövettä. Lämpöpumpulla lämmitetään lämmitysverkostolta palaavaa vettä, joka aiheuttaa kaukolämmön paluuveden lämpötilan nousun. Käyttövesi esilämmitetään lämpöpumpulla ja nostetaan asetusarvoon kaukolämmön avulla tarvittaessa. Kohteen 3 kytKentä on esitetty liitteessä 5.

Sarjaan kytKentä ei ole Energiateollisuus ry:n suoritusten eikä Lahti Energian hybridikytkentä ohjeen mukainen kytkentätapa. Sarjaan kytkentöjen riskinä on, että kytKentä aiheuttaa kaukolämpöveden jäähtymän heikkenemistä.

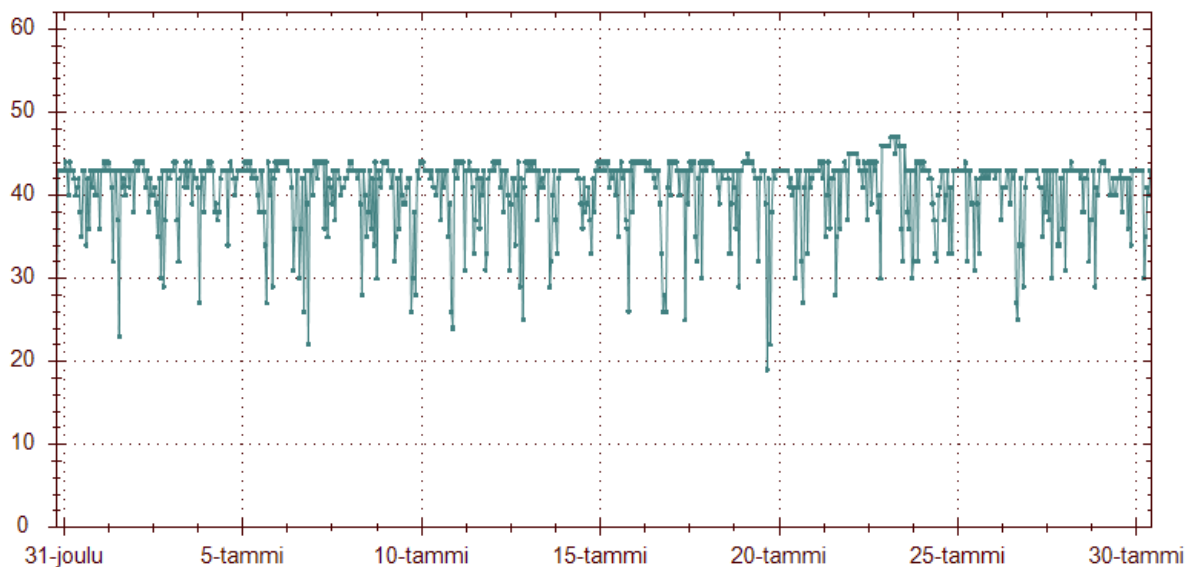
7.2 Kaukolämmön paluuveden lämpötila

Tarkastelemalla kohteen 3 Lahti Energian (2021a) kulutusseurantajärjestelmästä saatavaa dataa kaukolämmön paluuveden lämpötilasta nähdään, että alkukesästä 2019 rinnakkaisen lämmönlähteen liittäminen kaukolämpöön on aiheuttanut paluulämpötiloissa nousua.

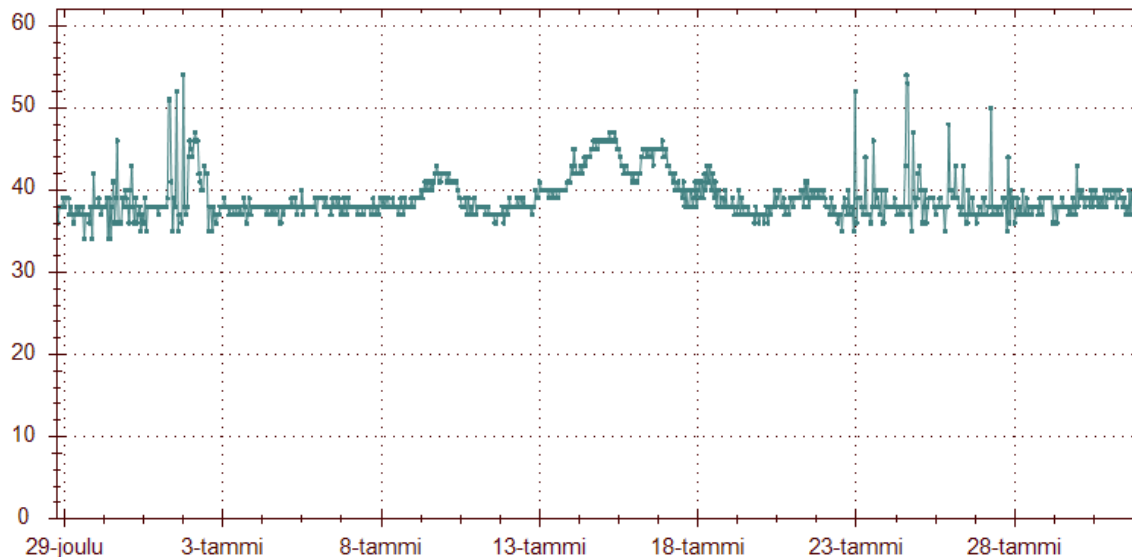


Kuva 25 Kohteen 3 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuusta 2015 lokaakuuhun 2021 (°C). Kuvasta nähdään hybridijärjestelmän aiheuttama muutos lämpötilassa vuonna 2019.

Lämmityskaudella tammikuussa 2018 kaukolämmön paluuveden lämpötila oli 40,7 astetta ja tammikuussa 2021 39,3 astetta. Vertaamalla kuvia 26 ja 27 nähdään, että rinnakkaisen lämmönlähteen kytkemisen jälkeen paluuveden lämpötilan vaihtelu on pienempää, vaikka se paikoin käykin yli 50 asteessa.

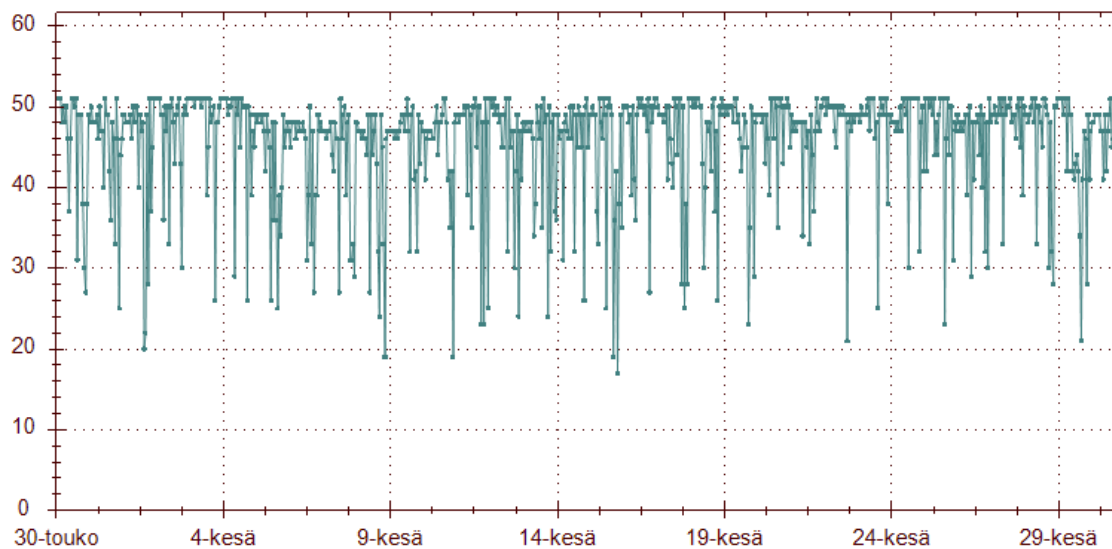


Kuva 26 Kohteen 3 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2018 (°C).

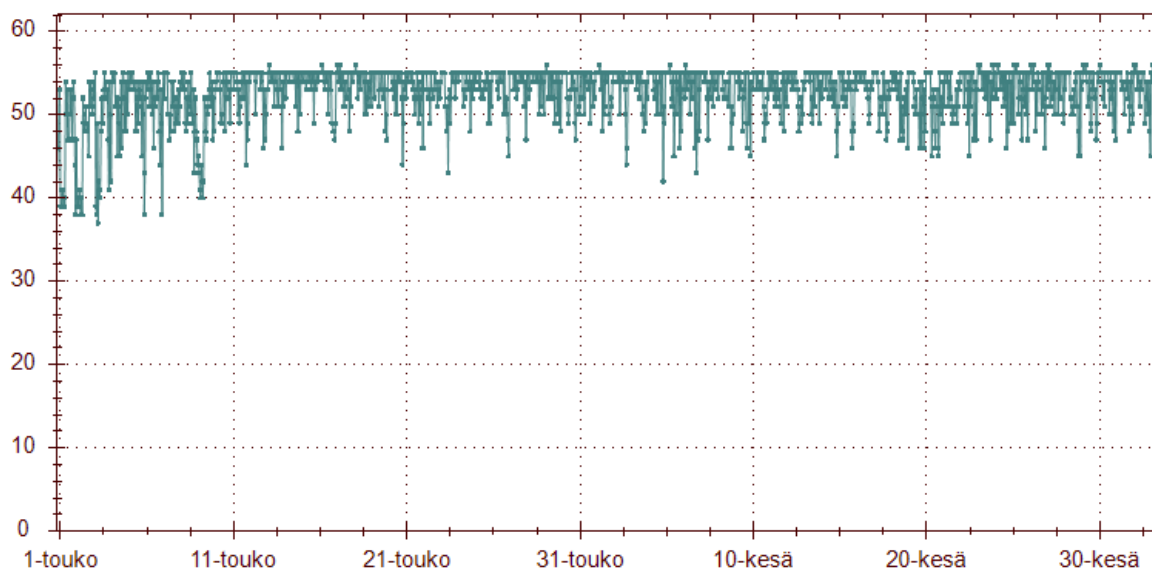


Kuva 27 Kohteen 3 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2021 (°C).

Lämmityskauden ulkopuolella rinnakkaisen lämmönlähteen kytkentä on aiheuttanut kaukolämmön paluuveden lämpötiloissa nousua. Kaukolämmön paluuveden keskilämpötila kesäkuussa 2018 oli 45,8 astetta ja kesäkuussa 2021 52,9 astetta. Verrattaessa kuvia 28 ja 29 nähdään, kohteen 3 paluuveden lämpötila tunneittain on korkeampi vuoden 2021 kesäkuussa kuin vuoden 2018 kesäkuussa, mutta vaihteluväli on pienempi vuonna 2021.



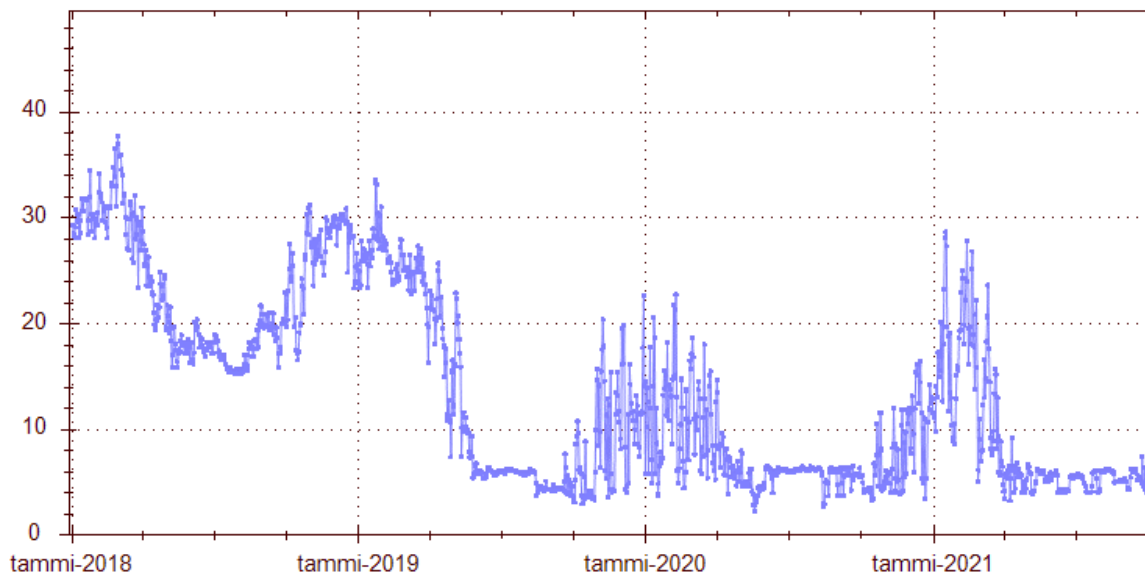
Kuva 28 Kohteen 3 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain kesäkuussa 2018 (°C).



Kuva 29 Kohteen 3 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain kesäkuussa 2021 (°C).

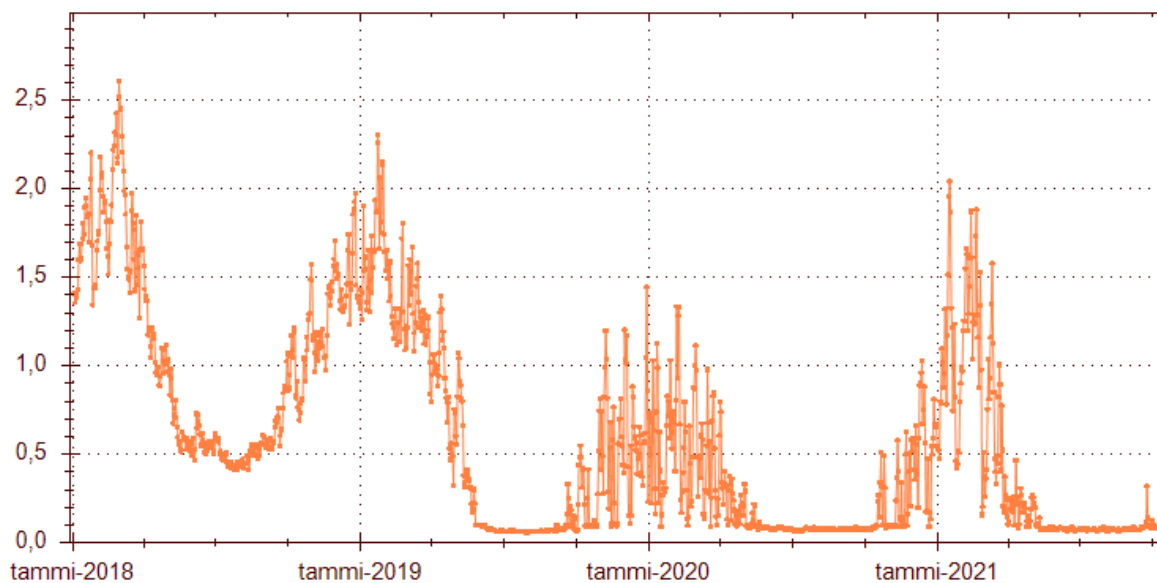
7.3 Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia

Kohteen 3 kaukolämpöveden virtauksen pienentyminen on havaittavissa kuvasta 30. kaukolämpöveden kokonaisvirtaus oli vuonna 2018 tammikuussa 906,7 m³ ja vuonna 2021 tammikuussa 478,8 m³.



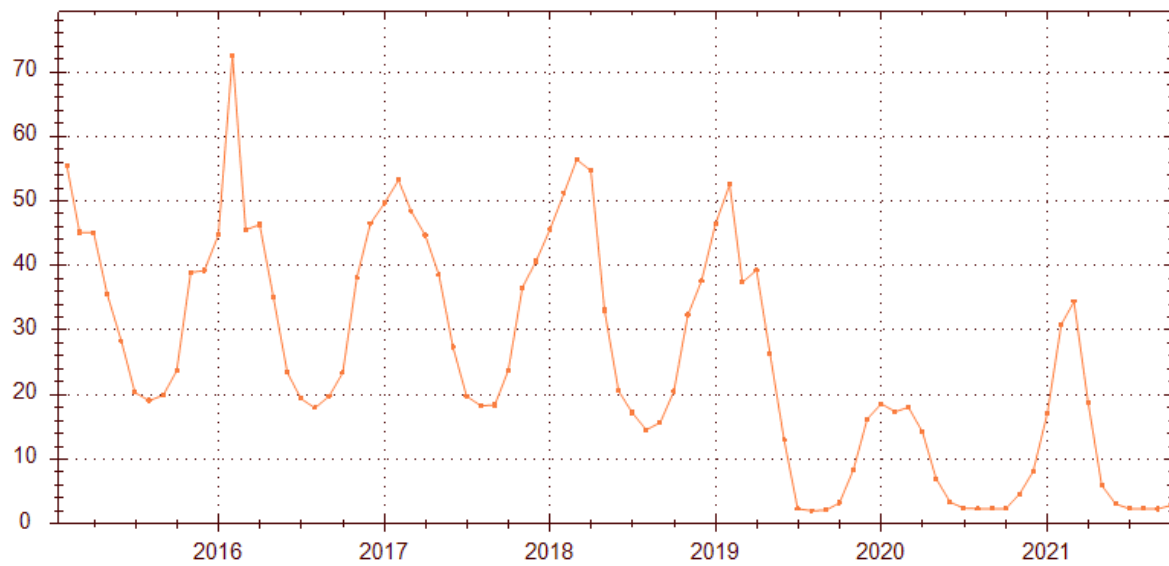
Kuva 30 Kohteen 3 kaukolämmön päiväkohtaiset virtaukset tammikuusta 2018 syyskuuhun 2021 (m³).

Kohteen 3 päivittäin kuluttama kaukolämpöenergia vuosina 2018–2021 on esitetty kuvassa 31. Kohteen 3 kaukolämpöenergian kulutus on tippunut selvästi rinnakkaisen lämmönlähteen käyttöönoton jälkeen. Kaukolämpöenergian kokonaiskulutus tammikuussa 2018 oli 49,6 MWh ja tammikuussa 2021 29,9 MWh.



Kuva 31 Kohteen 3 päivittäin kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2018 syyskuuhun 2021 (MWh).

Kuvasta 32 nähdään kaukolämpöenergian kulutuksen vuosittaista vaihtelua ja selkeä kulutuksessa tapahtunut lasku vuonna 2019 ja sen jälkeen.



Kuva 32 Kohteen 3 kuukausittain kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2015 syyskuuhun 2021 (MWh).

8 Hybridikohde 4

Kohde 4 on kerrostalo, jossa kohdetta aiemmin yksin lämmittäneeseen kaukolämpöjärjestelmään on kytketty poistoilmalämpöpumppu. Kohteen datasta pääteltynä hybridilämmitysjärjestelmä otettu käyttöön keväällä 2018 (kuva 33).

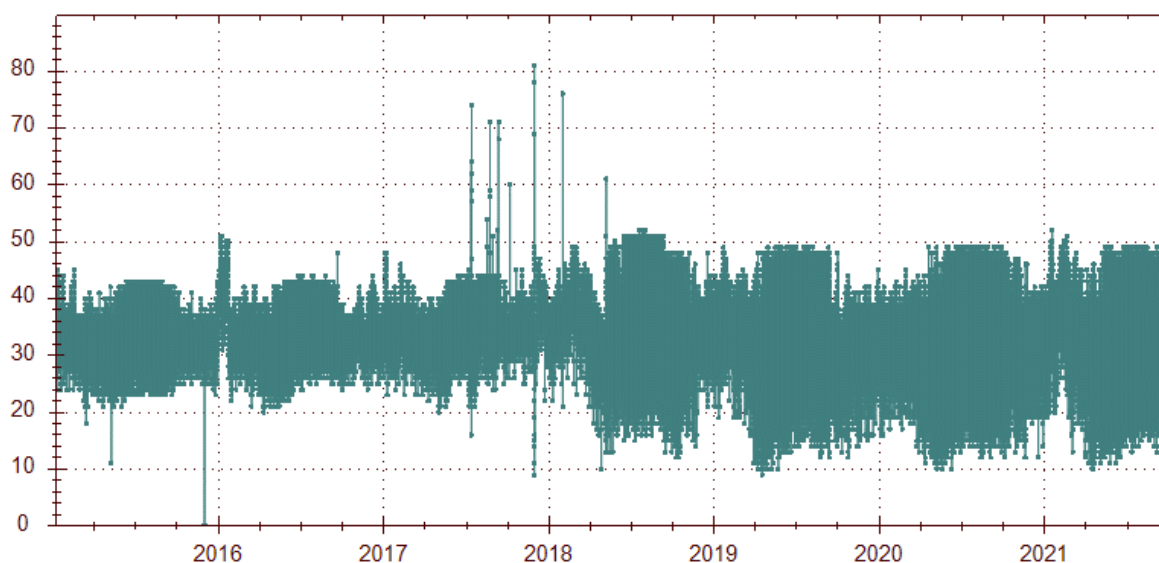
8.1 KytKentä

Käyttövetä ja lämmitysverkostoa lämmitään ensisijaisesti lämpöpumpulla. Kaukolämmöllä nostetaan lämpötila asetusarvoon, jos lämmöntarvetta ei pystytä kattamaan kokonaisuudessaan lämpöpumpulla. Käyttövetä lämmitetään ensin kaukolämmön paluuedellä, ja sen jälkeen sitä lämmitetään lämpöpumpulla. Lopuksi käyttövesi tuodaan vielä kaukolämpösiirtimelle, jossa sitä lämmitetään tarvittaessa kaukolämmön menovedellä. Lämpöpumpulta tuleva vesi lämmitää lämmitysverkoston menovettä, ja venttiili kaukolämpösiirtimeltä tulevalle vedelle avataan tarvittaessa. Kohteen 4 kytKentä on esitetty liitteessä 6.

Rinnakkainen lämmönlähde on kytketty kaukolämpöön rinnan kytkennällä. Kohteen 4 kytKentä on Energiategollisuus ry:n (2020b) suositusten ja Lahti Energian ohjeiden mukainen.

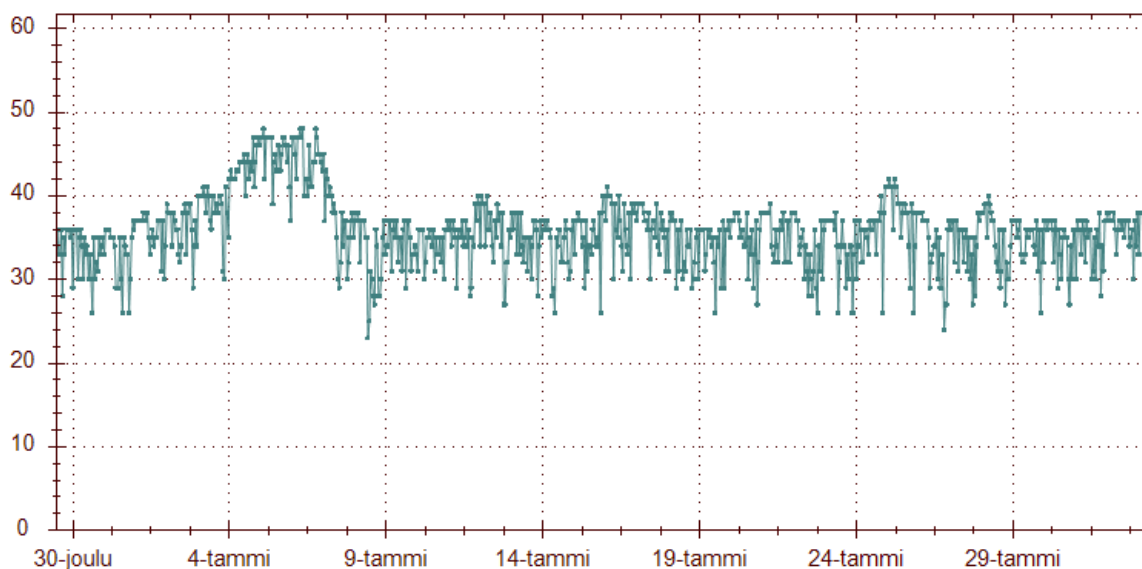
8.2 Kaukolämmön paluueden lämpötila

Lahti Energian (2021a) kulutusseurantajärjestelmästä saatua dataa tarkastelemalla havaitaan, että kohteen 4 kaukolämmön paluueden lämpötilojen vaihteluväli on suurentunut rinnakkaisen lämmönlähteen liittämisen jälkeen (kuva 33).

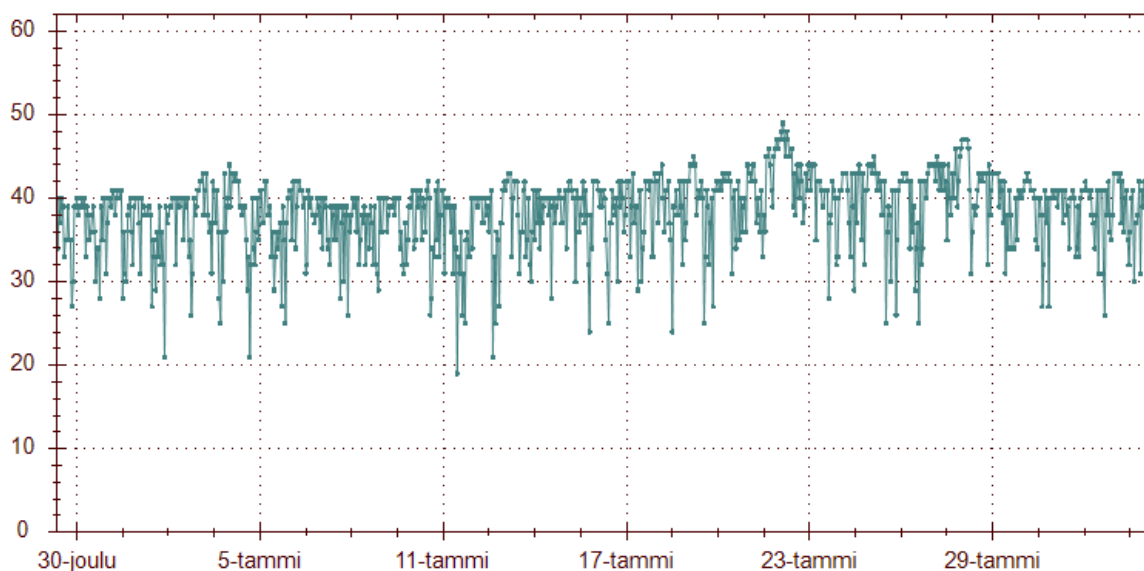


Kuva 33 Kohteen 4 kaukolämmön paluueden lämpötila tunneittain tammikuusta 2015 lokakuuhun 2021 (°C). Kuvasta nähdään hybridijärjestelmän aiheuttama muutos lämpötilassa vuoden 2018 alussa.

Lämmityskaudella tammikuussa 2017 kohteen 4 kaukolämmön paluuveden keskilämpötila oli 36,0 astetta ja tammikuussa 2019 38,5 astetta. Vertaamalla kuvia 34 ja 35 nähdään, että kaukolämmön paluuveden lämpötila käy päivittäin korkeammalla vuonna 2019 kuin vuonna 2017.



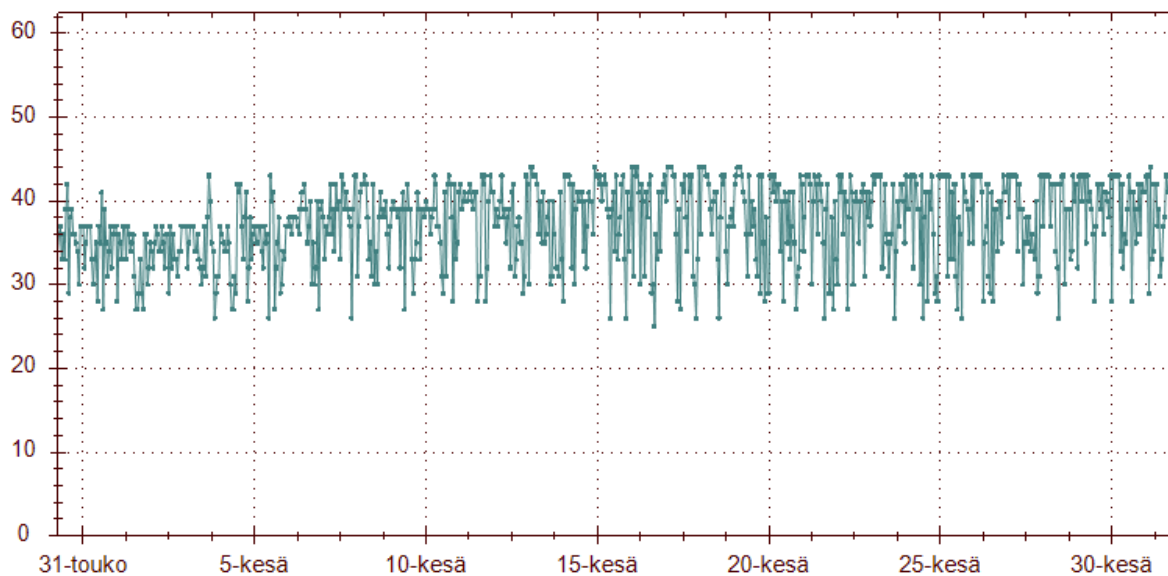
Kuva 34 Kohteen 4 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2017 (°C).



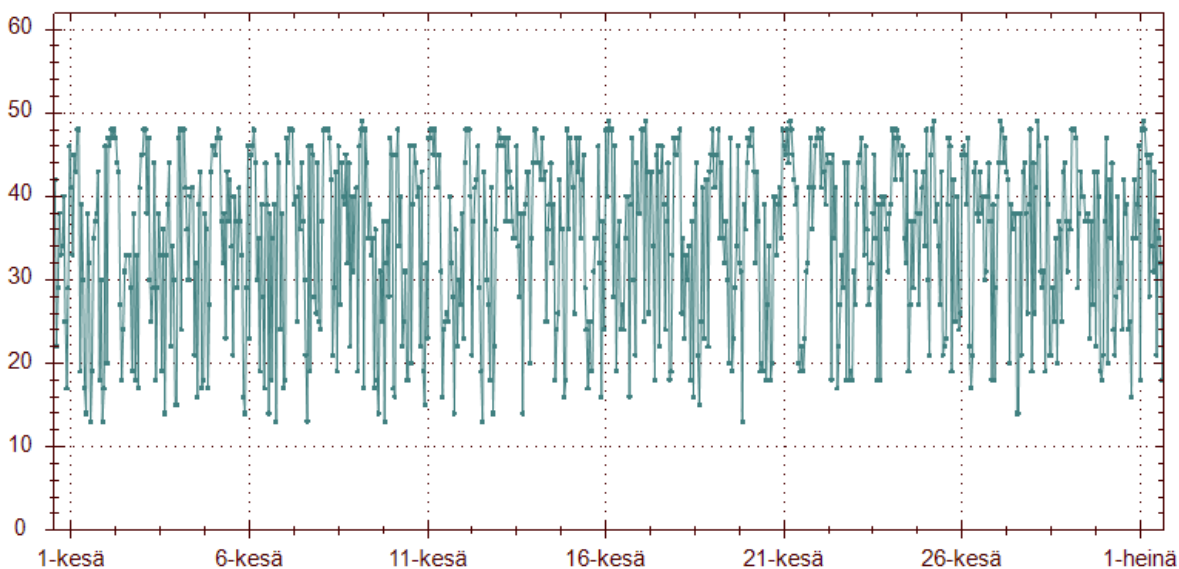
Kuva 35 Kohteen 4 kaukolämmön paluuveden lämpötila tunneittain tammikuussa 2019 (°C).

Lämmityskauden ulkopuolella rinnakkaisen lämmönlähteen liittäminen on aiheuttanut kaukolämmön paluuveden lämpötilassa enemmän huojuntaa. Keskilämpötila kesäkuussa 2017 oli 37,3 astetta ja kesäkuussa 2019 34,9 astetta. Keskilämpötila ei kerro koko totuutta johtuen kaukolämmön paluuveden suurentuneesta vaihteluvälistä. Vertailemalla kuvia 36 ja 37

nähdään, että paluuveden lämpötilä käy päivittäin korkeammalla kesäkuussa vuonna 2019 kuin kesäkuussa 2017.



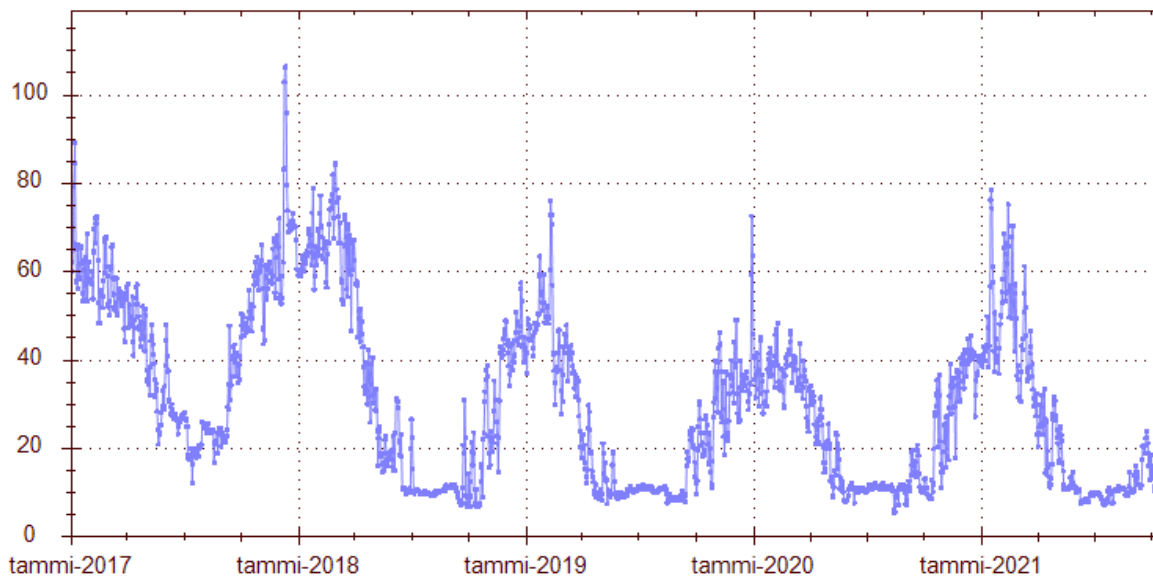
Kuva 36 Kohteen 4 kaukolämmön paluuveden lämpötilä tunneittain kesäkuussa 2017 (°C).



Kuva 37 Kohteen 4 kaukolämmön paluuveden lämpötilä tunneittain kesäkuussa 2019 (°C).

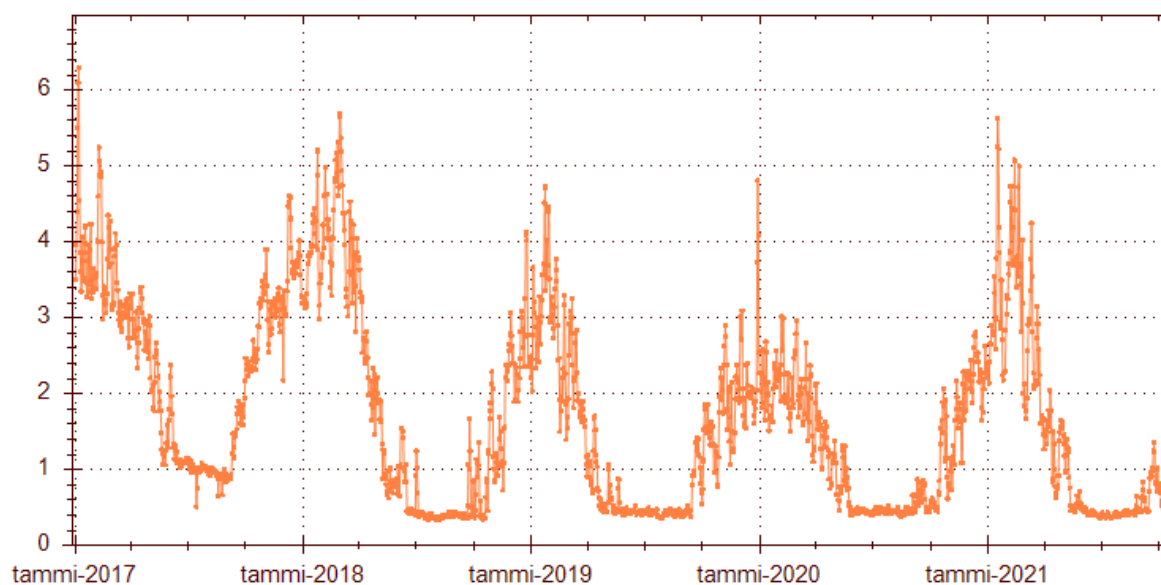
8.3 Kaukolämpöveden virtaus ja kaukolämpöenergia

Rinnakkaisen lämmönlähteen liittäminen on kuvasta 38 pääteltynä aiheuttanut kaukolämpöveden virtauksen pienenemistä kohteessa 4. Kaukolämpöveden kokonaisvirtaus tammikuussa 2017 oli 1880,5 m³ ja tammikuussa 2019 oli 1479,9 m³.



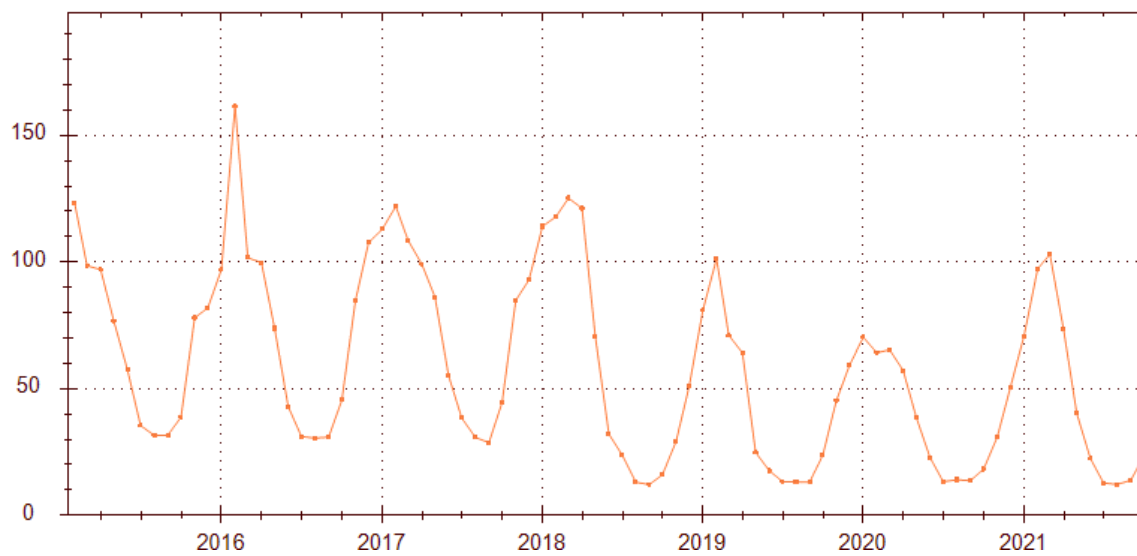
Kuva 38 Kohteen 4 kaukolämmön päiväkohtaiset virtaukset tammikuusta 2017 syyskuuhun 2021 (m³).

Kohteen 4 kaukolämpöenergian kulutuksen muutos on havaittavissa kuvasta 39. Kaukolämpöenergian kokonaiskulutus oli tammikuussa 2017 118,5 MWh ja tammikuussa 2019 98,4 MWh.



Kuva 39 Kohteen 4 päivittäin kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2017 syyskuuhun 2021 (MWh).

Kuvassa 40 on esitetty kohteen 4 kaukolämpöenergian kulutus kuukausittain vuosina 2015–2021. Kulutuksessa on havaittavissa laskua rinnakkaisen lämmönlähteen liittämisen jälkeen.



Kuva 40 Kohteen 4 kuukausittain kuluttama kaukolämpöenergia tammikuusta 2015 syyskuuhun 2021 (MWh).

9 Johtopäätökset

Tarkastellut hybridikohteet ovat kaikki kytkennältään erilaisia. Kohteiden 1 ja 3 kytkennät eivät ole suositusten ja ohjeiden mukaisia, ja näissä kohteissa vaikutus kaukolämmön paluueden lämpötilaan oli suurin. Kohteiden 1 ja 3 kaltaisia hybridikytkentöjä toteutetaan, koska ne vähentävät merkittävästi kaukolämmön kulutusta, jolloin asiakas säästää enemmän rahaa. Kohteiden 2 ja 4 kytkennät ovat Lahti Energian hyväksymiä kytkentätapoja, ja niissä kaukolämpöveden jäähtymä ei heikentynyt yhtä merkittävästi. Kohteissa 2 ja 4 paluueden lämpötilan huojunta kasvoi merkittävästi, ollen välillä haitallisen korkea ja välillä hyvin matala. Sen vuoksi rinnakkaisen lämmönlähteen vaikutus ei näy selkeästi keskilämpötiloissa. Kaukolämmön kulutus väheni hybridijärjestelmän myötä keskimäärin 40 %, eniten kohteessa 2 ja vähiten kohteessa 4. Tarkastelun perusteella kohteen 2 kytkentätapa vaikuttaa kaukolämmön jäähtymään vähiten, ja on sen vuoksi energiyhtiön näkökulmasta suositeltavin.

Kohteiden kaukolämmön kulutukseen on voinut vaikuttaa myös erot poistoilmalämpöpumpuissa. Lisäksi hybridijärjestelmän toimintaan vaikuttaa myös järjestelmän laitteet, mitoitus ja automaatio. Lämpöpumpun ja kaukolämmön automatiikat ovat tärkeä saada toimimaan yhtenäisesti. Oikein mitoitettu ja kytketty järjestelmä voi saada toimimaan huonosti, jos automatiikka ei ole ohjelmoitu asianmukaisesti.

Taulukossa 1 on esitetty hybridikohteissa tapahtuneet muutokset. Vertailemalla kaukolämmön paluueden lämpötilojen muutoksia, hybridikohteessa 1 lämpötilan nousu rinnakkaisen lämmönlähteen liittämisen jälkeen on ollut suurinta. Kohteissa 1 ja 3 paluueden lämpötila oli noussut merkittävästi lämmityskauden ulkopuolella. Kohteissa 2 ja 4 rinnakkaisen lämmönlähteen vaikutus paluueden keskilämpötilaan on vähäisintä.

Lämmityskauden ulkopuolella lämpöenergiaa tarvitaan enimmäkseen lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Tarvittava lämpöenergia voidaan tuottaa suurimmaksi osaksi lämpöpumpulla, ja kaukolämmön avulla käyttöveden lämpötilaa nostetaan vain hieman tarvittaessa. Tästä johtuen kaukolämmön käyttö on lämmityskauden ulkopuolella vähäistä, eikä kaukolämpövesi jäähdy kohteissa riittävästi.

Taulukko 1. Hybridikohteiden kaukolämmön paluueden lämpötilan, kaukolämpöveden virtauksen ja kaukolämpöenergian muutokset rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän liittämisen jälkeen.

	Paluueden keski- lämpötilan muutos lämmityskaudella (%)	Paluueden keski- lämpötilan muutos lämmityskauden ul- kopuolella (%)	Muutos kauko- lämpöveden virtauksessa (%)	Muutos kohteen kuluttamassa kaukolämpö- energiassa (%)
Hybridi- kohde 1	2,5	31,8	-38,4	-42
Hybridi- kohde 2	-0,8	3,8	-64,3	-63,6
Hybridi- kohde 3	-3,5	15,5	-47,2	-39,7
Hybridi- kohde 4	6,9	-6,8	-21,3	-17

Kohteiden 1 ja 3 kaltaiset kytkentätavat ovat haitallisia kaukolämpöjärjestelmän toiminnalle. Yksittäiset jäähtymältään huonot kohteet eivät ole suuressa verkossa merkittäviä. Suuri määrä huonosti jäädyttäviä kohteita nostaa voimalaitokselle palaavan kaukolämpöveden lämpötilaa ja haitata kaukolämpöjärjestelmän toimintaa, esimerkiksi heikentää savukaasupesureiden toimintaa. Tulevaisuudessa hybridijärjestelmien määrän kasvaessa on tärkeää varmistaa, että kaukolämmön paluueden lämpötila pysyy riittävän alhaisena.

Sopimusehtojen mukaan asiakkaan on ilmoitettava lämmöntoimittajalle, mikäli kaukolämpöjärjestelmään tehdään muutoksia. Myös uudiskohteiden suunnitelmat ja kytkennät on tarkastettava energiayhtiön toimesta. Rinnakkaisen lämmönlähteen kytkeminen kaukolämpöön on ilmoitettava lämmöntoimittajalle. Lisäämällä sopimusehtoihin hybridijärjestelmiä koskevan kohdan, voitaisiin tulevaisuudessa ennalta ehkäistä sopimusrikkomuksia.

Asiakkaan lämmitysjärjestelmien muutoksien suunnitelmat ja toteutuksen tekee useimmiten asiakkaan palkkaama urakoitsija. Asiakas ei ole aina täysin tietoinen kaikista häntä koskevista velvollisuuksista, ja luottaa palkkaamaansa ammattilaiseen. Useimmiten asiakkaan palkkaama suunnittelija lähettää kohteen suunnitelmat tarkistettavaksi, mutta näin ei menetellä joka kohteessa. Jos suunnitelma lähetetään lämmöntoimittajalle hyvissä ajoin, kytketään ja laitteisiin ehtii vielä tehdä lämmöntoimittajan suosittelemia muutoksia. Koska kaikista kohteista ei koskaan lähetetä suunnitelmia tai tilata tarkastusta, on mahdotonta tietää

kytkennältään haitallisten kohteiden lukumäärää. Useissa kaupungeissa lämmöntoimittajalla on rekisteri hyväksymistään yrityksistä, jotka saavat tehdä muutoksia kaukolämpölaitteisiin. Tällaisen rekisterin avulla lämmöntoimittaja pystyy paremmin valvomaan kohteissa tehtäviä muutoksia.

Lahti Energian hybridiohjeessa on määritelty hybridikohteita koskevat vaatimukset. Ohjeet on tehty suunnittelijoita varten. Kaukolämpöasiakkaita täytyisi tiedottaa paremmin heitä koskevista velvollisuuksista ja hyvistä toimintatavoista tehdessä muutoksia lämmitysjärjestelmään. Kasvattamalla asiakkaan ymmärrystä hybridijärjestelmiä koskevista vaatimuksista huonoja kytkentöjä voidaan ennalta ehkäistä.

10 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä Lahti Energian kaukolämpöverkossa oleviin erilaisiin hybridikohteiden kytkentöihin ja tutkia kytkentätavan vaikutusta kaukolämpöjärjestelmän toimintaan kaukolämpöyhtiön näkökulmasta. Työssä tarkasteltiin neljää kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun hybridikohdetta, joissa kaikissa oli erilainen kytkentätapa. Kohteista kerättiin dataa kaukolämmön paluuveden lämpötiloista, kaukolämpöveden virtauksesta sekä kaukolämpöenergian kulutuksesta. Eroja ennen ja jälkeen rinnakkaisen lämmönlähteen kytkennän vertailtiin toisiinsa.

Kohteiden 1 ja 3 hybridikytkentöjä ei ollut toteutettu ohjeiden ja suositusten mukaisesti. Kohteissa 2 ja 4 kytkennät olivat ohjeiden ja suositusten mukaisia. Kaukolämpöjärjestelmän toiminnan kannalta haitallisimmat hybridikytkentätavat olivat kohteissa 1 ja 3. Kohteessa 1 lämpöpumpulla esilämmitettiin lämpimän käyttöveden kiertoa ja kohde 3 oli kytketty sarjaan kytkennällä. Kohteiden 1 ja 3 kytkennät aiheuttivat kaukolämmön paluuveden lämpötilassa merkittävää nousua, etenkin lämmityskauden ulkopuolella. Kohteiden 2 ja 4 kytkennät oli molemmat toteutettu rinnankytkennällä, ja kohteessa 2 oli lisäksi lämpimän käyttöveden kiertojohdossa tulistussiirrin. Kohteissa 2 ja 4 kaukolämpöveden paluulämpötila ei noussut yhtä merkittävästi, mutta lämpötilan huojunta kasvoi selvästi. Lisäksi kaukolämmön kulutus laski hybridikohteissa keskimäärin 40 %. Kohteen dataan todennäköisesti vaikutti myös muut kohteen ominaisuudet, kuten esimerkiksi laitteet, automaatio, lämpöpumppujen teho sekä kohteiden lämmöntarve. Kohteissa 1 ja 3 kaukolämpöveden jäähtymässä tapahtunut muutos oli merkittävästi isompi kuin kohteissa 2 ja 4, joka johtui suurimmalta osin rinnakkaisen lämmönlähteen kytkentätavasta.

Tässä työssä tarkastellun aineiston perusteella kohteen 2 hybridikytkentä on energiayhtiön näkökulmasta suositeltavin hybridikytkentätapa. Kohteen 2 kytkentätapa on myös asiakkaalle kustannustehokkain, sillä kaukolämmön kulutus oli vähentynyt eniten kohteessa 2. Kaukolämpöjärjestelmän toimintaa heikentäviä kytkentöjä voidaan tulevaisuudessa ennalta ehkäistä esimerkiksi päivittämällä kaukolämmön sopimusehtoja, kohdentamalla hybridikytkentöjä käsittelevää ohjeistusta kaukolämpöasiakkaille ja perustamalla rekisterin urakoitsijoista, jotka saavat tehdä muutoksia kaukolämpölaitteisiin.

Lähteet

- Energiateollisuus ry. 2017. Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpöaloon: ohjeet suunnittelijalle. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 27.9.2021]. Saatavissa: https://energia.fi/files/1977/Poistoilmalampopumppu_kaukolampotaloon_ohjeet_suunnittelijalle.pdf
- Energiateollisuus ry. 2020a. Kaukolämpötilasto 2019. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.10.2021]. Saatavissa: https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf
- Energiateollisuus ry. 2020b. Rakennusten kaukolämmitys: Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2020. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: https://energia.fi/files/5423/JulkaistuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv.20201119%29.pdf
- livonen, J. 2021a. Aluekohtaisen energijärjestelmän kehitys. [Verkkodokumentti] Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, energiatekniikka. Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162588/diplomity%C3%B6_livonen_johanna.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- livonen, J. 2021b. Kaukolämpöinsinööri, DI. Lahti Energia Oy. Haastattelu 1.10.2021.
- Kari, A. 2018. Lämpöpumppuhybridiratkaisuiden tarkastelu kaukolämpöverkossa. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT, energiatekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158777/Diplomity%C3%B6_Kari_Aino.pdf?sequence=1
- Ketonen, J. 2012. Maalämpö lämpöenergian tuottajana. [Verkkodokumentti]. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39791/JoonasKetonenKORJATTU.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. ISBN 952-5615-08-1. Helsinki: Energiateollisuus ry.
- Koutsi – HSY:N verkkokurssit. Lämmitysjärjestelmävaihtoehdot. [Viitattu 10.10.2021]. Saatavissa: <https://koutsi.hsy.fi/courses/energiaekspertti/lessons/lammitys-2/topic/lammitysmuodot-3/>

Lahti Energia. 2013. Kauko- ja aluelämmön liittymis- ja myyntiehdot. Saatavissa:

<https://www.lahtienergia.fi/wp-content/uploads/2021/06/Kauko-ja-aluelammon-liittymis-ja-myyntiehtot.pdf>

Lahti Energia. Hybridikytkentäohje. [Viitattu 30.9.2021]. Saatavissa:

<https://www.lahtienergia.fi/hybridikytkentaohje/>

Lahti Energia. 2021a. Lahti Energia Oy:n kulutusseurantajärjestelmä.

Lahti Energia. 2021b. Lahti Energia Oy:n sisäiset materiaalit.

Lahti Energia. 2021c. Lahti Energian vastuullisuusraportti vuodesta 2020. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.10.2021]. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/vastuullisuusraportti/#sivu-1>

Motiva. 2017a. Kaukolämmön tuotanto uudistuu. [Viitattu 7.10.2021]. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_tuotanto_uudistuu

Motiva. 2017b. Lämpöä kotiin verkosta. [Viitattu 7.10.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa_kotiin_verkosta

Motiva. 2019a. Kaukolämmön hinta. [Viitattu 7.10.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta

Motiva. 2019b. Kaukolämpö. [Viitattu 6.10.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo

Motiva. 2020a. Ilmalämpöpumppu tukilämmityslähteenä. [Viitattu 28.9.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilmalampopumppu_tukilammityslahteena

Motiva. 2020b. Lämpöpumput. [Viitattu 25.9.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput

Motiva. 2020c. Poistoilmalämpöpumppu. [Viitattu 30.9.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu

Motiva. 2021a. Ilma-vesilämpöpumppu. [Viitattu 28.9.2021]. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu

Motiva. 2021b. Maalämpöpumppu. [Viitattu 28.9.2021]. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu

Mäkelä, V-M. & Tuunanen, J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. [Verkkodokumentti].

Oppimateriaali ISBN: 978-951-588-507-4. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. [Viitattu

8.10.2021]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf>

Scanoffice. Miten ilmalämpöpumppu toimii? [Viitattu 19.10.2021]. Saatavissa:



































<https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/>

Suomen vesitekniikka. Ilma-vesilämpöpumppu. [Viitattu 19.10.2021]. Saatavissa:

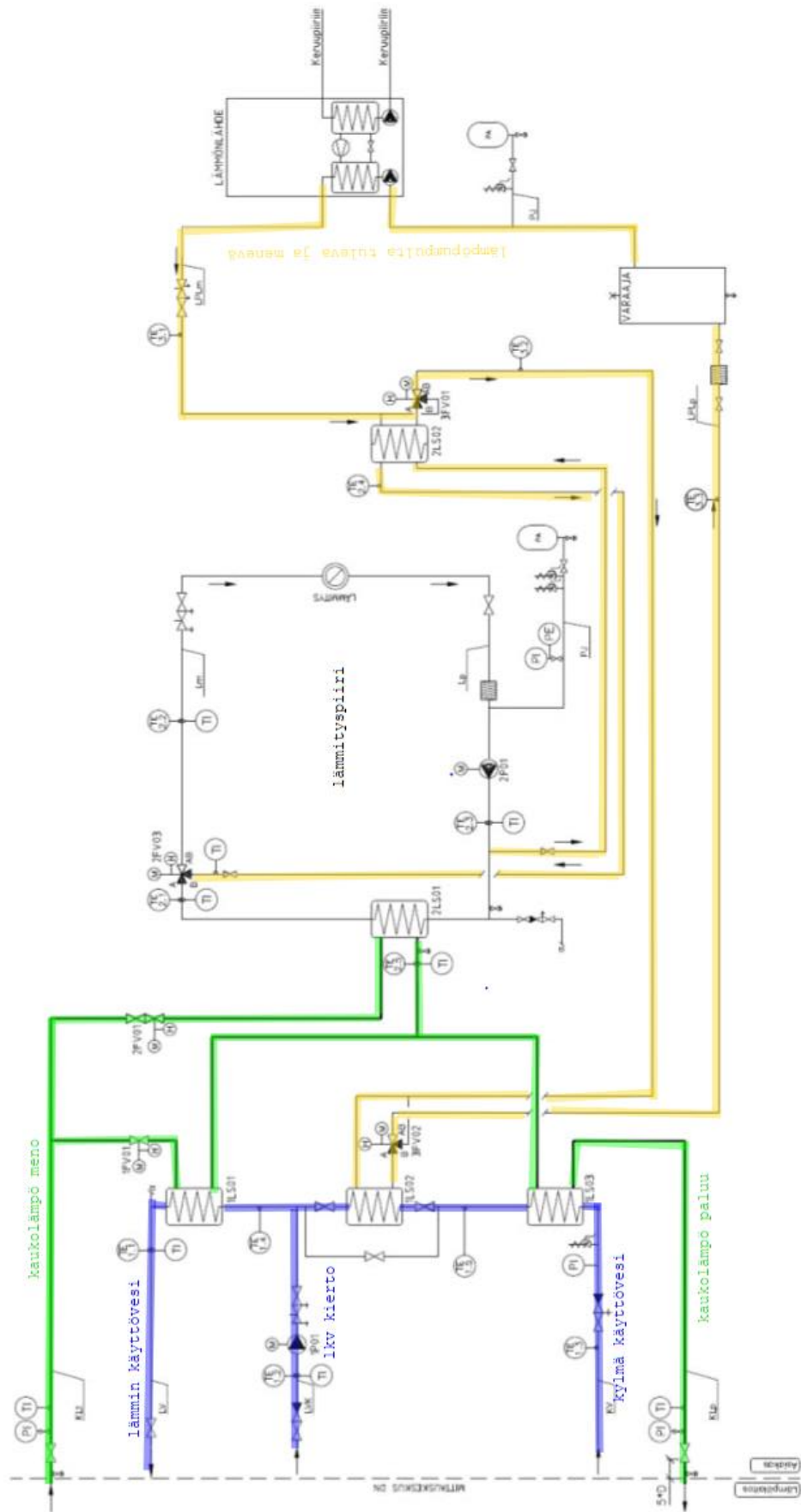
<https://suomenlampopumppu.fi/ilma-vesilampopumppu>

LIITEET

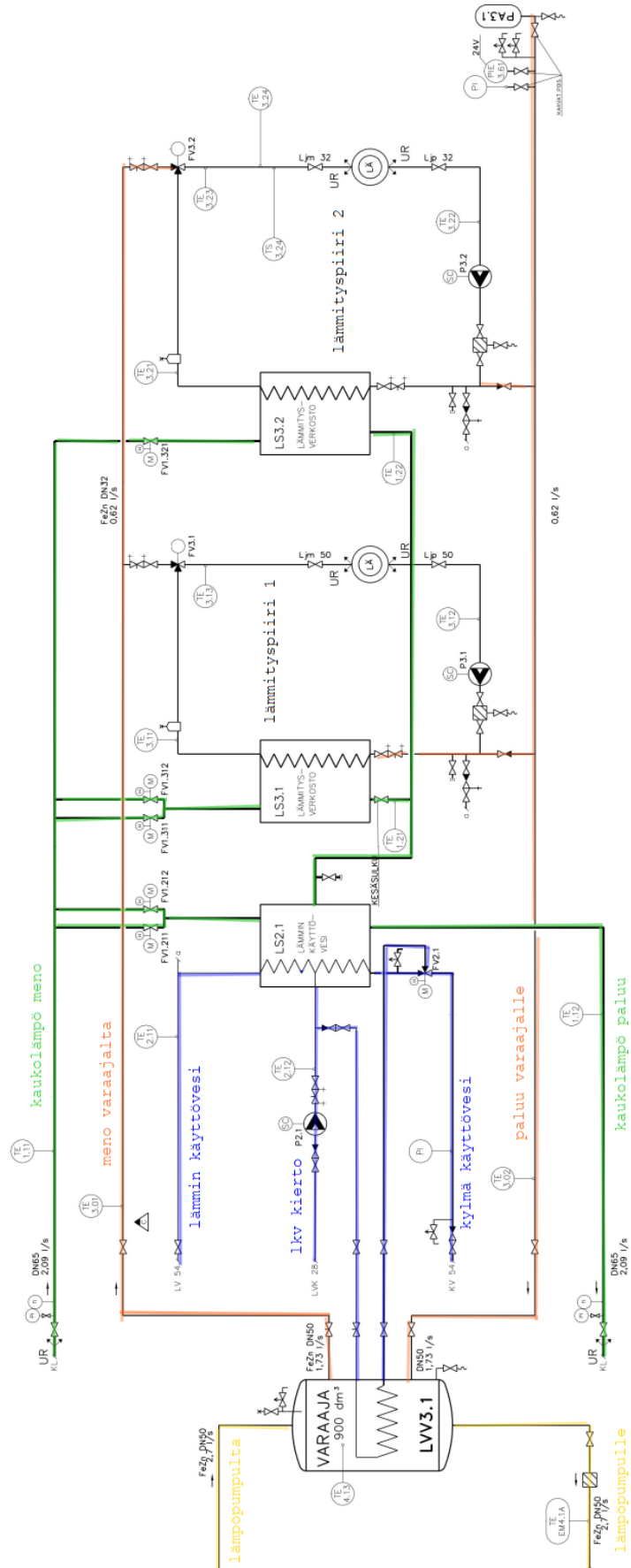
Liite 1. Kytkenäkaavioissa käytettyjen merkkien selitykset. (Energiateollisuus ry, 2020b)

Symboli	Mer- kintä	Nimitys	Symboli	Mer- kintä	Nimitys	
	LS	Lämmönsiirrin		L	Lämmönluvutin (lämmitysverkosto)	
	TV	Säätöventtiili (2-tie), automaatti- ja käsiohjaus		LP	Lämmityspatteri	
	TV	Säätöventtiili (3-tie), automaatti- ja käsiohjaus		SP	Sulku-/säätöpelti	
	MV	Magneettiventtiili		PU	Puhallin (ja moottori)	
	P	Pumppu (ja moottori)		VV	Varoventtiili	
	PS	Paisuntasäiliö		TI	Lämpömittari	
		Sulkuventtiili		TIA	Lämpömittari hälytyksellä	
		Yksisuuntaventtiili		PI	Painemittari	
		Kertasäätöventtiili paineen- mittaus yhtein		PIA	Painemittari hälytyksillä	
		Ryhmäventtiili (sulku+koes- tusyhd+yksisuunta)		TE	Lämpötila-anturi	
		Ryhmäventtiili (sulku+koes- tusyhd+yksisuunta+sulku)		TE ±	Lämpötila-anturi (rajoitus)	
		Paineenalennusventtiili Vakiopaineventtiili		TC	Säätökeskus	
		Ylivirtausventtiili/ virtaus vasemmalta oikealle		KIS	Aikakytkin	
		Lianerotin		HS	Kytkin	
		Sähköinen viestijohto		EIA	Relekytkin (näyttö + hälytys)	
		Hydraulinen viestijohto		EY	Ohjausrele	
		Kaukolämpöjohto		FG	Peltimoottori	
		Lämpöjohto meno		TAZ	Jäätymissuojatermostaatti	
		Lämpöjohto paluu		SC	Kierrätysnopeuden säätö	
		Lämminvesijohto			TS	Putken laajennus/ tasaussäiliö
		Lämpimän käyttö- veden kiertöjohto				
		Kylmävesijohto				
		Paisuntajohto				
		Ilmakanava				

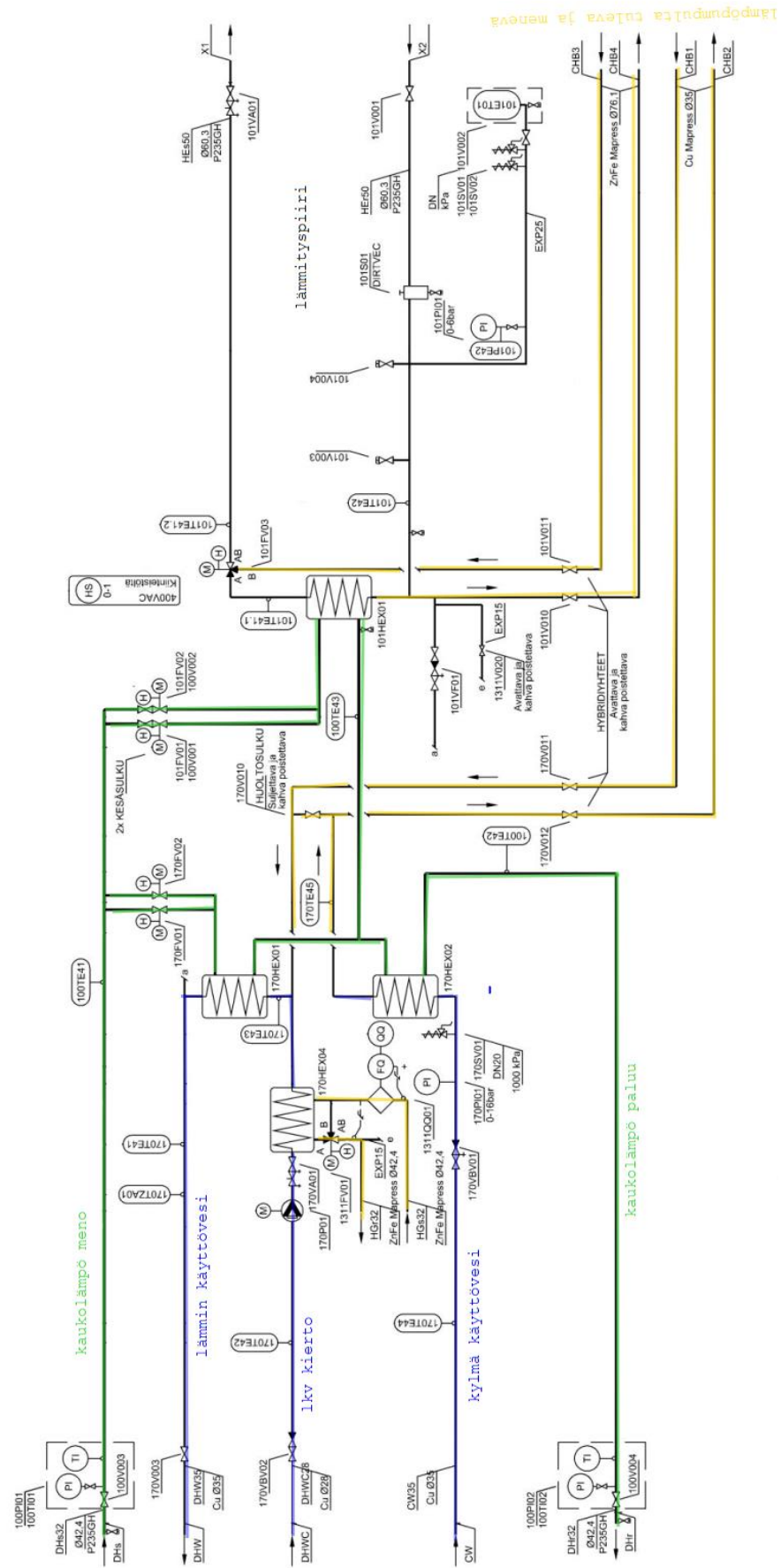
Liite 2. Rinnakkaislämmön esimerkkikytkentä. (Energiateollisuus ry, 2020b)



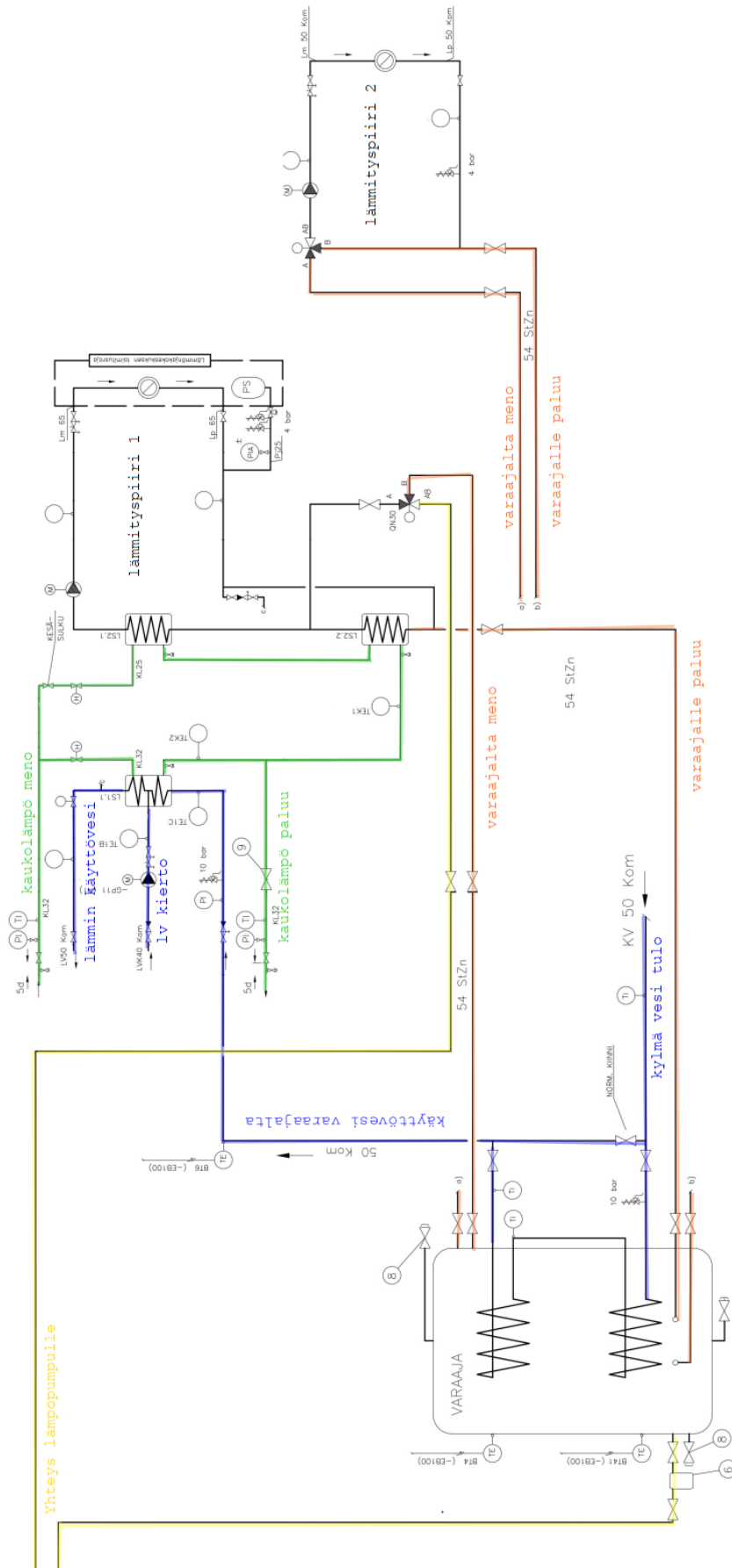
Liite 3. Kohteen 1 kytkentäkaavio. (Lahti Energia, 2021b)



Liite 4. Kohteen 2 kytentäkaavio. (Lahti Energia, 2021b)



Liite 5. Kohteen 3 kytKentäkaavio. (Lahti Energia, 2021b)



Liite 6. Kohteen 4 kytkentäkaavio. (Lahti Energia, 2021b)

