

# **HYBRIDIJÄRJESTELMIEN VAIKUTUS KAUKOLÄMPÖENERGIAN KULUTUKSEEN**

LAB-AMMATTIKORKEAKOULU  
Insinööri (AMK)  
Ympäristö- ja energiatekniikka  
Kevät 2020  
Annaleena Väkeväinen

## Tiivistelmä

Tekijä Väkeväinen, Annaleena	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Kevät 2020
	Sivumäärä 58	
Työn nimi <b>Hybridijärjestelmien vaikutus kaukolämpöenergian kulutukseen</b>		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin, miten kaukolämmössä olevat hybridikohteet kuluttavat kaukolämpöä. Toimeksiantaja oli kiinnostunut tietämään, miten valitut hybridikohteet käyttävät kaukolämpöenergiaa.</p> <p>Opinnäytetyössä käytettiin toimeksiantajan mittaamaa ja keräämää kaukolämmön kulutusdataa käyttöpaikkojen lämpöenergiamittareista. Kerättyä aineistoa analysointiin käyttäen tilasto-ohjelmaa. Taustatyöhön, datan tueksi ja teoriaan saatiin tietoa toimeksiantajan sisäisistä lähteistä, tehdyistä diplomitöistä sekä Energiategollisuus ry:n määräyksistä ja muista alan lähteistä.</p> <p>Datan analysoinnin perusteella tulokseksi saatiin, että hybridikohteet kuluttivat 46 % vähemmän kaukolämpöä toimeksiantajan kaukolämpöverkossa. Kulutuksen suuruuteen vaikuttivat esimerkiksi rakennuksen ikä, valittu hybridijärjestelmä ja se, onko kyseessä uudis- vai saneerauskohde.</p> <p>Työssä havaittiin, että hybridilämmityskohteissa kaukolämmön kulutus pienenee. Hybridijärjestelmät muuttavat kaukolämmön roolia ja tulevaisuudessa kaukolämpöä voidaan nähdä enemmän myös lisälämmönlähteenä muiden energianlähteiden rinnalla. Kaukolämmön parhaat edut lämmönlähteenä asiakkaalle ovat edullisuus, toimitusvarmuus ja saatavuuden helppous.</p>		
Asiasanat kaukolämpö, hybridijärjestelmä, kaukolämpöenergian kulutus		

## Abstract

Author(s) Väkeväinen, Annaleena	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2020
	Number of pages 58	
Title of publication <b>Effect of Hybrid Heating Systems on the Consumption of District Heating Energy</b>		
Name of Degree Bachelor of Engineering		
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to investigate how hybrid heating systems in district heating consume district heat. The client was interested in knowing how much district heating energy is used in the selected hybrid usage locations.</p> <p>The data used in this thesis was measured and collected by the client using thermal energy measurement devices. The data was analyzed by using the Minitab statistical software. More information for background work, data analysis and theory were obtained from the client's internal sources as well as diploma theses, the Finnish Energy organization's guidelines and other relevant sources.</p> <p>Based on the data analysis, the main result was that the hybrid usage locations consumed 46 % less district heat than an average district heat usage location. However, the magnitude of consumption was affected for example by the age of the building and the hybrid system.</p> <p>In the thesis it was found that the consumption of district heat energy is decreasing. Hybrid heating systems are changing the role of district heating. In the future district heating can be seen more as an additional source of energy alongside other energy sources. The best benefits of district heating for the customers are affordability, security of supply and ease of availability.</p>		
Keywords district heating, hybrid heating system, consumption of district heating energy		

# SISÄLLYS

## KÄSITTEET JA LYHENTEET

1	JOHDANTO .....	1
2	TYÖN RAJAUS JA TIETOPERUSTA .....	2
3	KAUKOLÄMPÖ.....	3
3.1	Kaukolämpö Suomessa lyhyesti .....	3
3.2	Kaukolämmön tuotanto ja jakelu .....	3
3.3	Hybridijärjestelmän kytkentä .....	6
4	HYBRIDIJÄRJESTELMÄT .....	11
4.1	Lämpöpumput.....	11
4.1.1	Poistoilmalämpöpumppu .....	12
4.1.2	Vesi-ilmalämpöpumppu .....	13
4.1.3	Maalämpöpumppu .....	14
4.2	Aurinkolämpö.....	15
4.3	Lauhdelämpö.....	16
5	HYBRIDIJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS .....	19
6	MENETELMÄT JA AINEISTO.....	23
7	DATAN ANALYSOINTI JA TULOKSET .....	25
7.1	Datan analyysi Fortumin kaukolämpöverkon alueella .....	25
7.2	Datan analyysi Espoon alueella .....	28
7.3	Datan analyysi Espoon asuinkerrostaloissa .....	30
7.4	Datan analyysi Espoon muissa rakennuksissa .....	33
7.5	Kolmen hybridikohteen tarkempi analyysi .....	35
7.5.1	Kohde 1: PILP-järjestelmä .....	37
7.5.2	Kohde 2: PILP-järjestelmä .....	41
7.5.3	Kohde 3: Maalämpö.....	44
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	49
9	YHTEENVETO .....	51
	LÄHTEET .....	52
	LIITTEET .....	58

## KÄSITTEET JA LYHENTEET

kW	Tehon yksikkö, lämpöteho
kWh, MWh	Energian yksikkö, lämmitysenergian määrä
m <sup>3</sup>	Lämmitettävä rakennustilavuus
kWh/m <sup>3</sup>	Lämmitysenergian ominaiskulutus rakennustilavuuden mukaan
Ensiöpuoli	Energiayhtiön putkisto ja laitteet, joissa kaukolämpövesi virtaa tai sen paine vaikuttaa
CHP-laitos	Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos (engl. Combined Heat and Power)
COP	Lämpöpumpun lämpökerroin (engl. Coefficient of Performance) Sähköenergian kulutuksen muutos lämmitysenergiaksi
Huipputeho	Suurin teho, joka voidaan saavuttaa tietyllä laitteella tai jota voidaan tarvita tietyssä kulutuskohteessa
Hybridilämmitys	Lämmitysmuoto, missä lämpö tuotetaan kahdella tai useammalla lämmönlähteellä rakennuksessa
Lämpöpumppu	Sähkökäyttöinen energiansiirtolaitteisto
MLP	Maalämpöpumppu. Siirtää lämpöä maasta tai vedestä lämminvesivaraajaan, hyödynnetään käyttövedessä tai lämmityksessä
PILP	Poistoilmalämpöpumppu. Rakennuksesta lähtevä poistoilma otetaan talteen, hyödynnetään käyttövedessä tai lämmityksessä
Toisiopuoli	Asiakkaan putkisto ja laitteet, joiden lämmönsiirtimissä lämmitettävä vesi virtaa
VILP, IVLP, ULVP	Vesi-ilmalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu tai ulkoilma-vesilämpöpumppu. Siirtää lämpöenergian ulkoilmasta vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään
Yht. ka.	Hybridiasennuksen jälkeisen ominaiskulutuksen keskiarvo

## 1 JOHDANTO

Kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomessa. Fossiilisten polttoaineiden käyttäminen energiantuotannossa on hiljalleen poistumassa ja kaukolämmön tuotannossa pyritään 2020-luvulla hiilineutraaliin tuotantoon lisäämällä uusiutuvia energianlähteitä. Tällä hetkellä energiayhtiöt pystyvät tarjoamaan asiakkailleen uusiutuvista lähteistä tuotettua kaukolämpöä, jonka tuotannossa hyödynnetään tulevaisuudessa enemmän eri lämmönlähteistä tuotettua lämpöenergiaa. Rakennuksia lämmitetään rinnakkaislämmönlähteillä päälämmönlähteen rinnalla, esimerkiksi auringon energia voidaan kerätä talteen aurinkokeräimillä tai lämpöpumpuilla. Rakennusten tuottama hukkalämpö voidaan ottaa talteen ja käyttää hyödyksi lämmityksessä, mikä voi parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ja voi pienentää energiamaksua. Kaukolämmössä hybridijärjestelmä on suhteellisen uusi ratkaisu ja hybridijärjestelmät tulevat uudistamaan kaukolämpöalaa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on energiayhtiö Fortum Power and Heat Oy (tässä Fortum), jonka toimintana on kaukolämpö ja -kylmä Suomessa. Fortum Power and Heat Oy kuuluu City Solutions -segmenttiin, joka kehittää kestäviä kaupunkiratkaisuja Fortum Oyj:lle. City Solutions -segmenttiin kuuluvat kaukolämmön ja -kylmän lisäksi energian hyötykäyttö, kiertotalous ja biopolttoaineet Suomessa, Pohjoismaissa, Baltiassa ja Puolassa. City Solutions -segmentti on yksi Fortum Oyj:n neljästä raportointisegmentistä, Generation -segmentti vastaa sähkön tuotannosta Pohjoismaissa, Consumer Solutions on sähkön ja kaasun vähittäismyyjä Pohjoismaissa ja Puolassa, Russia-segmentti kattaa sähkön ja lämmöntuotannon sekä myynnin Venäjällä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää toimeksiantajan kaukolämpöverkossa olevien hybridikohteiden kaukolämmön kulutusta. Työn hypoteesina on, että hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen kaukolämpöenergian kulutus pienenee, riippumatta hybridijärjestelmän mallista. Työssä tarkastellaan hybridikohteista mitattua kulutusdataa analysoimalla, miten hybridijärjestelmät vaikuttavat kaukolämmön kulutukseen Fortumin kaukolämpöverkon alueella. Lisäksi työssä selvitetään teoriassa ja yleisellä tasolla hybridikohteiden kannattavuutta energiayhtiölle.

Tutkimusmenetelmänä käytetään datan analysointia Minitab 19-tilasto-ohjelmaa apuna käyttäen. Käytetty aineisto on Fortumin omien kaukolämpömittarien keräämää dataa. Teoreettisessa taustassa työssä käsitellään yleisesti kaukolämpöä ja pääpainona on Fortumin kaukolämmön tuotanto ja kaukolämpöverkko sekä hybridijärjestelmät kaukolämmössä. Hybridijärjestelmiä voi olla myös muissa lämmitysmuodoissa, esimerkiksi sähkölämmityksen rinnalle asennettu poistoilmalämpöpumppujärjestelmä tai öljylämmityksen rinnalle asennetut aurinkokeräimet.

## 2 TYÖN RAJAUS JA TIETOPERUSTA

Työ rajattiin käsittelemään Fortum Power and Heat Oy:n kaukolämpöverkkoon liitettyjen kiinteistöjen hybridijärjestelmien kaukolämmön kulutusta. Fortumin kaukolämpöverkko kattoi suuren osan Espoon, Kauniaisten, Kirkkonummen, Tuusulan ja Järvenpään alueista (Fortum 2020a.) Kaukolämpöverkossa oli asuinrakennuksia, kunnallisia rakennuksia kuten kouluja ja päiväkoteja, sekä erilaisia liiketiloja, myymälöitä ja teollisuusrakennuksia. Espoossa rakennuksia voitiin viilentää myös kaukokylmällä. Työssä käytiin läpi kaukolämmön tuotantoa ja jakelua, hybridikohteiden kytkentää lämmönjakokeskuksessa sekä karotettiin, millaisia hybridimalleja on. Lisäksi tutkittiin Fortumin kulutusdatasta, onko hybridikohteilla ja kaukolämpökohteilla eroa kulutuksessa.

Työssä hybridi- ja kaukolämpökohteita tarkasteltiin anonymisti. Hybridikohteiden datasta tarkasteltiin hybridijärjestelmän vaikutusta kaukolämmön kulutukseen. Saneerauskohteissa kulutusta katsottiin ennen ja jälkeen hybridijärjestelmän käyttöönottoa. Hybridijärjestelmä voitiin lisätä kaukolämmössä oleviin vanhempiin rakennuksiin saneerauksen yhteydessä tai suunniteltiin uudisrakennukseen suoraan.

Tietoperusta pohjautui suurimmalta osalta tunnettuihin laitteisiin ja toimintoihin. Kaukolämmön ja hybridijärjestelmien teoriaosuudessa käytettiin Energiateollisuus ry:n lähteitä, kuten Kaukolämmön käsikirjaa ja K1/2013 Rakennusten kaukolämmityksen määräykset ja ohjeet -julkaisua. Lähteinä käytettiin myös yhdistysten ja alan yritysten internet-sivujen tietoaineistoa sekä julkaistuja opinnäytetöitä ja diplomitöitä. Taustatyöhön käytettiin Fortumin omia ulkoisia ja sisäisiä lähteitä sekä alan työntekijöiden tietoa.

### 3 KAUKOLÄMPÖ

#### 3.1 Kaukolämpö Suomessa lyhyesti

Suomessa kaukolämpö on kasvanut yleisimmäksi lämmitysmuodoksi kaupungeissa ja taajama-alueilla 1950-luvulta lähtien. Kaukolämpö on kehittynyt huipputasolle ja tarjoaa asiakkaalle toimitusvarman ja helppokäyttöisen lämmitysmuodon. Kaukolämmössä asiakkaana oleva kiinteistö ulkoistaa lämmityksen tuottamisen ja toimittamisen kaukolämpöyrittäjälle. Energiayhtiöt huolehtivat kaukolämpöverkoistaan ja siitä, että asiakkaat saavat lämpöä vuoden jokaisena päivänä. (Energiateollisuus 2020b.) Energiateollisuus ry:n (2019, 2–5) laatimassa kaukolämpötilastossa vuonna 2018 Suomen kaukolämpöyhtiöt jakoivat kaukolämpöä 170 kuntaan, joista 121 käytti biomassaa tai muuta hiilineutraalia lämmönlähdettä kaukolämmön pääasiallisena energianlähteenä. Vuodesta 1970 kaukolämpöasiakkaiden määrä on 30-kertaistunut ja nyt asiakkaita on yli 154 000 sekä kaukolämpöverkkoa yli 15 000 km.

#### 3.2 Kaukolämmön tuotanto ja jakelu

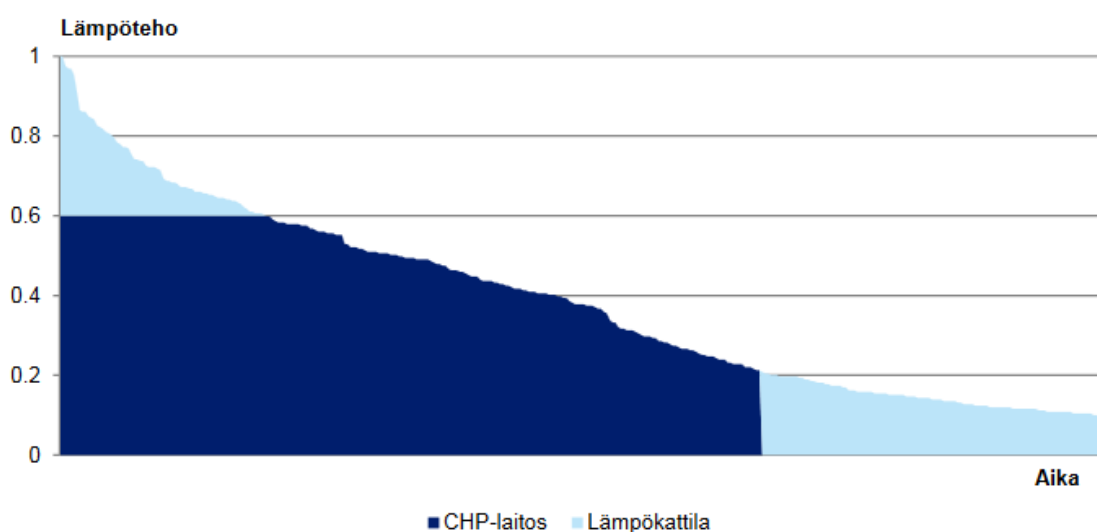
Kaukolämpö on keskitettyä lämmön jakelua ja tuotantoa. Kaukolämpövesi siirtyy asiakkaille kaukolämpöverkostoja pitkin. Kaukolämpövettä käytetään asiakkailta kiinteistöjen käyttöveden ja rakennustilojen lämmittämiseen. Kaukolämpötoiminta toteutetaan liiketoimintana. Kaukolämpöasiakkaina ovat eri kokoiset kiinteistörakennukset. Kaukolämpöverkon alueella kerrostalot, pientalot, liikerakennukset, teollisuus sekä julkiset rakennukset voivat liittyä kaukolämpöön. (Koskelainen, Saarela & Sipilä 2006, 25.)

Kaukolämpöä tuotetaan Suomessa eniten yhteistuotannolla (CHP-laitos), joka tarkoittaa sähkön ja lämmön yhteistuotantoa (Koskelainen ym. 2006, 27). Vuonna 2018 kaukolämpöä tuotettiin CHP-laitoksissa 24 709 GWh ja erillistuotantona 13 800 GWh (Tilastokeskus 2018). Fortumilla on esimerkiksi Järvenpäässä CHP-laitos, jonka polttoaineena ovat puuperäinen biopolttoaine sekä hevosen kuivikelanta ja korkealaatuinen kierrätyspolttoaine. Laitoksen kaukolämpöteho on 45 MW, sähköteho on 23 MW ja kokonaistuotanto voimalaitoksella on noin 340 GWh. (Fortum 2020e; Fortum 2020g.) Laitoksella lämmitetään 76 % Järvenpään ja Tuusulan alueesta ja kaukolämpöverkon koko on 200 km, jossa on lisäksi maakaasulla toimivia huippulämpökeskuksia. Espoo, Kauniainen ja Kirkkonummi -alueella on kaukolämpöverkkoa 800 km ja kokonaistuotanto verkon alueella on noin 2 200 GWh. Alueen kaukolämmön tuottaa pääasiassa Suomenojan voimalaitosalue, jossa on monta tuotantolaitosta ja niistä kaksi on CHP-laitoksia. Kaukolämpöteho Suomenojalla on yhteensä 620 MW ja se sisältää lämpöpumppulaitoksen kaukolämpötehon 40 MW, joka hyödyntää Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) puhdistetun jäteveden



hukkalämpöä. Lisäksi voimalaitosalueen laitosten sähköteho on 350 MW (Fortum 2020i). Voimalaitoksien polttoaineina ovat tällä hetkellä kivihiili ja maakaasu, mutta tulevaisuudessa polttoaineet tulevat olemaan biopolttoaineita.

Fortumin kaukolämpöverkkoalueella on monia huippulämpökeskuksia, jotka tuottavat tarvittaessa lämpöä kaukolämpöverkkoon. Pelletillä ja biokaasulla toimiva Kivenlahden huippulämpökeskus on lähtökohtaisesti aina käytössä ja yksikkö tuottaa lämpöä ympärillään oleviin päärunkolinjoihin Suomenojan rinnalla. Laitoksilla ja kaukolämpöverkolla olevat pumppaamot jakavat kaukolämmön optimaalisesti ympäri Espoota, Kauniaista ja Kirkkonummea. Pöyryn tekemän asiakasraportin (2018, 13) mukaisesti kuvassa 1 pysyvyyskäyrässä esitetään suurimmasta pienimpään kaukolämpöverkon vuorokausikohtainen lämmöntarpeen jakautuminen erillistuotannon ja CHP-laitoksen välillä. Perinteisellä mitoituksella tähdätään kokonaiskustannusten minimointiin ja optimaaliseen kokonaistuotantoon. Mitoituksessa huomioidaan asiakkaiden tehontarve, verkoston siirtokyky ja polttoaineiden hintasuhteet (Mäkelä & Tuunanen 2015, 22). CHP-laitoksella tuotetaan perinteisesti noin 60 % kokonaistehosta (energiamäärästä 80 %), joka on investointikustannuksiltaan suurempi, mutta on tehokkaampi. Huippulaitoksilla tuotetaan jäljelle jäänyt tehontarve, joka on noin 40 % kokonaistehosta (energiamäärästä 20 %). (Pöyry 2018, 13.)



Kuva 1. Kaukolämpöverkon tyypillinen tuotannon mitoitus (Pöyry 2018, 13)

Suomessa noin kolmannes lämpötehontarpeesta saadaan ulkopuolisilta lämmöntuottajilta (Pöyry 2018, 13). Esimerkiksi Fortum on avannut kaukolämpöverkkonsa, jolloin suuret asiakkaat, kuten datakeskukset, sairaalat ja pesulat, voivat siirtää kiinteistöiden tuottamaa hukkalämpöä Fortumin kaukolämpöverkkoon (Fortum 2020c). Esimerkkinä uudesta toimintatavasta on Järvenpään Lidl, joka tuottaa 700 MW lauhdelämpöä kaukolämpöverkkoon (Fortum 2020a). Fortum lopettaa kivihiilen polttamisen Espoon alueella vuonna 2025

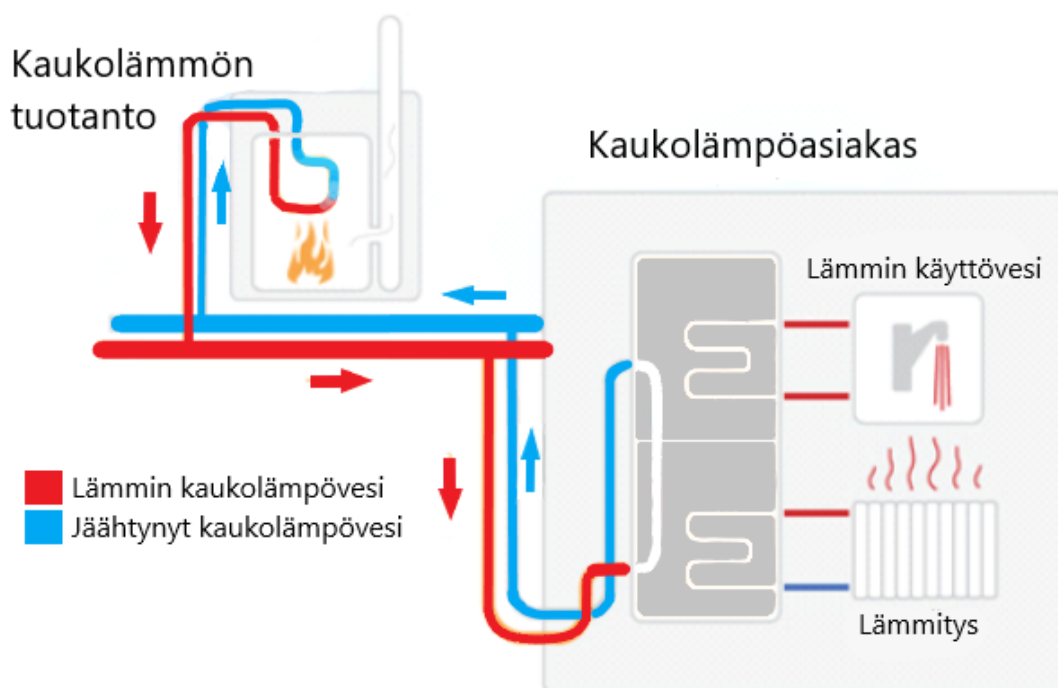
ja muu tuotanto muuttuu Espoon alueella hiilineutraaliksi ennen vuotta 2030. Vuonna 2019 Espoon, Kauniaisen ja Kirkkonummen alueella 55 % kaukolämmöstä tuotettiin hiilellä ja 25 % tehtiin hiilineutraalisti. Järvenpään ja Tuusulan alueella tuotettiin hiilineutraalia lämpöä 90 %. Fortum sulkee kesällä 2020 Suomenojan voimalaitosalueella yhden kivihiilikattilan, joka korvataan biopolttoaineita käyttävällä kattilalla. Hiilineutraalin osuus kokonaistuotannosta nousee investoinnin myötä Espoossa yli 40 %. Samana vuonna Otaniemessä valmistuu St1:n geoterminen laitos, josta ostetaan lämpöä Fortumin kaukolämpöverkkoon. Vuonna 2022 hiilineutraalin lämmöntuotannon osuus nousee Espoossa 50 %:iin, kun Suomenojan lämpöpumppulaitokselle valmistunut uusi yksikkö hyödyntää hukkalämpöä jätevedestä ja merestä. (Fortum 2020b; Fortum 2020g.)

Kaukolämpövedettä siirretään Suomessa kaksiputkijärjestelmällä, joka tarkoittaa yhtä meno- ja paluuputkea. Fortumilla käytetään nykyisin 2Mpuk-yksijohtoputkea, joka tarkoittaa erillistä meno- ja paluuputkea, joissa molemmissa on omat polyuretaanieristeet kiinnivaahdotettuna polyeteenisuojakuoreen ja virtausputkeen. (Koskelainen, L. ym. 2006, 137, 139.) Putkien käyttöikä on 50 vuodesta jopa 100 vuoteen. Kaukolämpöputket asennetaan maan alle noin 0,5–1 metrin syvyyteen katujen ja kevyen liikenteen väylien alle. Ylin lämpötila vedelle putkissa on 120 °C. Yleensä säävaihteluiden takia veden lämpötila on menopuolella 65–115 °C ja paluupuolella 40–60 °C. (Energiateollisuus 2020a.) Suuri ero meno- ja paluuveden lämpötiloissa mahdollistaa pitkät siirtoetäisyydet tuotantolaitoksilta asiakkaalle sekä pienentää pumppauskustannuksia (Koskelainen, L. ym. 2006, 137). Vuotojen havaitsemiseksi kaukolämpövesi on väriltään vihertävää. Vesi on käsitelty putken sisäpuolisen korroosion, mekaanisten epäpuhtauksien ja hapen poistamiseksi. Kaukolämpövesi ei ole terveydelle eikä ympäristölle vaarallista. (Energiateollisuus 2020a.)

Kaukolämpövesi kiertää kaukolämpöverkostossa meno- ja paluupuolen paine-eron takia. Kaukolämpöpumppujen työtä tarvitaan putkiston ja laitteiden aiheuttaman kitkan voittamiseen ja veden kierrosnopeuden ylläpitämiseen. Vesi kiertää pienemmän paineen suuntaan ja kitkavoima saa painehäviön aikaan. Asiakkaille taataan minimissään 0,6 bar:n paine-ero mittauksen perusteella. (Koskelainen, L. ym. 2006, 340.)

Kaukolämpöverkostoa pitkin asiakkaalle kulkeutuva kaukolämpövesi (kuva 2) luovuttaa lämmön asiakkaalle kiinteistön lämmönjakokeskuksen lämmönvaihtimissa toisiopuolelle. Lämmönjakokeskus mitoitetaan jokaiseen rakennukseen erikseen. Näin voidaan taata asiakkaalle oikeanlainen laitteisto sekä energiayhtiölle hyvä jäähdytys. Jäähdytys tarkoittaa kaukolämpöverkon meno- ja paluupuolen lämpötilojen erotusta. Energiayhtiö valvoo kaukolämpöverkon jäähdytystä, koska se vaikuttaa esimerkiksi savukaasupesurien lämmöntalteenoton hyötysuhteeseen, lämpöhäviöiden aiheuttamiin kustannuksiin sekä

pumppauskustannuksiin. Hyvällä jäähdyksellä voidaan kasvattaa energiatehokkuutta ja kustannussäästöjä. Asiakkaan jäähdytys riippuu verkon tuomasta menolämpötilasta ja sopivasta paineesta. Suuremmalla menolämpötilalla lämmönsiirtimet jäädyttävät paremmin. Lisäksi jäähdytys riippuu oikeanlaisesta mitoituksesta ja säätöjärjestelmien virityksestä. (Voutilainen 2018, 79–82.) Voimalaitokselle palaavan kaukolämpöveden lämpötilan tulisi olla mahdollisimman alhainen. Jäähdytys tulisi olla asiakkaan kaukolämpölaitteistossa vähintään yli 25 °C ja poistuvan kaukolämpöveden lämpötilan alle 65 °C. (Fortum 2020d.)



Kuva 2. Kaukolämmön tuotanto ja jakelu asiakkaalle (Mukaillen Energiateollisuus 2009, 7)

### 3.3 Hybridijärjestelmän kytkentä

Hybridijärjestelmä tarkoittaa kaukolämmössä sitä, että kaukolämmön lisäksi on toinen lämmityksen lähde. Päälämmönlähde ja lisälämmönlähde vuorottelevat vuorokauden tai vuodenajan mukaan. Esimerkiksi kesäaikana voidaan käyttää maalämpöä tai aurinkolämpöä käyttöveden tai rakennuksen lämmitykseen ja hyödynnetään kaukolämpöä lämmitystarpeen täyttämiseksi. Pää- ja lisälämmönlähteet voivat tuottaa myös samanaikaisesti lämpöä rakennukseen. Hybridijärjestelmään kuuluu yleensä lämpöakku eli vesivaraaja, johon rinnakkaislämmönlähteet varastoivat lämmön yhden tai useamman vuorokauden tarpeisiin. Kun lämpö sekoitetaan suoraan kaukolämpöveden kanssa, tarvitaan lämmityksen ohjaukseen hyvä suunnittelu ja toteutus. Hybridijärjestelmän ohjaus on vaativampi

suunnitella kuin yhden lämmitysmuodon järjestelmän ohjaus. Lämmityksen ohjaus vaikuttaa hyvin paljon tehokkuuteen ja käyttökustannuksiin hybridijärjestelmässä. (Motiva 2018a.)

Energiayhtiön kaukolämmön jakelu ulottuu asiakkaan lämmönjakohuoneeseen kaukolämmön mittauskeskukselle. Mittauskeskuksen jälkeen tulevat asiakkaan sulkuventtiilit ja asiakkaan lämmönjakokeskus. Energiateollisuus ry:n K1/2013 rakennusten kaukolämmitysmääräykset ja ohjeet -julkaisussa määritellään yhtenäiset vaatimukset lämmönjakohuoneessa olevien laitteiden suunnitteluun. Energiayhtiöt voivat lisäksi tehdä ohjeistuksia heidän omalla verkkoalueellaan K1:n määräämissä rajoissa. Kytkentäsuunnitelmat tarkastetaan K1 -julkaisun ohjeiden mukaan. Näin turvataan kaukolämpöasiakkaan sekä kaukolämmön tuotannon ja jakelun toiminta. (Energiateollisuus ry 2014, 1).

Lämmönjakokeskus kuuluu asiakkaalle, mutta ensiöpuolella kiertävä kaukolämpövesi energiayhtiölle. Energiayhtiö tarkastaa suunnitelmista myös asiakkaan lämmönjakokeskuksen mitoitus. Hybridikohteissa tarkastetaan toisen lämmönlähteen sijoittuminen kaukolämmön rinnalle. Kytkenän suunnittelun ja rakentamisen toteuttaa lvi-suunnittelija ja lämpöurakoitsija. Hybridikytkennöissä täytyy huomioida, että kaukolämpövesi virtaa kaukolämpöputkistossa, sillä virtauksen loppuminen voi aiheuttaa vaurioita putkistossa ja huonontaa jäähtymää. Yleisesti hybridijärjestelmien kytkentäsuunnitelmien suunnittelu ja tarkastaminen vaatii perehtymistä rakennukseen, sen sijaintiin ja kaukolämpöverkon toimintaan. Suunnitelmana hybridijärjestelmä voi toimia hyvin, mutta toteutuksesta voi aiheutua kustannuksia asiakkaalle sekä energiayhtiölle.

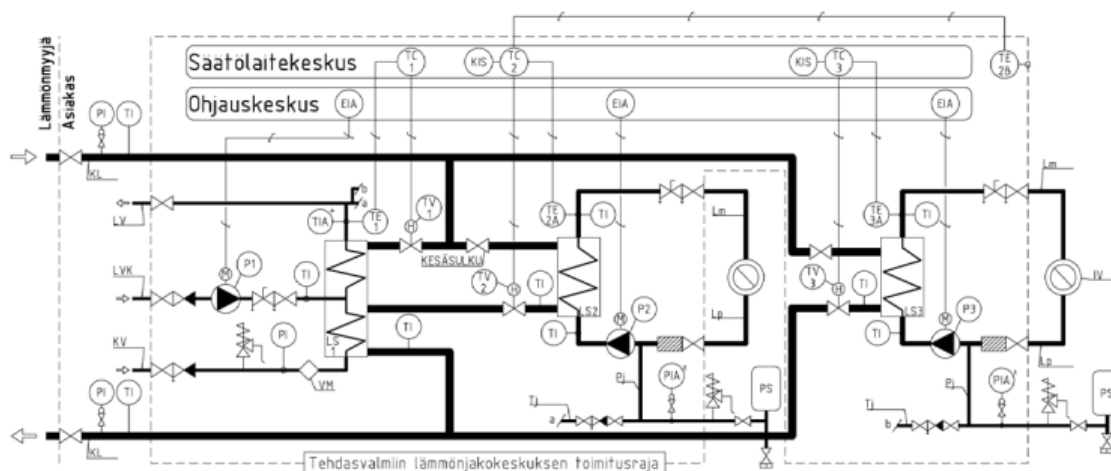
Tehdasvalmiissa lämmönjakokeskuksessa (kuva 3) on valmiina putkistot, säätöventtiilit ja -moottorit ja lämpötila-anturit sekä tarvittavat ilmapoisto- ja tyhjennysventtiilit. Säätölaitteet viritetään ennakoon ja ovat tehtaalta tullessaan liitettävissä suoraan rakennuksen valvontajärjestelmiin. Jokainen lämpötila-anturi on sijoitettu paikkaan, jossa mittaustulos kuvaa kyseisen kohdan keskilämpötilaa. (Koskelainen, L. ym. 2006, 87.) Kuvassa 3 on laitevalmistajan HögforsGST:n tehdasvalmis lämmönjakokeskus, johon on lisätty PILP-järjestelmä. Eri hybridijärjestelmien kytkentä lämmönjakokeskukseen ei yleisesti eroa toisistaan.



Kuva 3. Tehdasvalmisteinen PILP-hybridijärjestelmä (HögforsGST 2020)

Kaukolämpölaitteet mitoitetaan Energiateollisuus ry:n K1 ohjeistuksen mukaisesti. Kuvasssa 4 on Energiateollisuus ry:n esimerkkikytkentäkaavio välisyöttökytkennällä, jossa ilmanvaihtosiirtimeltä (LS3) palaava vesi ohittaa käyttöveden esilämmityksen. Toimitusraja määrittää energiayhtiön ja asiakkaan laitteet. Energiayhtiön kaukolämmön virtausmittari on ensiöpuolen paluupuolella. Kytkennät kaukolämmössä ovat tavallisesti hyvin samanlaisia, eli niistä löytyy käyttöveden siirrin (LS1) ja rakennuksen lämmitykseen käytettävä siirrin tai siirtimet (LS2 ja LS3). Kytkennöissä voi kuitenkin olla poikkeuksia, riippuen suunnittelijasta ja rakennuksesta.

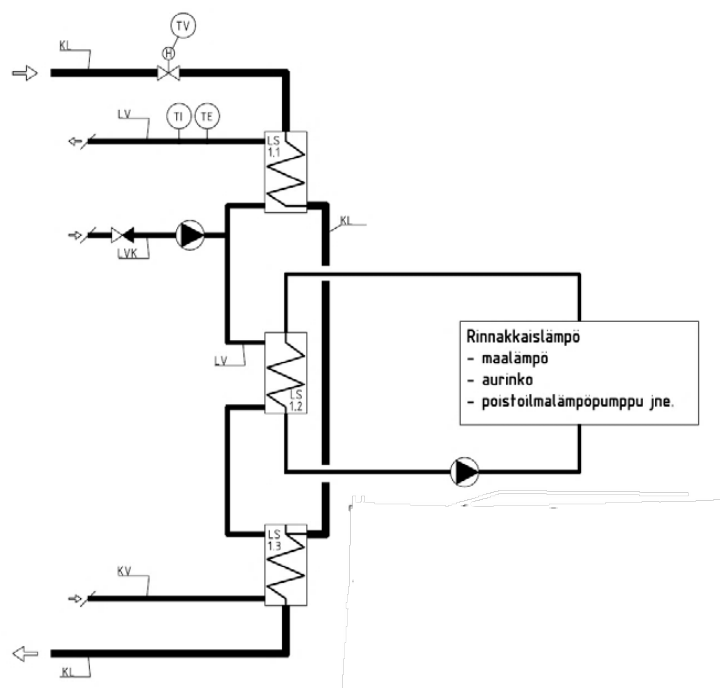
Kaukolämpö siirtää lämmönvaihtimien avulla lämmön lämpimään käyttöveteen ja rakennuksen lämmitysverkostoihin. Lämmitys voi tapahtua patteriverkon tai lattialämmityksen tai ilmanvaihdon lämmityksen kautta. Ilmanvaihdon lämmityksen energian kulutus on suuri. Ilmanvaihtosiirrin voidaan kytkeä rinnan patterilämmityksen kanssa tai sarjaan, jolloin saadaan parempi jäähdytys paluupuolelle. (Koskelainen, L. ym. 2006, 89.)



Kuva 4. Esimerkkikytkentäkaavio välisyötöllä (Energiateollisuus 2014, 86)

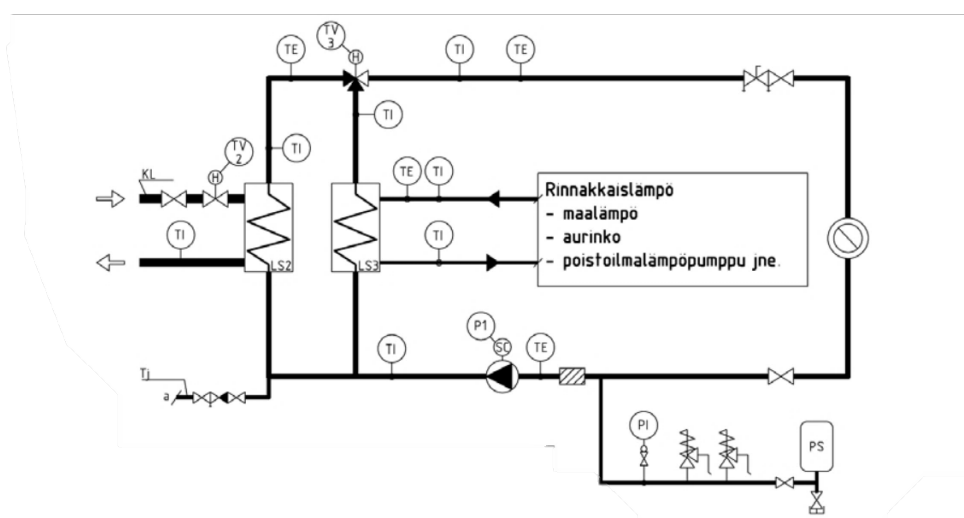
Hybridijärjestelmän suunnittelussa idean täytyy myös toimia käytännössä. Suurin osa hybridijärjestelmistä toimii hyvin kaukolämmössä, mutta ongelmia voi syntyä. Voimassa olevan rinnakkaislämmön kytkentäohjeen (K1/2013) mukaisesti energiayhtiöt ovat tehneet hybridikytkennöille ohjeistuksen omalla kaukolämpöverkkoalueellaan. Ohjeita voidaan käyttää tarvittaessa muissakin kaukolämpöverkoissa, jolloin hybridikohteiden suunnittelu on helpompaa. Energiateollisuuden julkaisemassa K1/2013 ohjeistuksessa noudatetaan Suomen rakentamismääräyskokoelmaa D1 sekä sosiaali- ja terveysministeriön oppaan 2003:1 Asumisterveysohjetta (Energiateollisuus 2014, 1).

Fortumin ohjeessa (2020) rinnakkaislämmönlähde johdetaan käyttövedessä menoputkeen tai kiertojohtoon, jos käytetään kaksiosaista käyttövesisiirrintä lämpimän kiertoveden jälkilämmitykseen. Käyttöveden siirtimien LS 1.3 ja LS 1.1 mitoituslämpötilat perustuvat verkon lämpötilaan. Siirtimet mitoitetaan pääsääntöisesti K1:n mukaan täydelle lämmitystehontarpeelle. K1:n esimerkkikytkennästä (kuva 5) saa poiketa Fortumilla ainoastaan käyttämällä rinnakkaislämpösiirtimien tilalla esimerkiksi varaajaa. (Fortum 2020h.) Varaaja voi lisätä toimintavarmuutta ja tehostaa rinnakkaislämmönlähteen hyödyntämistä. Varaajan käytön tarve tarkastetaan erityisesti, kun lisälämmönlähteenä ovat aurinkokeräimet. K1:n kytkentämallit on suunniteltu siten, ettei kaukolämpöveden jäähtymä huonone rinnakkaiskytkennässä. (Energiateollisuus 2014, 82.) Helen Oy:n (2015, 1) ohjeistuksessa välisyötökytkennässä kaukolämpöveden lämpötilan LS 1.3 jälkeen on oltava 20 °C kaikissa käyttölämpötiloissa, kun kylmävesi on 10 °C.



Kuva 5. Rinnakkaislämmön kytkentä lämpimään käyttöveteen (Energiateollisuus 2014, 89)

Fortumilla rinnakkaislämmönlähteen lämpöenergia johdetaan lämmityspiireissä menoputkeen, kuten kuvassa 6 (Fortum 2020h). Siirtimien mitoituksessa ja toiminnassa on huomioitava rinnakkaislämmönlähteen viileämpi veden lämpötila. Lämmityspiirissä kaukolämmöllä LS2 nostetaan lämmitysverkoston mukaiseen lämpötilaan LS3:n tuomaa vettä. (Energiateollisuus 2014, 89).

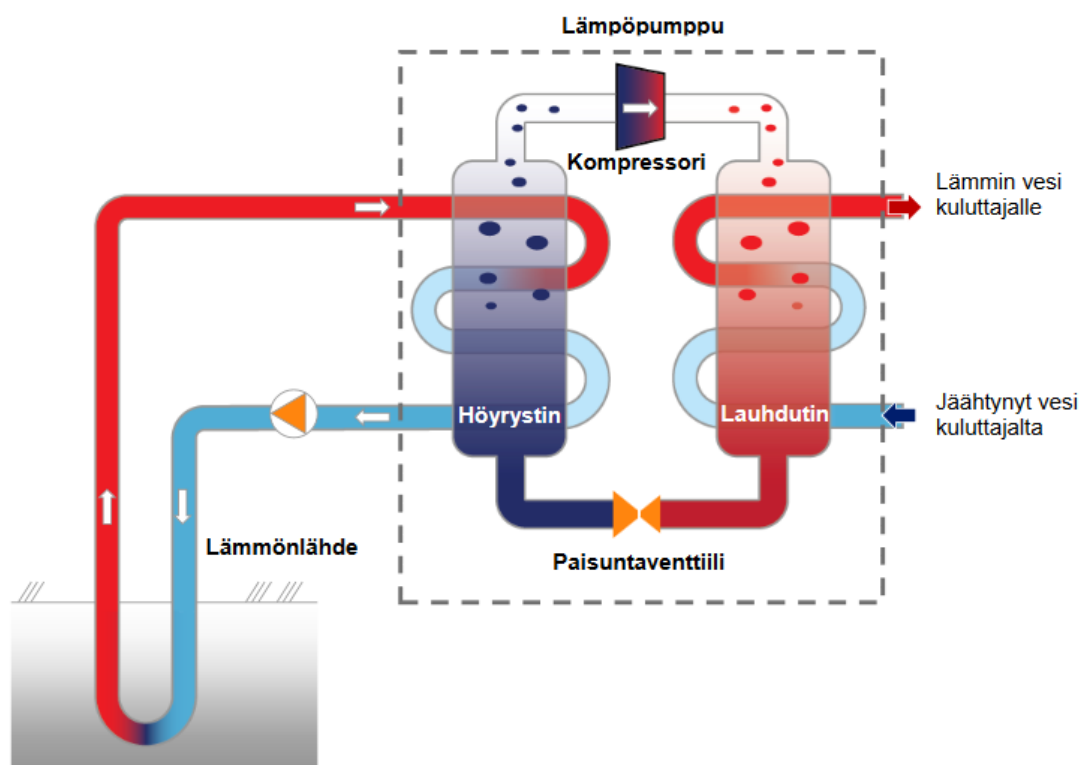


Kuva 6. Rinnakkaislämpö lämmityssiirtimeen, 3-tieventtiiliä käyttäen (Energiateollisuus 2014, 89)

## 4 HYBRIDIJÄRJESTELMÄT

### 4.1 Lämpöpumput

Lämpöpumpun toimintaperiaate on yksinkertainen: ulkoilman lämpö siirretään lämmitettävään tilaan veden tai ilman välityksellä. Toiminta perustuu lämpöpumpun koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Kuvassa 7 kylmäaine muuttuu höyrystimessä höyryksi (0 °C), jolloin siihen sitoutuu lämpöenergiaa keruupiiristä. Kompressorin puristaa höyryn korkeampaan paineeseen ja lämpötila nousee. Kuuma korkeapaineinen höyry jäähdytetään lauhduttimessa, jossa se nesteytyy jälleen. Prosessissa vapautuva lämpö lämmittelee lauhduttimen läpi kiertävän veden tai ilman. Neste palautetaan höyrystimeen paisuntaventtiilin avulla, joka laskee painetta ja lämpötila palautuu takaisin noin -10 °C:een. (Motiva 2008, 4.)



Kuva 7. Lämpöpumpun toimintaperiaate (Pöyry 2018, 17)

Lämpöpumpussa höyryn puristus pienempään tilaan tarvitsee energiaa, joka saadaan sähkömoottorista. Lämpöpumput tarvitsevat sähköä pyörittämään kompressoria ja muita laitteita. Lämpöpumpun lämpökerroin (COP = Coefficient of Performance) kertoo pumpun tuottaman lämmön kyseisellä hetkellä suhteessa pumpun käyttämään sähköenergiaan. Lämpökerroin on parempi mitä pienempi on ero lämmönlähteen ja lämmön luovuttajan välillä. (Motiva 2018b, 33.)

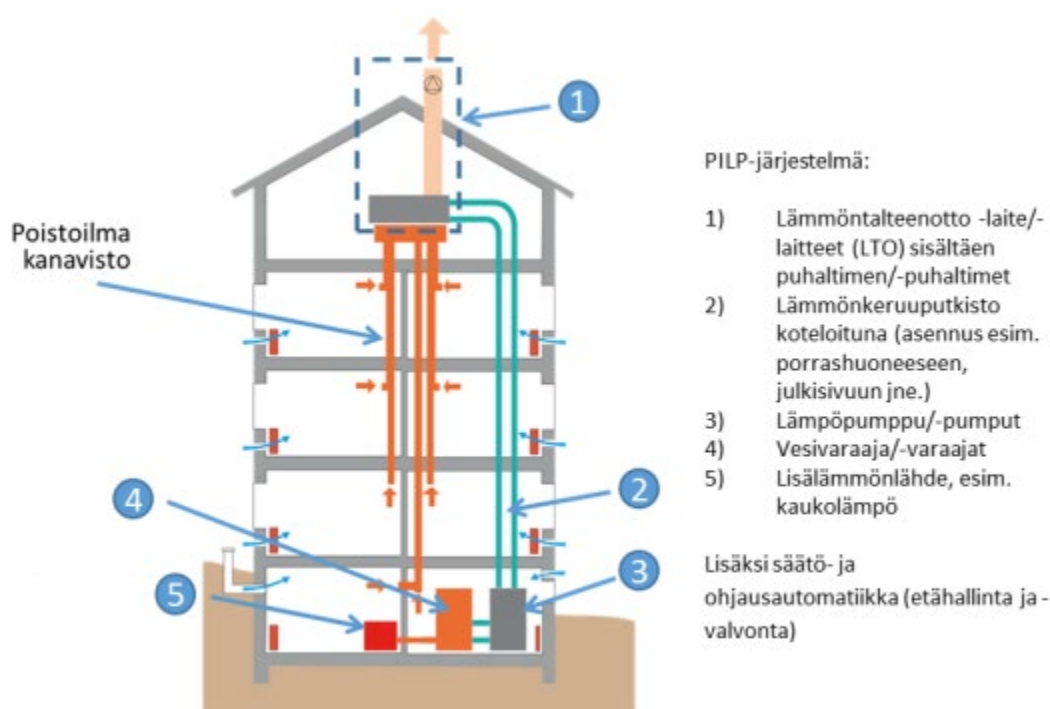


#### 4.1.1 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) ottaa lämmintä poistoilmaa ilmanvaihtoputkiston kautta ja siirtää sen pumpun avulla tuloilmaan, lämpimään käyttöveteen tai vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään (kuva 8). Se tarvitsee tulo- ja poistoilmakanaviston sekä toisen lämmönlähteen. Lämmitysenergiaa poistoilmasta saadaan vuositasolla hyödynnettyä noin 60–70 %. PILP tarvitsee hyvän ilmastoinnin, jotta se olisi tehokas. PILP:n kanssa ei tarvitse lämmöntalteenottolaitetta tai erillistä ilmanvaihtokonetta. PILP pystyy huolehtimaan huonetilojen lämmityksestä, ilmanvaihdosta ja käyttöveden lämmityksestä. (Motiva 2017.)

Taloyhtiön Energiakirjassa Pölsy & Virta (2011, 19) kirjoitetaan, että lämpöenergiatase havainnollistaa rakennukseen tulevat ja lähtevät lämpöenergiat ja -häviöt. Yksi suurimmista yksittäisistä lämpöhäviöiden aiheuttajista on ilmanvaihto. Lämpöhäviöt ovat ilmanvaihdon kautta 36–37 % koko lämpöenergiataseesta 1960–1980-lukujen asuinkerrostoissa. Rakennusmääräyskokoelmassa D2 (4.1.2) määritellään, että rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta täytyisi ottaa talteen vähintään 30 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä (Ympäristöministeriö 2003, 17). Poistoilmalämpöpumpun keräämää poistoilmaa pystytään hyödyntämään käyttöveden lämmityksessä ja lämmitysverkoissa kuten pattereissa, lattialämmityksessä ja mukavuuslattialämmityksessä. KytKentä tapahtuu rinnankytkennällä kaukolämmön kanssa. KytKennässä on eroavaisuuksia riippuen esimerkiksi siitä, uusitaanko poistoilmalämpöpumpputjärjestelmän liittämisen yhteydessä koko kaukolämpölaitteisto vai liitetäänkö PILP-järjestelmä uusiin kaukolämpölaitteisiin. (Energiateollisuus 2017, 2.)

Poistoilmalämpöpumppu käyttää tarvittaessa vesivaraajan sähkövastusta tuottamaan lisää lämpöä. Jäteilman lämpötila kertoo, kuinka hyvin poistoilmasta on saatu lämpöä talteen. (Motiva 2020b.) PILP-järjestelmä kuluttaa enemmän sähköenergiaa ja sähkötehon tarve nousee. Toimiva PILP-järjestelmä kaukolämmössä voi alentaa kaukolämmön kulutusta 50 % ja lämmityksen huipputehon tarvetta 10–30 %. Järjestelmä soveltuu parhaiten vähintään kolmikerroksiseen kerrostaloon, jossa on 15–25 asuntoa. Koneellisen poistoilmavaihdon ja lämmitys- ja patteriverkoston lämpötilatasojen täytyy olla sopivat lämpöpumpputjärjestelmälle kovilla pakkasilla, jolloin pattereilta palaava vesi tulisi olla alle 55 °C. (Motiva 2018b, 31–32.) Poistoilmalämpöpumppu tarvitsee koneellista ilmanpoistoa jatkuvatoimisesti, eli noin puolet rakennuksen ilmatilavuudesta tunnissa. Jatkuvatoimisen poistoilmavirran vuoksi ilmanvaihto voi lisääntyä, mutta hyötynä on hyvä sisäilma. (Lappalainen 2010, 76.)



Kuva 8. PILP-järjestelmän periaatekuva (Motiva 2018, 31)

#### 4.1.2 Vesi-ilmalämpöpumppu

Vesi-ilmalämpöpumppu tai ulkoilma-vesilämpöpumppu kerää auringon lämpöenergiaa ulkoilmasta ulkoyksikön eli höyrystimen läpi. Vesi-ilmalämpöpumppu voi tuottaa lämmintä vettä käyttövedeen ja lämmitykseen tai vain toiseen niistä. (SULPU 2020a.) Vesi-ilmalämpöpumppua on kahta mallia. Split-laitteissa lämpöpumpun kylmäkoneisto on kahdessa osassa, ja kylmäaine kiertää ulkoyksikön ja sisäyksikön välillä. Toisessa mallissa Monoblock-laitteistossa kylmäkoneiston tekniikka on ulkoyksikössä. Ulkoyksikön ja sisällä olevien varaajien välillä kiertää vesi. Laitteiston pystyy kytkemään suoraan toiseen lämmitysjärjestelmään. (Motiva 2019b.) Vesi-ilmalämpöpumppu tarvitsee rinnalle toisen lämmitysmuodon tai suoran sähkölämmityksen, joka lämmittää vesivaraajassa olevaa vettä sähkövastuksella. VILP:n ollessa rinnakkaislämmönlähteenä kaukolämmössä, kaukolämmön teho täytyy suunnitella suurimmalle tehon kulutukselle käyttövedessä ja lämmitysverkostossa.

Energiankulutukseen vaikuttaa huippupakkasjaksojen huipputehon tarve. Mitä paremmin lämpö pysyy rakennuksen sisällä eli mitä paremmin eristetty rakennus, sitä pienempi huipputehon tarve on. (Motiva 2008, 9.) VILP-järjestelmä hyödyntää uusinta lämpöpumpputekniikkaa ja sillä pitäisi pystyä hoitamaan talon koko lämmitystarve, mutta korkeilla

pakkasilla tarvitsee lisälämmitysjärjestelmän. VILP-järjestelmä sammuttaa itsensä automaattisesti kylmimmissä olosuhteissa. Antoteho sekä lämpökerroin heikkenevät lämpöpumpuissa kovilla pakkasilla  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. Lisäksi lämpöpumpun antoteho ja hyötysuhde heikentyvät, jos menoveden lämpötila on korkea. (Motiva 2019b.) VILP-järjestelmä tuottaa vähiten energiaa, kun tehontarve on suurimmillaan (SULPU 2020a).

#### 4.1.3 Maalämpöpumppu

Maasta tai vesistöstä tuotu lämpö siirretään maalämpöpumpun (MLP) avulla veden tai ilman välityksellä lämmönjakokeskuksen kautta rakennuksen lämmitystiloihin tai käyttövetteen. Maalämpöpumpun tuottamasta lämmöstä kaksi kolmasosaa on maasta otettua lämpöä ja sähköllä tuotetaan yksi kolmasosa tarvitsemasta lämmöstä. (SULPU 2020b.) Sähkön tilalla voidaan hyödyntää myös kaukolämpöä.

Maalämpöjärjestelmä koostuu maalämpöpumpuista, vesivaraajista, lämmönkeruupiireistä, ja lisäksi siinä voi olla lisälämmönlähteenä esimerkiksi poistoilmalämpöpumppu tai kaukolämpö. Maalämpö on lämpötilaltaan alhaisempi kuin rakennuksessa kiertävä vesi. Lämpöpumpuilla nostetaan veden lämpötila suunnitellulle tasolle. (Pylsy & Virta 2011, 115.) Kaukolämpöjärjestelmässä säätöventtiileillä ohjataan tarvittava vesimäärä tuottamaan oikea lämpötila maalämmön rinnalla. Maalämpö voi lämmittää pelkästään käyttöveden tai lämmitysverkon tai olla mukana molemmissa. Maalämpö mitoitetaan yleensä 40–70 %:iin tarvittavasta tehon tarpeesta eli energiamääräisesti 70–95 %, huippulämpö tehdään sähkövastuksilla tai esimerkiksi kaukolämmöllä (Pöyry 2018, 26).

Energiakaivo porataan yleensä 150–250 metriin riippuen energiatarpeesta ja kallion syvyydestä (Techeat 2020). Energiakaivo (kuva 9) on halkaisijaltaan 115–165 mm, sen sisällä on putkisto, jossa kiertää lämmönkeruuliuos. Liuos on 30 %:sta bioetanolia, jonka jäätymispiste on noin  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Energiakaivo voidaan asentaa ahtaallekin tontille, mutta se on yleensä kallein lämmönkeruu vaihtoehto. (Motiva 2020a.)

Kuvasta 9 nähdään, vaakaputkiston toimintaperiaatteena ovat maaperään noin metrin syvyyteen asennetut lämmönkeruuputket. Alue on iso, koska putkilenkkien etäisyys on oltava vähintään 1,5 metriä. Lämmönkeruuputkisto voidaan asentaa myös veteen (kuva 9) noin 3–5 metrin välein. Putkisto ankkuroidaan painojen avulla pohjaan ja vesistöstä voidaan ottaa suurempia tehoja sekä energiamääriä kuin maaperästä. Vedellä on paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet kuin maaperällä. (Motiva 2020a.)

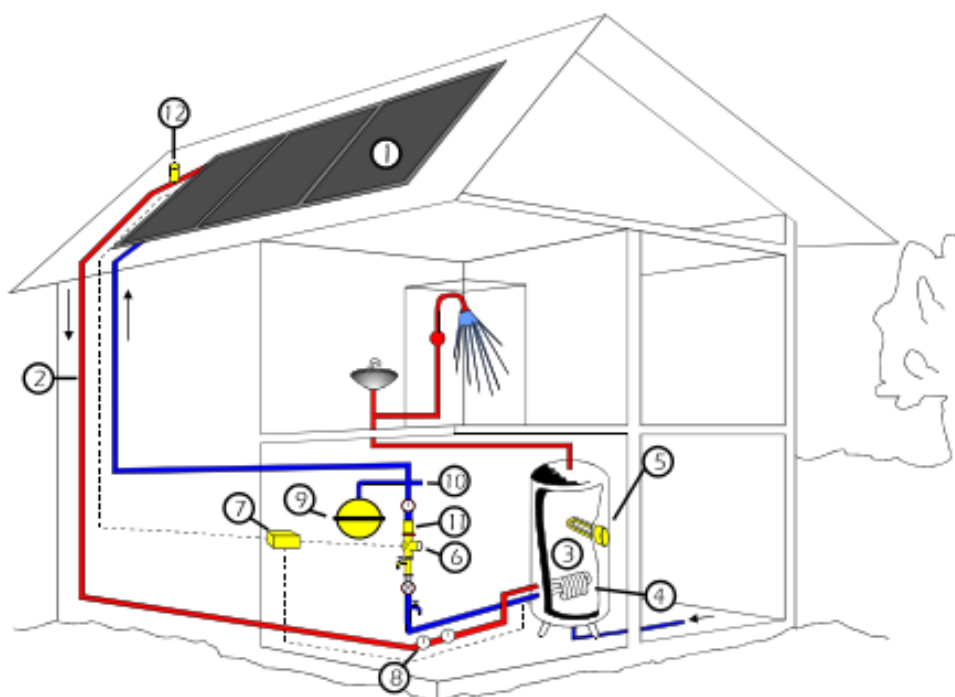


Kuva 9. Maalämmön talteenotto eri paikoista (Thermia 2020)

## 4.2 Aurinkolämpö

Suomen talvikuukausina aurinkolämpöä saadaan aurinkokeräimistä hyvin vähän, kun taas keväällä, kesällä ja syksyllä sitä pystytään hyödyntämään käyttöveden tai rakennusten lattialämmityksessä (Lappalainen 2010, 77). Talvikuukausina rinnalle tarvitaan päälämmönlähde, esimerkiksi kaukolämpö. Kaukolämmön tehon täytyy vastata huipputehokulutusta, jotta se voi kattaa koko kiinteistön tarpeen kylminä ajanjaksoina. Aurinkolämpöjärjestelmä mitoitetaan usein kattamaan puolet käyttöveden tarvitsemasta energiasta. (Motiva 2019d.) Järjestelmällä voidaan lämmittää käyttövettä realistisesti 10–30 % asuinkerrostalon kokonaistarpeesta, koska lämpötila täytyy olla 58 °C. Aurinkolämmöstä saatava lämpötila soveltuu hyvin käytettäväksi märkätilojen lattialämmityksessä. Vesikiertoinen järjestelmä on helppo liittää asiakkaan kaukolämpölaitteisiin. (Pylsy & Virta 2011, 127.)

Aurinkolämpöä voidaan kerätä passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivisessa keräämisessä valoa ja lämpöä hyödynnetään ilman minkäänlaisia laitteita. Aktiivisessa taas muunnetaan auringonsäteily aurinkokeräimillä lämpöenergiaksi (kuva 10). (Motiva 2019a.) Aurinkokeräimissä kulkee absorptioputkia, joissa lämmönsiirtoneste muuttaa auringonsäteilyn lämpöenergiaksi. (Motiva 2019e.) Kokoojaputki kuljettaa lämpimän nesteen lämpövaraajaan. Nesteellä on parempi lämmönsiirto-ominaisuus kuin ilmakeräimillä. Putkisto toimii yleensä rinnankytkennällä ja aurinkokeräimissä pyritään pieneen nestetilavuuteen. Säätyöyksiköllä pyritään optimoimaan pumpun kierrosnopeuksia, jolloin lämmöntuotto olisi optimaalinen. Pumppu käynnistyy, kun lämpötila keräimellä on korkeampi kuin lämpövaraajalla. Aurinkolämpöjärjestelmä on lisälämmönlähde, jolloin tarvitaan päälämmönlähde. Lämpövaraajassa voi olla sähköllä toimiva lämpövastus tai päälämmönlähteenä voidaan käyttää kaukolämpöä. (Motiva 2019c; Solpros 2006, 6.)



Kuva 10. Aurinkojärjestelmän toimintaperiaate (Solpros 2006, 7)

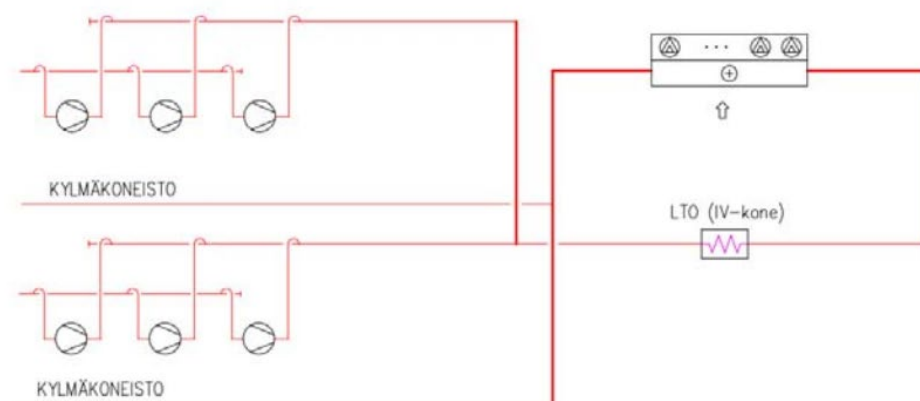
### 4.3 Lauhdelämpö

Lauhdelämpöä käytetään perinteisesti suurien myymälöiden ilmanvaihdon lämmittämiseen. Myymälöissä on paljon kylmälaitteita, joista voidaan hyödyntää lauhdelämpöä. Hakala & Kaappola (2005) Opetushallituksen kylmälaitoksen suunnittelun oppikirjassa kirjoittaa, että lauhdutuksen toiminta koostuu tulistuksenpoistosta (10–20 % lauhdutustehosta), lauhdutuksesta (80–90 % lauhdutustehosta) ja alijäähdytyksestä (0–5 % lauhdutustehosta). Tyypillinen lämpötilataso lauhdelämmöllä on 24/17 °C. (Motiva 2012, 9.) Matalaa lämpötilatasoa voidaan hyödyntää esimerkiksi kattokaivojen, rännien ja piha-alueiden sulatuksiin (Suuronen 2012, 9). Hakala & Kaappola (2005) kirjoittavat myös, että tulistuslämpöä hyödynnettäessä lämpötila voi nousta 45/35 °C, jolloin lauhdelämpöä voidaan siirtää lämpimään käyttöveteen tai lämmitysverkkoon. Lauhtumislämpötilan nosto lämpöpumpulla heikentää kylmälaitoksen kylmäkerrointa (Motiva 2012, 9).

Lauhdelämmön lisälämmön lähteeksi sopii kauko- tai maalämpö. Kun kaukolämmössä rinnakkainkytkentänä on suora lauhduttaminen, lauhdelämpö siirretään nestelauhduttimen kautta käyttöveteen tai lämmitysverkkoon. Käyttöveteen siirrettäessä suorassa lauhdutusjärjestelmässä täytyy olla erillinen välipiiri. Välipiiri laskee hyötysuhdetta ja lämpötilatasoa. Välillisessä järjestelmässä talteenotto voidaan tehdä suoraan lauhdutuspiiristä. Lämpöpumpulla voidaan tehostaa lauhdelämpötilaa. (Motiva 2012, 10.)

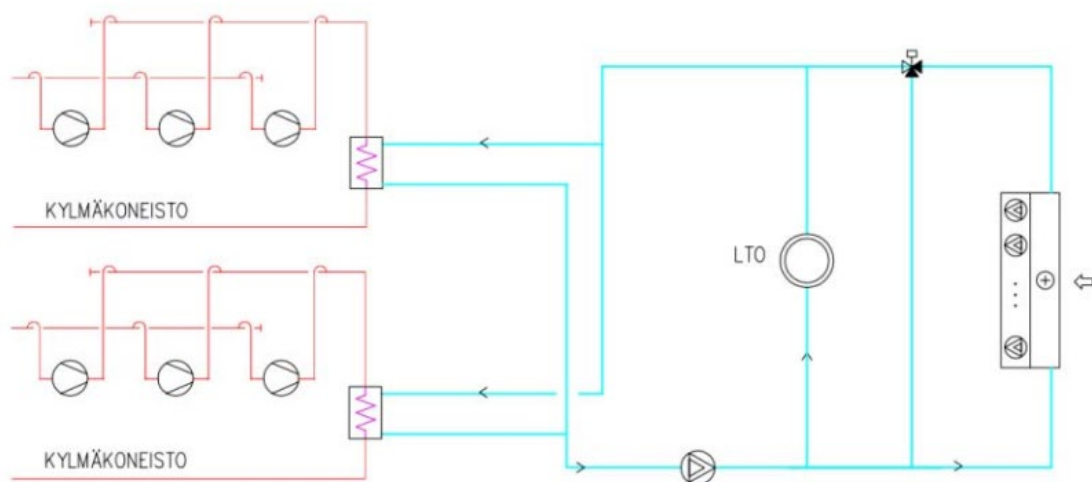
Lauhdelämmön lämpötilaa voidaan nostaa lämpöpumpun avulla. Pumppu nostaa veden lämpötilan lämmitysverkkoon sopivaksi. Menoveden lämpötilataso riippuu siitä, mihin tarpeeseen lauhdelämpöä käytetään. Ilmalämmityksessä lämpötila pyritään pitämään 20–40 °C:ssa, kun taas lattialämmityksessä lattian pintalämpötila ei saa ylittää 30 °C, jolloin menovesi on noin 35–45 °C, patteriverkostossa kiertävän veden lämpötila 40–60 °C ja käyttövedessä menoveden lämpötila on oltava 58 °C. (Siikanen 2010, 7.)

Suorassa lauhdutuksessa kylmäaine jäädytetään sisä-, ulko- tai tuloilmalla. Ilmalauhdutin asennetaan katolle ja rinnakkainen lauhdutin sijoitetaan lämmitystilaan (Suuronen 2012, 4). Toteutus riippuu ympäristöstä ja lämmöntarpeesta. Sarjaan kytkennässä lauhdutinpat- terien lauhdutus tapahtuu ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottopattereissa ja loput ulkoil- massa. Suoraan ulkoilmaan lauhduttamisessa voidaan talvikaudella pitää lauhtumisläm- pötila lähellä minimitasoa (20 °C). Prosessin kylmäkerroin huononee, jos tätä lauhtumis- lämpöä käytetään ilman lämmitykseen. Etuna ovat lyhyet putkireitit sekä pienet investointi- kustannukset. (Siikanen 2010, 17.)



Kuva 11. Kryotherm-järjestelmällä toteutettu suoralausdutteinen lämmöntalteenottojärjes- telmä (Motiva 2012, 10)

Suurissa kiinteistöissä käytetään yleensä välillistä lauhdutusta. Välillisessä lauhdutuk- sessa lämpö siirretään nestepiiriin, josta vesi-glykoliliuos kuljettaa lauhdelämmön lämmi- tuspattereihin ja varaajaan (kuva 12). Lauhdelämpöä voidaan hyödyntää monipuolisesti käyttöveden, ilman tai lattialämmityksen lämmittämiseen. Tulistusta voidaan käyttää erik- seen käyttöveden lämmityksessä tai lauhduttimelle tulevan liuoksen lämpötilan nostona. Sen käytön etuina ovat pienempi kylmäainetäytös, tasainen lauhtumispaine ja järjestel- män yksinkertaisuus. Välillistä lauhdutusjärjestelmää käytetään yleensä, kun lauhdutus- tarve on suuri ja lämmöntalteenotolla on merkittävä osuus. (Siikanen 2010, 16–18.)



Kuva 12. Perinteinen välillinen lämmöntalteenottojärjestelmä (Motiva 2012, 9)

## 5 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS

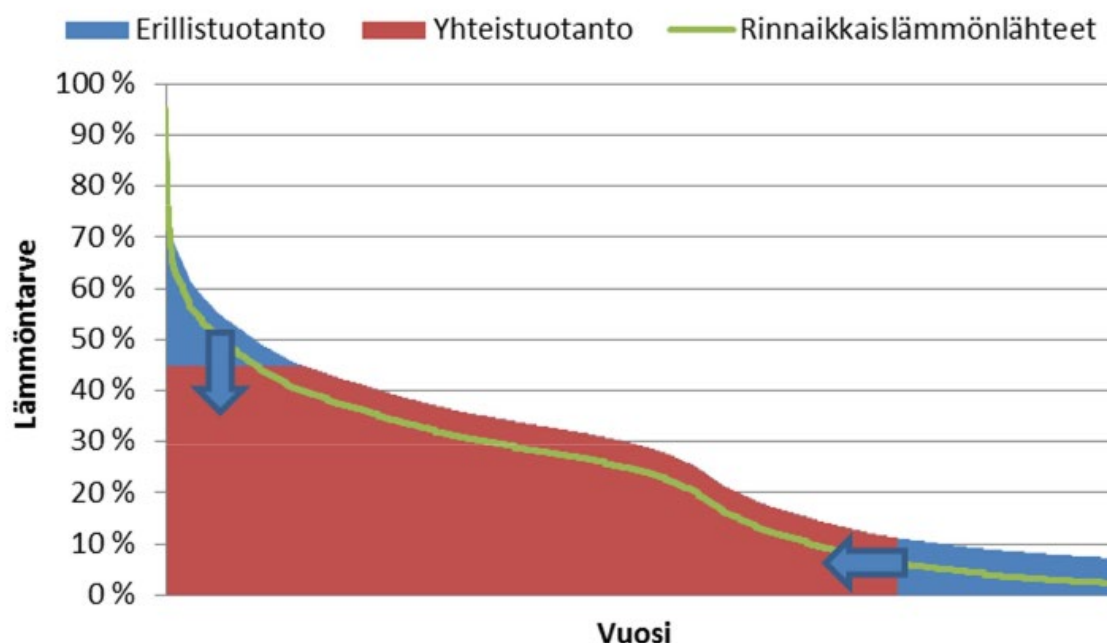
Kaukolämpöalalla liikevaihto sisältää lämmönmyyntituotot ja siihen liittyvät palvelut sekä valmistuksen omaan käyttöön ja muut tuotot. (Koskelainen ym. 2006, 466.) Asiakkaat maksavat kaukolämmöstä, jotta kaukolämpöyrittäjä pystyisi tuottamaan sitä heille. Fortum Power and Heat Oy:n kaukolämmön hinta perustuu energia- ja tehomaksuun. Energiamaksu koostuu asiakkaan käyttämästä energian määrästä (MWh) ja energiaverosta, ja sillä Fortum kattaa polttoaineiden hankintahinnan. Maksettava määrä voi vaihdella kuukausittain tai olla kiinteä. Tehomaksu perustuu käytettyyn lämmitystehoon (kW). Sillä ylläpidetään asiakkaiden lämmönsaanti sekä jakeluverkon ja tuotannon kunnossapito. Tehomaksun määrä voidaan maksaa käyttämällä kolmen peräkkäisen tunnin keskiarvoa, viimeisen kolmen vuoden suurimmalta lämmitysteholta tai sen määrä perustuu kiinteistön arvioituun tehontarpeeseen, jolloin tehomaksu pysyy muuttumattomana. Lisäksi maksetaan kaukolämmön liittymismaksu, joka määräytyy tunnin huipputehon mukaan. Sillä kateetaan rakentamiskustannukset, ja siihen sisältyvät suunnitelmien tarkastaminen, asennukset ja työt sekä käytön laadunvarmistus. (Fortum 2020f.) Kaksisuuntaisella eli avoimella kaukolämpöverkolla kaukolämpöyhtiö tuottaa asiakkaille lämpöä ja asiakkaat myyvät ylimääräistä lämpöä kaukolämpöverkkoon. Avoin kaukolämpöverkko on tulevaisuudessa hyvin vahvasti mukana kaukolämpötoiminnassa.

Peruslämmön tuotanto on kaukolämmön kannattavin osa ja se tapahtuu kiinteällä polttoaineen kattilalla (KPA) tai kannattavammalla CHP-laitoksella, jossa on parempi hyötysuhde. Peruskuormalaitoksen kannattavuutta parantaa mahdollisimman tehokas laitoksen ajaminen ja vähäiset alas- ja ylösajot. Huippulämpö tuotetaan erilliskattiloilla, kuten maakaasu-, kevyt polttoaine- tai pellettikattilalla. Huippulämpölaitokset toimivat useasti varalla, ja niiden käyttöä täytyy minimoida, koska niiden käyttäminen voi olla nollakatteista tai jopa tappiollista. Kaukolämmön kannattavuuteen vaikuttaa myös verkon tasapainoisuus eli kuorman optimointi. Kaukolämpöverkon tulee kestää lisäksi rikkoutumiset ja siinä ei saa olla saneerausvelkaa tai pullonkauloja. (Valor Partners 2015, 11.)

Rämä, Niemi & Similä (2015, 6) selvittivät Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n asiakasraportissa Energiategollisuus ry:lle poistoilmalämpöpumppujen toimintaa kaukolämpöjärjestelmässä sekä asiakkaan että energiayhtiön näkökulmasta. Asiakasraportissa todettiin, etteivät hybridijärjestelmät rinnakkaislämpönä ole edullisia kaukolämpöyhtiölle. Kaukolämmön on tarkoitus kattaa koko lämmitystarve kaikissa olosuhteissa ja rinnakkaislämmönlähteet tuottavat yleisesti vain osan lämmöntarpeesta, jolloin kaukolämpöä tarvitaan lisälämmönlähteenä. Yleensä tarvetta on epäsuotuisaan aikaan eli talvella erillistuotannon



aikana (kuva 13). Lämpöhäviön ja tuotannon välinen suhde eli lämmönsiirron hyötysuhde pysyy ennallaan tai kasvaa kaukolämmössä.

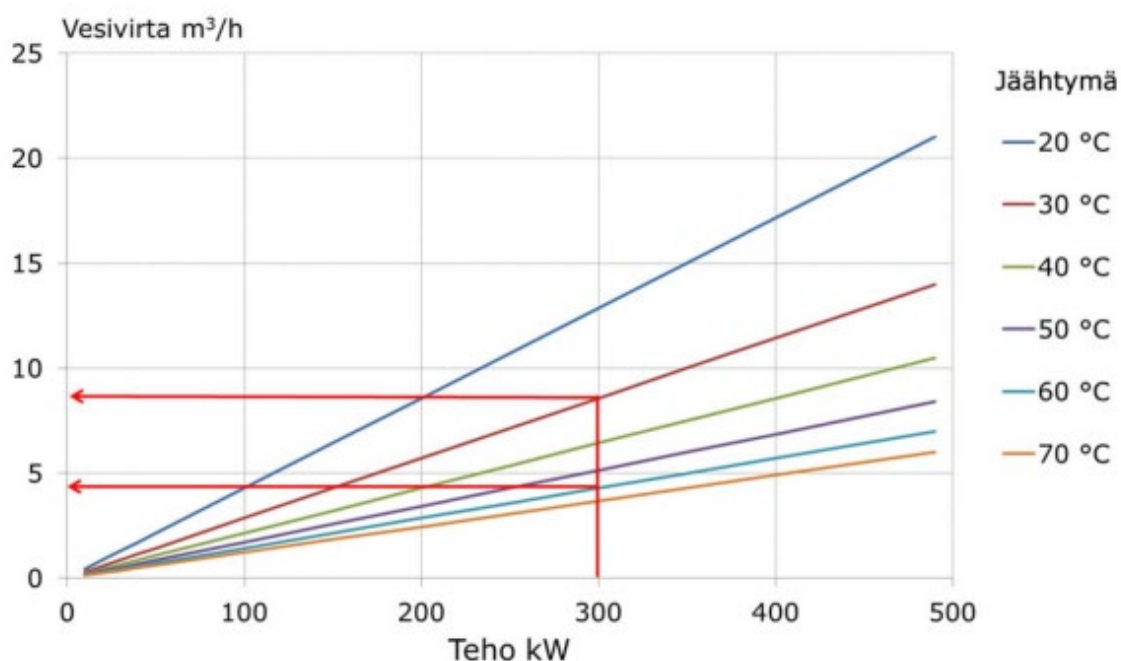


Kuva 13. VTT:n raportista pysyvyyskäyrä tuotantomuotojen osuuksista ja rinnakkaislämmönlähteiden aiheuttamat muutokset (Rämä ym. 2015, 7)

Kandidaatintyössään Voutilainen (2017, 25–28) toteaa, että asiakkaalle hybridijärjestelmä on kustannustehokas. Hybridijärjestelmällä voidaan tuottaa edullista energiaa, kun tuottaminen on suotuisaa ja pää- tai lisälämmönlähde on varalla tuottamassa loput tehosta. Kuitenkin hybridijärjestelmän monimutkaisuus voi nostaa sen kustannuksia ja järjestelmän saaminen toimimaan kannattavasti voi olla hankalaa normaaliin kaukolämpöjärjestelmään verrattuna. Työssään Voutilainen on tutkinut lisäksi kahta hybridikohdetta, joissa molemmissa oli kytkennässä ongelmia. Ongelmat esiintyivät lämmityskauden ulkopuolella, jolloin lämpöenergian tarve oli alhaisin. Ensimmäisessä kohteessa kaukolämmön virtausta ei ollut kesäaikana, jolloin menolämpötila laski liian alas. Tämä voi vahingoittaa putkistoa ja olla energiayhtiölle epäedullinen, jos veloitus perustuu kaukolämmön virtaamaan ja lämpötilaeroon. Toisessa kohteessa jäähtymä jäi kesäaikaan pieneksi, mikä ei ole kaukolämpöverkon hyötysuhteen kannalta edullista. Jotta hybridikohde toimisi ympäristön, asiakkaan ja energiayhtiön kannalta hyvin, täytyy kytkentä suunnitella parhaalla mahdollisella tavalla.

Energiayhtiön kannalta hyvä jäähtymä kasvattaa kaukolämpöverkon hyötysuhdetta ja alentaa kustannuksia. Korjus (2016, 34–35, 44) diplomityössään on pohtinut kaukolämmön hinnoitteluun virtaus- tai jäähtymämaksuja, jotka perustuvat kaukolämpömittarin läpi

menevään virtaukseen. Virtausmaksu on energiamaksun kaltainen, jossa asiakas maksaa kuukaudessa kulutuksen mukaan. Jäähtyvyys mitataan meno- ja paluulämpötilojen erotuksesta tai virtauksesta. Laskutus perustuu virtaamaan, joka kasvaa huonosta jäähtymästä. Jos laskutus perustuu ainoastaan tehoon, täytyy tarkastella asiakkaan jäähtymää. Kuvasta 14 nähdään miten vesivirtaus kasvaa melkein puolella, kun jäähtymä huononee 50 %. Tästä syystä jäähtymämaksu usein sisällytetään tehomaksuun, millä kannustetaan asiakkaita huolehtimaan kaukolämpölaitteistaan ja hyvästä jäähtymästä. Tätä voidaan käyttää myös palkitsemiskeinona antamalla asiakkaille hyvitystä hyvästä jäähtymästä. Virtaus- sekä jäähtymämaksussa on paljon kohtia, joissa täytyisi olla erittäin tarkka, jotta asiakkaat olisivat tasavertaisia. Jäähtymän suuruus voi riippua paljon siitä, missä verkkoalueen kohdassa asiakas on.



Kuva 14. Energiategollisuus ry:n kuvio vesivirta tehon ja veden jäähtymän funktiona, kun jäähtymän arvoa muutetaan (Korjus 2016, 44)

Kulutuksen ohjauksella on tarkoitus saavuttaa taloudellista hyötyä ja ehkäistä ympäristöhaittoja energiantuotannossa. Tariffi- ja hintaohjauksella pyritään vaikuttamaan asiakkaan energiankulutukseen eli saamaan sitä rajakustannuspohjaiseksi. (Koskelainen ym. 2006, 101.) Valor Partners Oy (2015, 3, 29) tutki, voiko kaukolämmön kysyntäjoustohinnoittelun avulla saada huippulämpölaitosten käyttöä alemmaksi. Kysyntäjoustossa energia-yhtiö sekä asiakas muuttavat kaukolämmön kulutusta ja lämpötehon tarvetta siten, että lämpö voidaan tuottaa perustuotannolla. Perustuotannolla voitaisiin tuottaa pidempään lämmitysenergiaa ja tuotanto olisi silloin edullisempaa. Tutkimuksessa huippulämpölaitosten käytön vähentäminen lyhyissä kuormituspiikeissä tuottaa hyötyä kaukolämpöjärjestelmän

tasolla. Arvioita kysyntäjoustop hyödyistä, potentiaalista tai toteutusmallista ei voi yleistää kaikkiin kaukolämpöjärjestelmiin. Kysyntäjoustop toimivuudesta täytyisi kerätä enemmän dataa esimerkiksi pilottihankkeista, koska hinnoittelu perustuisi tuntikohtaiseen dataan ja siinä on riskinä ennuste-epävarmuuden hallinta.

Fortum oli Valor Partnersin tutkimuksessa mukana ja sen jälkeen Fortum aloitti Leanheat Oy:n kanssa kysyntäjoustophankkeen Espoon Asunnon asuntoihin. SmartLiving-palvelu asennettiin uusiin asuntoihin syksyllä 2018. Palvelussa käytetään suomalaisyhtiön Leanheatin tekoälyteknologiaa, joka ohjaa automaattisesti asuntojen lämmitystä ulkolämpötilaennustuksen mukaan. Vuodesta 2015 Espoon Asunnon asuntojen SmartLiving-pilotit ovat pudottaneet energian kulutusta 10 %. (Fortum 2018.) Lisäksi Voutilainen on diplomityönsään (2018, 78) pohtinut tuntikohtaista hinnoittelumallia, jolla olisi samanlainen vaikutus kuin kysyntäjoustopilla. Tuntikohtaista hinnoittelumallia voisi kehittää perinteisille kaukolämpöasiakkaille sekä esimerkiksi matalalämpöasiakkaille tai avoimessa kaukolämpöverkossa oleville asiakkaille. Näin sillä voisi parantaa kustannusvastaavuutta. Kun asiakkaiden rakennusautomaatio optimoisi lämmityskustannuksia, voisi energiayhtiö hyödyntää sen ohjaavaa vaikutusta tuotannossaan. Tällä hetkellä tuntikohtainen hinnoittelumalli olisi kaukolämmössä monimutkainen ja vaikeaselkoinen myös asiakkaan näkökulmasta.

## 6 MENETELMÄT JA AINEISTO

Kaukolämmön kulutusdata kerätään Fortumin kaukolämpöverkkojen alueelta Espoo, Kainiainen, Kirkkonummi sekä Tuusula ja Järvenpää. Aineistoksi otettiin kaikki 61 hybridikohteita, joista yli 50 oli Espoossa. Niitä vertailtiin vain kaukolämmityksessä oleviin kohteisiin, joita oli mukana yli 3 300 kappaletta. Kaukolämpökohteista valittiin vertailuun kohteet, joissa oli sama rakennustyyppi kuin hybridikohteissa. Jokaisella kohteella on oma käyttöpaikkatunnus ja lämpöenergiamittari. Käyttöpaikoista kerätään dataparametrejä tunnin välein. Mittauksessa tulee paljon tietoja, joista vain osaa käytetään kuten hetkellinen virtaama, meno- ja paluulämpötilat, kaukolämpöveden jäähtymä ja hetkellinen teho. Kaukolämpömittarista data siirtyy luentajärjestelmään. Sieltä data siirtyy tiedostoissa eri luentaryhmiin ja ohjelmajärjestelmään, jossa data validoidaan. Validoinnin jälkeen data siirtyy taas eri järjestelmiin ja käyttötarkoituksiin, esimerkiksi laskutusohjelmaan tai toiseen data-analyttiseen alustaan.

Opinnäytetyön data-aineisto otettiin yhdestä Fortumin käyttämästä data-analyttisestä alustasta. Sieltä valittiin Fortumin hybridi- ja kaukolämpökohteet. Kulutusdatasta otettuja tietoja olivat laskutettu teho, energian ominaiskulutus, kuukausittainen huipputeho, virtaama ja keskiarvoinen jäähtymä. Lisäksi datasta saatiin käyttöpaikkanumero, osoite, rakennusmalli, rakennusvuosi, hybridimalli ja lämmitettävä rakennustilavuus. Lämmitystarvelukemaa tarvittiin ominaisenergian kulutuksen normeeraukseen. Fortum saa ulkolämpötilatietonsa Ilmatieteenlaitokselta, jonka mittauspiste sijaitsee Espoon Tapiolassa.

Datasta tarkasteltiin rakennuksen ominaisenergiankulutusta ( $\text{kWh/m}^3$ ). Energiankulutus tuli normeerata, jotta pystyttiin analysoimaan saman paikkakunnan eri rakennuksia tai samaa rakennusta eri vuosilta. Lämmitysenergian kulutus muuttuu sääolosuhteiden mukaan, jolloin normeeraaminen tekee lämmityskulutuksesta riippumattoman ulkolämpötiloihin. Lämmitystarveluvun avulla erotus ulko- ja sisälämpötilan välillä on lähes suoraan verrannollinen rakennuksen energian kulutukseen (Ilmatieteenlaitos 2020). Käyttöveden kulutus ei riipu ulkolämpötilasta, joten käyttövesi lisätään erikseen normeeraukseen. Asuinrakennuksissa käyttöveden kulutus on keskimäärin 40 % ja muissa rakennuksissa 30 % konaiskulutuksesta. (Motiva 2016.)

Työssä käytettävässä datassa ei ollut tietoa rakennuksen käyttöveden kulutuksesta, joten käytettiin käyttöveden oletusarvoja. Normeeraukseen käytettävät kaavat löytyivät Motivan sivuilta. Normeeraukseen saman paikkakunnan eri rakennusten kulutuksen vertailuun käytettiin kaavaa 1. Kaavaan 1 lisättiin toteutunut energiankulutus kaavasta 3 ja lämpimän kiertoveden laskukaava 4. Korjauskerroin  $k_1$  saatiin Ilmatieteenlaitoksen sivuilta. Yksittäisen rakennuksen normeerattu kulutus voitiin laskea kaavasta 2, jotta pystyttiin

vertailemaan samaa rakennusta eri vuosilta. Korjauskerrointa Jyväskylään k<sub>2</sub> käytettiin, kun haluttiin vertailla eri puolella Suomea sijaitsevien rakennusten kulutuksia.

$$Q_{norm} = k_1 * \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} * Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (1)$$

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut \text{ vpkunta}}} * Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (2)$$

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok.} - Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (3)$$

$$Q_{\text{lämmin kiertovesi}} = Q_{kok} * X_{\text{käyttöveden oletusarvo}} \quad (4)$$

Tässä työssä käytettiin lämmitystarvelukuja Espoon Tapiolasta (liite 1). Muista lähteistä otettujen kulutusten lämmitystarveluvut olivat vertailukaudelta 1981–2010. Taulukosta 1 näkyy kaavojen selitteet ja arvot, joita käytettiin datan normeerauksessa.

Taulukko 1. Kaavan selitteet (Mukaillen Motiva 2016)

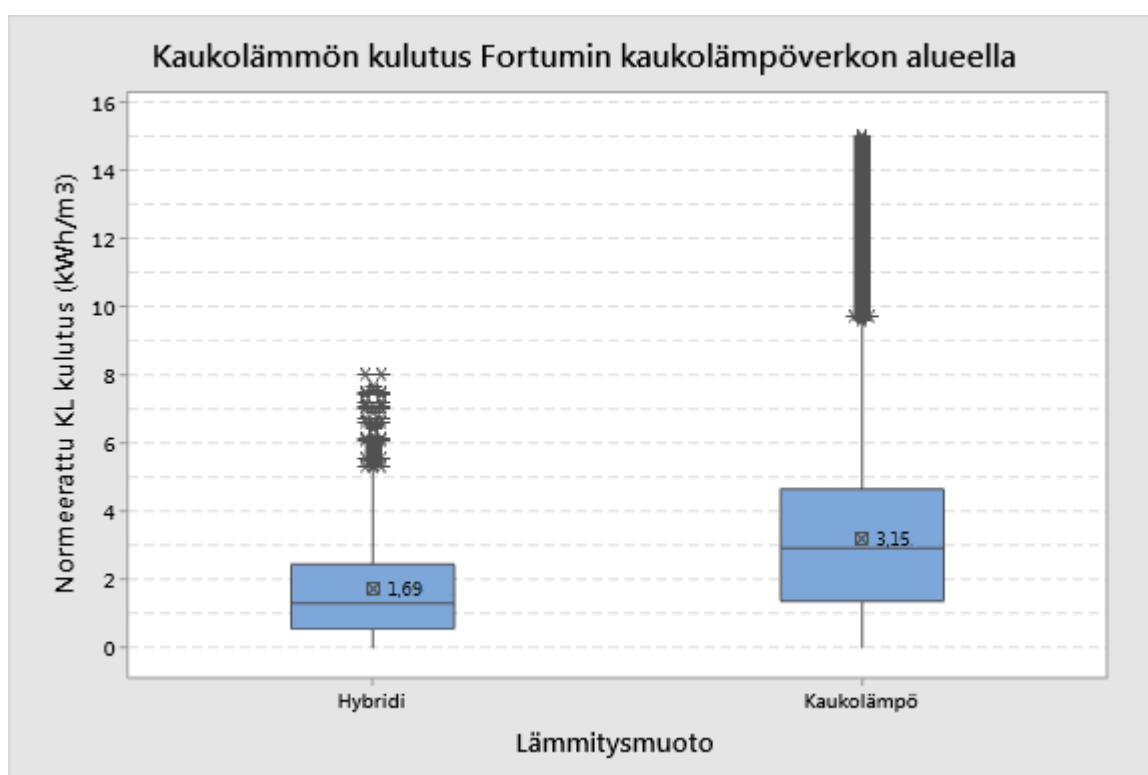
$Q_{norm}$	rakennuksen normeerattu lämmitysenergiankulutus
$k_x$	paikkakunta-kohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan
$k_1$	Espoon 0,96, Järvenpää ja Tuusula 0,98
$k_2$	Espoon 1,2, Järvenpää ja Tuusula 1,15
$S_N \text{ vpkunta}$	normaalivuoden tai- kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{toteutunut \text{ vpkunta}}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi tai- kk. tasolla vertailupaikkakunnalla
$Q_{kok}$	rakennuksen kokonaisenergian kulutus
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$	lämpimän käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia
$X_{\text{käyttöveden oletusarvo}}$	käyttöveden oletusarvo asuinrakennuksissa 0,4 ja muissa 0,3

Dataa rajattiin normeeratun ominaiskulutuksen mukaan välille 0–15 kWh/m<sup>3</sup>, jotta kuvioista saatiin luettavia. Dataa tarkasteltiin yleisesti viiden vuoden ajalta 2015–2019. Tarkastelussa käytettiin eri tietoja kuvaamaan normeerattua kaukolämmön ominaisenergiankulutusta kuvioissa. Kolmea hybridikohdetta tarkasteltiin tarkemmin ja pidemmältä aikaväliltä. Kohteista tarkasteltiin tuntikohtaista dataa ennen hybridijärjestelmän asennusta ja sen jälkeen. Lisäksi tarvittaessa kohteissa käytiin paikan päällä katsomassa lämmönjakokeskuksia.

## 7 DATAN ANALYSOINTI JA TULOKSET

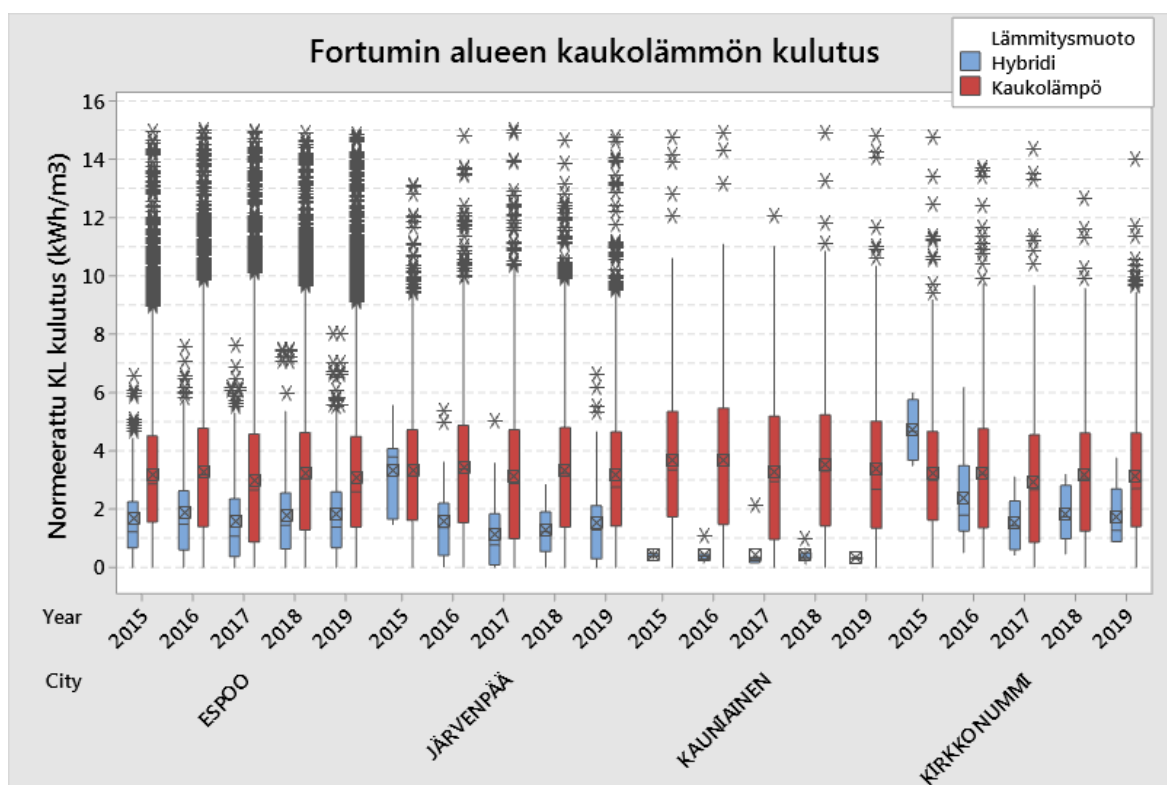
### 7.1 Datan analyysi Fortumin kaukolämpöverkon alueella

Hybridikohteiden kaukolämmön keskiarvokulutus oli 46 % pienempi kuin pelkästään kaukolämpöä käyttävien kohteiden kulutus Fortumin kaukolämpöverkon alueella vuosina 2015–2019. Kuviossa 1 värillisen palkin keskiviiva tarkoittaa mediaania eli datan keskimäistä arvoa. Mediaanin molemmilla puolilla palkissa on 25 % datapisteitä, yhteensä 50 % eli suurin osa datapisteistä muodostaa palkin. Häntä (engl. Whisker) ja \* -merkki kattavat palkin molemmilla puolilla 25 % datapisteistä. \*-merkit edustavat yksittäisiä datapisteitä. Datan lukemien keskiarvo on esitetty neliöllä, jonka sisällä on rasti. (Minitab 2020.)



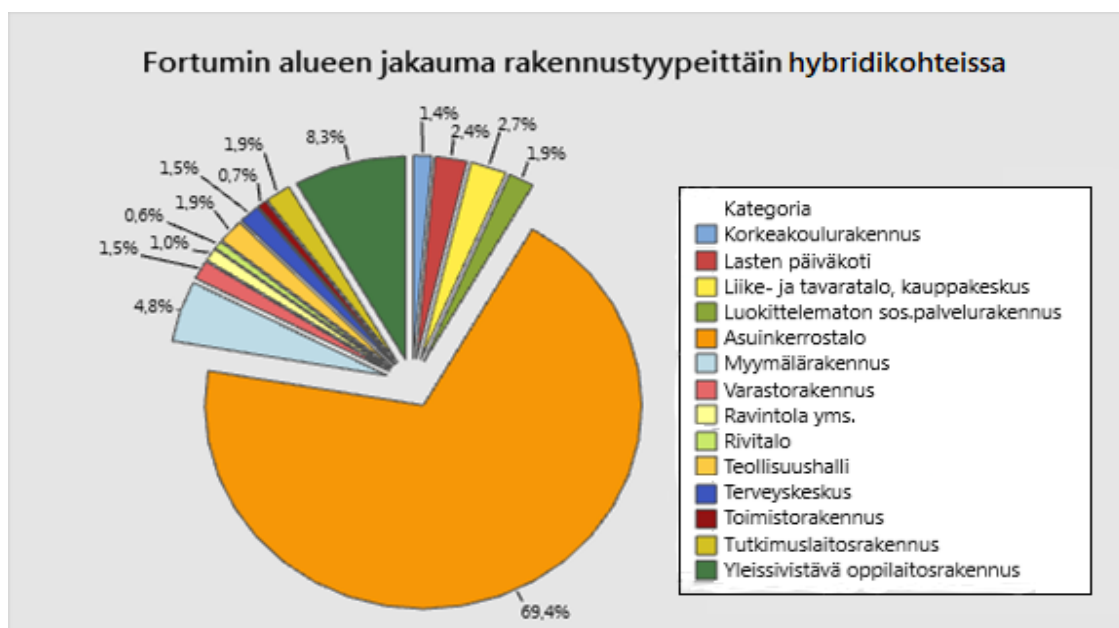
Kuvio 1. Kaukolämmön kulutus Fortumin kaukolämpöverkon alueella

Kuviosta 2 nähdään, että Espoossa kaukolämmön kulutus oli viiden vuoden ajan tasaista. Espoossa oli eniten datapisteitä, siksi työssä keskitytään Espoon alueeseen. Järvenpään, Kirkkonummen ja Espoon välillä ei ollut huomattavan suuria eroja keskimääräisessä kulutuksessa kolmena viimeisimpänä vuotena. Kauniaisissa oli datapisteitä liian vähän, joten aluetta ei voitu verrata muihin alueisiin. Pelkästään kaukolämpöä käyttävien kohteiden kulutus ei eronnut alueellisesti. Espoossa oli paljon suuria kuluttajia ja näin ollen enemmän datapisteitä, jolloin yksittäisiä pisteitä oli enemmän kuin muissa alueissa.



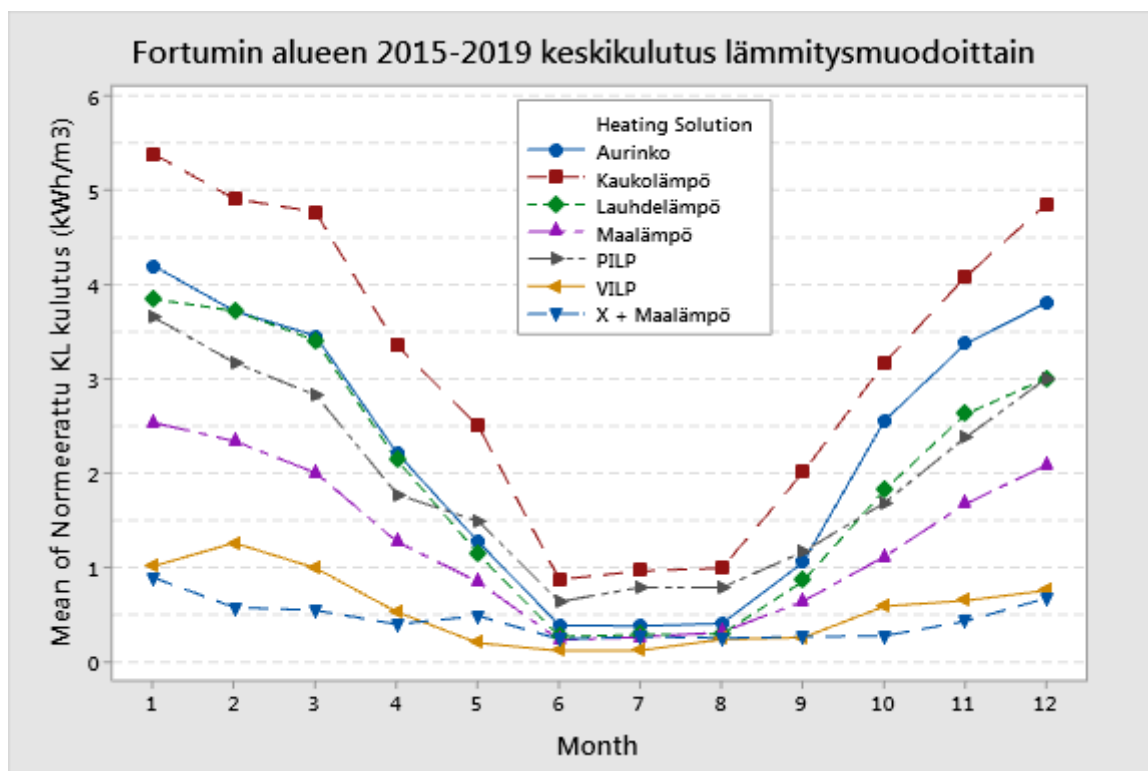
Kuvio 2. Kaukolämmön kulutus Fortumin kaukolämpöverkon alueella

Kuviosta 3 nähdään työssä käytettävien hybridikohteiden datan jakautuminen rakennustyypeittäin Fortumin kaukolämpöverkon alueella. Noin 70 % hybridikohteiden rakennuksista oli asuinkerrostaloja, toiseksi yleisin rakennustyyppi oli yleissivistävät oppilaitokset. Kolmanneksi yleisin oli myymälärakennus 4,8 %. Liike- ja tavaratalo, kauppakeskus olivat 2,7 % ja lasten päiväkoti 2,4 %. Muita rakennustyppejä oli alle 2 %.



Kuvio 3. Fortumin alueen jakauma rakennustyypeittäin

Fortumin kaukolämpöverkon alueen keskikulutus viiden vuoden ajalta nähdään kuviosta 4. Rakennusten lämmitysmuodon ja normeeratun ominaiskulutuksen keskiarvo muodosti kulutuskäyrän vuoden jokaiselta kuukaudelta. Pelkästään kaukolämpöä käyttävien kohteiden kaukolämmön keskikulutus vuosina 2015–2019 oli suurin vuoden jokaisen kuukauden aikana verrattuna hybridikohteisiin. Lämmityskaudella lokakuusta huhtikuuhun pelkällä kaukolämmöllä lämmitettävät rakennukset kuluttivat yli 3,2 kWh/m<sup>3</sup>. Aurinko- ja lauhdelämpöjärjestelmä sekä PILP-järjestelmä tarvitsivat talvella eniten kaukolämpöä muihin hybridikohteisiin verrattuna. Aurinko- ja lauhdelämpöjärjestelmien kulutus pieneni kesäkuukausina kesä–elokuussa PILP-järjestelmää alemmaksi. Maalämpöjärjestelmä kulutti talvisin yli 1 kWh/m<sup>3</sup> vähemmän kaukolämpöä kuin aurinko- ja lauhdelämpöjärjestelmät. Kaukolämmön kulutus maalämpöjärjestelmän kanssa pieneni kesäksi samalle tasolle aurinko- ja lauhdelämmön kanssa. Maalämmön ja kaukolämmön kanssa oleva kolmas lämmönlähde (X + maalämpö) käytti keskimääräisesti kaukolämpöä alle 1 kWh/m<sup>3</sup>. Vähällä kulutuksella ympäri vuoden oli myös VILP-järjestelmä. Kolmen lämmönlähteen järjestelmät (X + maalämpö) oli laitettu tuloksissa yhteen, jotta datamäärä kasvaisi ja anonyymi-kohteet eivät erottuisi joukosta. Analyysissä huomattiin, että kaukolämmön kulutuksen määrään vaikutti se, montako lämmönlähdettä oli kytketty yhteen.

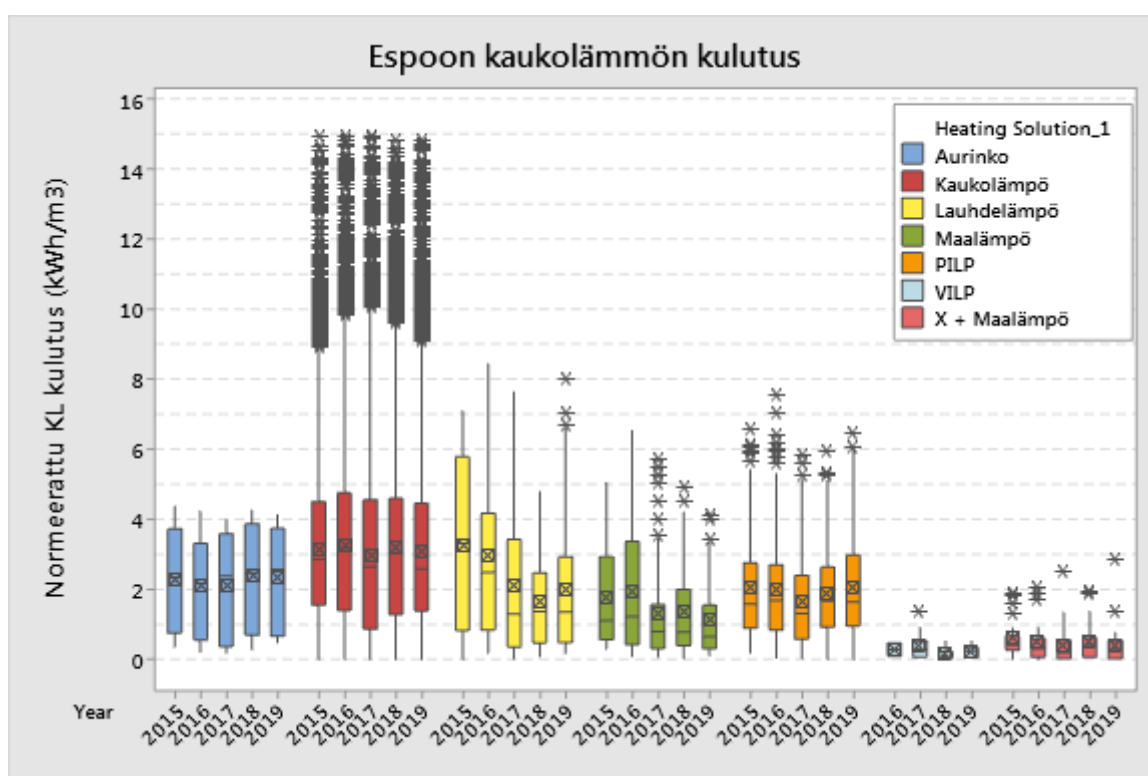


Kuvio 4. Fortumin alueen 2015–2019 keskikulutus lämmitysmuodoittain.



## 7.2 Datan analyysi Espoon alueella

Espoon alueen hybridikohteiden ja pelkästään kaukolämpöä käyttävien kohteiden ominaiskulutuksen keskiarvojen ero oli alle 1 % verrattuna Fortumin kaukolämpöverkon hybridikohteiden kulutuksen eroon vuosina 2015–2019. Espoon kaukolämmön kulutus hybridikohteissa näkyy kuviossa 5. Hybridikohteet jaoteltiin hybridimalleittain ja kuviosta nähdään jokaisen vuoden kulutukset. VILP ja kolmen lämmönlähteen järjestelmä (X + maalämpö) käyttivät vähiten kaukolämpöä viitenä vuotena. Kolmen lämmönlähteen järjestelmässä oli yksittäisiä datapisteitä 2 kWh/m<sup>3</sup> yläpuolella, mikä tarkoittaa, että kulutus voi välillä nousta suuremmaksi. Lauhdelämmön ja maalämmön kulutus oli vähentynyt vuosien aikana. Lauhdelämmössä osa kohteista kulutti yli 7 kWh/m<sup>3</sup>, poikkeuksena oli vuosi 2018. Maalämpö rinnakkaislämmönlähteenä kiinteistöissä oli vähentänyt kaukolämmön kulutusta kolmena peräkkäisenä vuotena 2017–2019. Näiden kiinteistöjen kaukolämmön kulutuksessa yksittäiset datapisteet olivat vähentyneet ja viitenä vuotena kulutuksen keskiarvo oli pysynyt alle 2 kWh/m<sup>3</sup>.



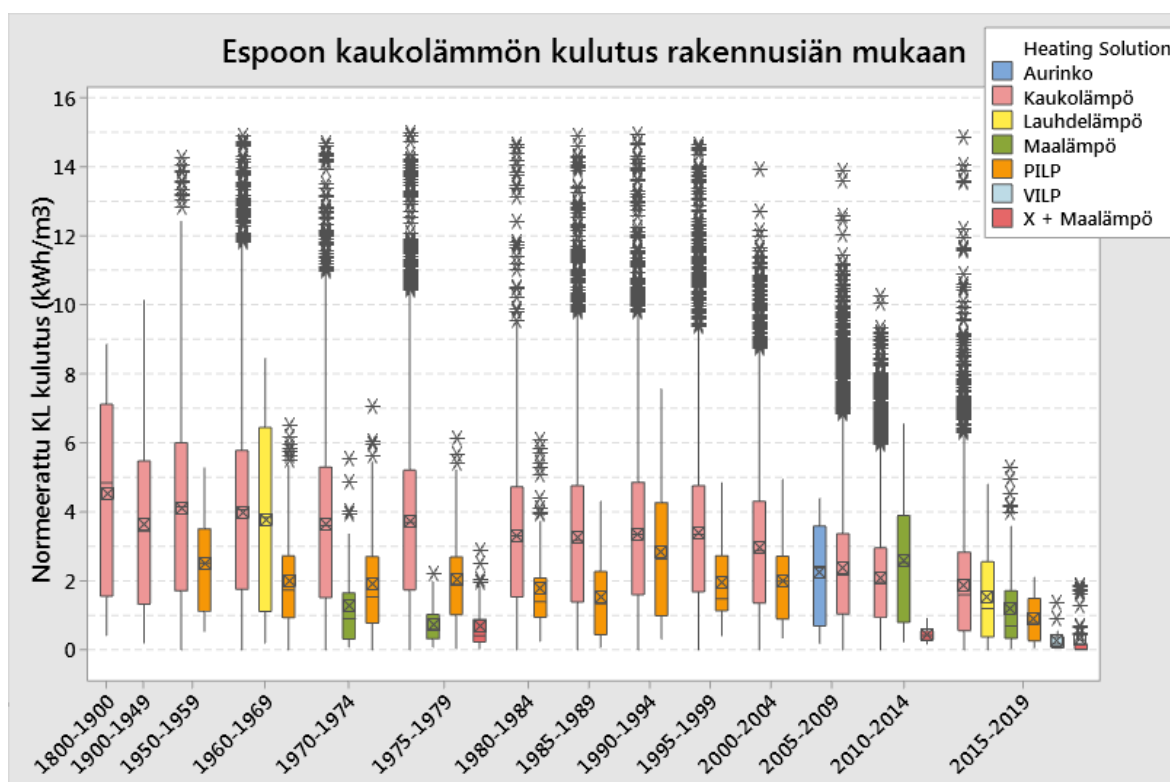
Kuvio 5. Espoon kaukolämmön kulutus

Työssä tarkasteltiin, vaikuttaako Espoossa kaukolämmön kulutuksen suuruuteen hybridikohteissa rakennustyyppi tai rakennusikä. Luokittelua tehdessä huomattiin, että suurimassa osassa rakennustypeistä oli vain yksi tai kaksi kohdetta, joissa oli eri järjestelmät

kaukolämmön kanssa. Datapisteitä ja kohteita oli niin vähän, ettei rakennustyyppien vaikutuksesta kaukolämmön kulutukseen voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä.

Rakennuksen valmistumisvuoden vaikutusta kaukolämmön kulutukseen tarkastellaan kuviossa 6, josta nähdään, millainen kaukolämmön kulutus oli vanhemmissa ja uudemmissa rakennuksissa Espoon kaukolämpöverkon alueella. Pelkästään kaukolämpöä käyttävien kohteiden kulutus pieneni uudemmissa rakennuksissa. Kulutuksen pienenemiseen voi vaikuttaa lämmitystilavuus sekä rakennuksen kuntotaso ja lämmönjakokeskuksen ikä, sillä mitä uudempi ja energiatehokkaampi rakennus oli, sitä vähemmän hukkalämpöä syntyi.

Hybridikohteista voitiin päätellä, että PILP-järjestelmä rinnakkaislämpönä vähensi kaukolämmön kulutusta. Kulutus oli suurimmillaan vuosina 1950–1959 ja 1990–1994 rakennetuissa rakennuksissa. Kulutuksen ero 1990-luvun rakennuksissa ja 1970–1980-luvun rakennuksissa voi johtua siitä, että lämmönjakokeskuksen laitteistot olivat käyttöikänsä päässä. 1950-luvun rakennuksissa rakennuksen eristys ja kunto voi olla jo huono, jolloin lämmitystä tarvitaan enemmän, vaikka PILP-järjestelmä olisikin käytössä. 1950-luvun rakennuksissa kulutuksen ero pelkästään kaukolämpölämmitteiseen rakennukseen oli pieni. Syy eron pienuuteen voi olla myös toisen lämpöjärjestelmän toimimattomuus.



Kuvio 6. Espoon kaukolämmön kulutus rakennusiän mukaan

Aurinkojärjestelmällä kaukolämmön kesikikulutus oli vähän pienempi verrattuna saman ikäluokan kohteisiin. Kaukolämmön kulutus minimissään oli 0,19 KWh/m³, kun taas

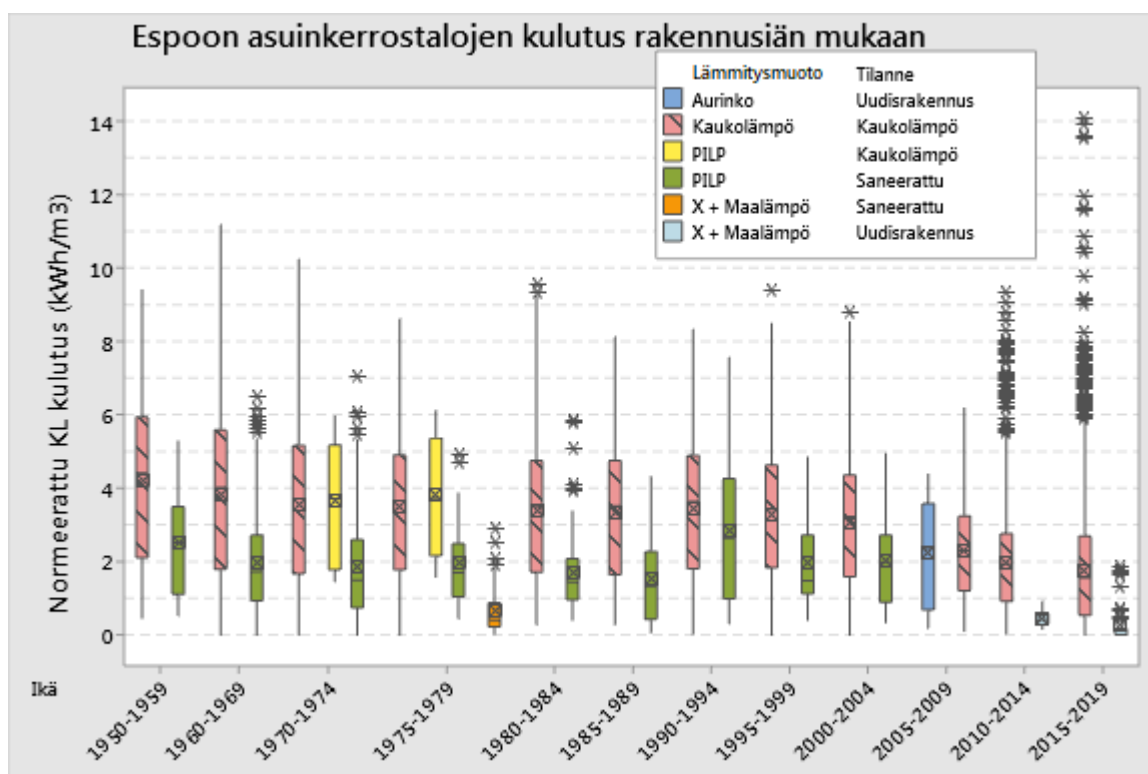
joissakin järjestelmissä se oli vielä alempi. Aurinkojärjestelmää käyttäviä kohteita oli vain yksi, joten tämä tulos on vasta suuntaa antavaa tietoa vaikutuksesta kulutukseen.

Rakennukset, jotka oli rakennettu 2015–2019 käyttivät huomattavasti vähemmän kaukolämpöä kuin vanhemmat kohteet. Hybridijärjestelmien ja vertailussa olevien kohteiden palkit olivat alle 3 kWh/m<sup>3</sup>. Lisäksi hybridikohteiden hännät PILP-, VILP-järjestelmissä sekä kolmen lämmitysmuodon järjestelmässä olivat alle 2 kWh/m<sup>3</sup> ja lauhdelämpöjärjestelmän häntä oli alle 5 kWh/m<sup>3</sup>. Yksittäisiä datapisteitä oli maalämpöä ja kaukolämpöä käyttävässä hybridikohteessa. Tulokset rakennusiän vaikutuksesta hybridikohteen kulutukseen olivat vasta suuntaa antavia. Hybridijärjestelmä voi myös vaikuttaa rakennuksen kulutukseen.

### 7.3 Datan analyysi Espoon asuinkerrostaloissa

Tässä luvussa tarkastellaan Espoon kaukolämpöverkon alueen asuinkerrostalojen kaukolämmön kulutusta. Espoossa oli kaukolämmössä paljon asuinkerrostaloja, jotka käyttivät PILP-hybridijärjestelmää. Muita hybridijärjestelmiä oli vähemmän, esimerkiksi pelkästään maalämpö- ja kaukolämpöyhdistelmä oli vain julkisissa rakennuksissa tai teollisuusrakennuksissa. Tulosten perusteella, rakennusten ikä ei vaikuttanut suuresti hybridikohteen kaukolämmön kulutukseen ja hybridijärjestelmämalli mahdollisesti vaikutti kulutukseen. Espoon asuinkerrostalojen kaukolämmön kulutus rakennusiän mukaan on esitetty kuviossa 7. PILP-kohteet pienensivät kaukolämmön kulutusta 30–60 % ja kulutus vaihteli rakentamisvuosien välillä. Yksittäiset datapisteet ja pitkät hännät kuviossa 7 näyttävät, että PILP-järjestelmät voivat kuluttaa kaukolämpöä paljonkin. Saneerauskohteissa kulutuksen pieneneminen näkyi hyvin vuosina 1970–1974 rakennetuissa rakennuksissa. Ennen hybridijärjestelmää kaukolämmön kulutuksen keskiarvo oli 3,6 kWh/m<sup>3</sup>, se nähdään neliön sisällä olevasta ympyrästä ja rastista. Keskiarvo oli hieman korkeammalla kuin vertailukaukolämpöä käyttävien kohteiden kulutuksen keskiarvo. PILP-järjestelmän asennuksen jälkeen keskiarvo oli 1,8 kWh/m<sup>3</sup>, jolloin keskiarvojen ero oli 50 %. Datapisteitä oli PILP-järjestelmässä 6,0 kWh/m<sup>3</sup> kohdilla, mikä voisi kertoa PILP-järjestelmän toimimattomuudesta tai suuremmasta lämmöntarpeesta.

Kolmen lämmönlähteen järjestelmä (X + Maalämpö) pienensi kaukolämmön kulutusta yli 80 %. Vuosina 1975–1979 rakennetuissa pelkästään kaukolämpölämmityksessä olevissa kiinteistöissä keskiarvokulutus oli 3,8 kWh/m<sup>3</sup> ja kolmen lämmitysmuodon kiinteistöissä kaukolämmön kulutus oli 0,5 kWh/m<sup>3</sup>. Pelkällä PILP-järjestelmällä kaukolämmön keskikulutus oli 2,2 kWh/m<sup>3</sup>.



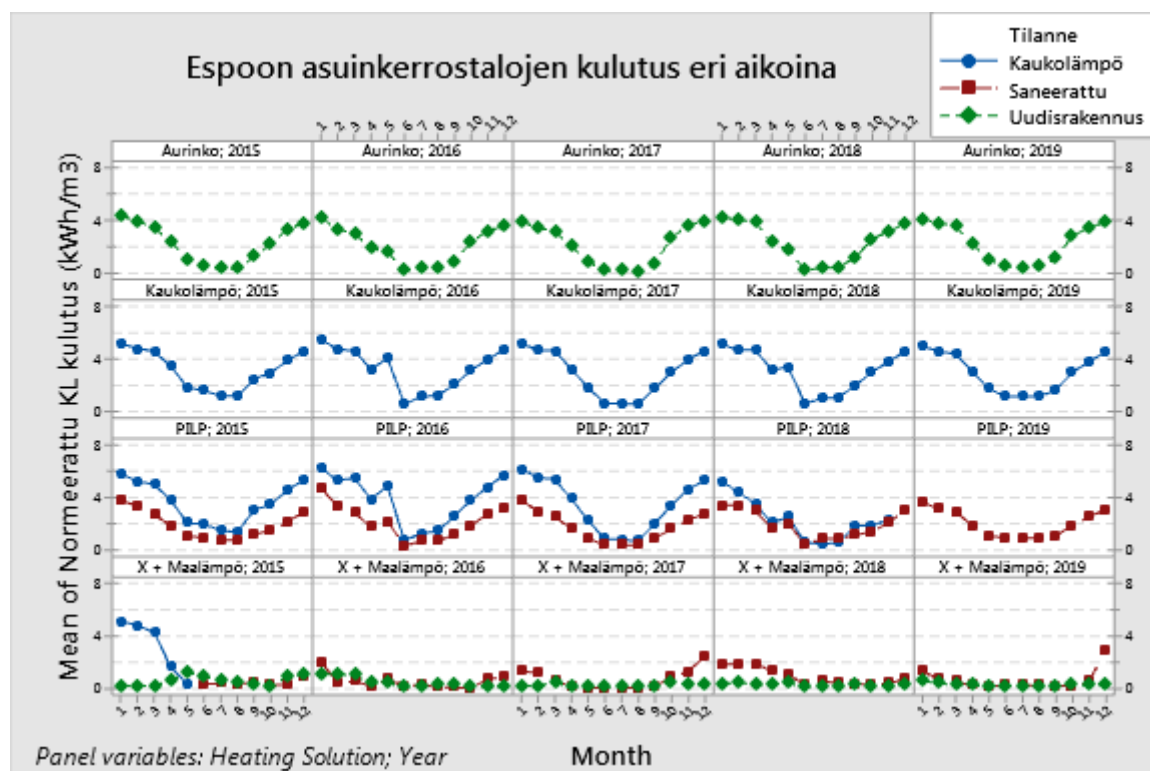
Kuvio 7. Espoon asuinkerrostalojen kulutus rakennusiän mukaan.

Kaukolämmön kulutus vaihtelee lämmitystarpeen kasvaessa ja vähentyessä eri vuodenaikoina. Talvikuukausina lämmitystä tarvitaan paljon enemmän kuin kesällä. Kesällä kaukolämpöä tarvitaan pääasiassa ainoastaan käyttöveden lämmittämiseen. Hybridikohteissa kesällä käyttövedettä voidaan lämmittää muilla lämmitysmuodoilla, jolloin kaukolämpöä ei tarvita välttämättä ollenkaan. Kaukolämpöä on kuitenkin käytettävä, koska virtausta tarvitaan kaukolämpöputkissa ja rinnakkaislämmönlähteet eivät pääse välttämättä oikeisiin lämpötiloihin.

Kuviossa 8 kaukolämpöjärjestelmä esitetään sinisellä viivalla. Käyrät ovat normeeratun kulutuksen keskiarvoja vuosilta 2015–2019. Ylimpänä on rinnakkaislämmönlähteenä aurinkolämpöjärjestelmä, joka kulutti talvella melkein yhtä paljon kuin pelkät kaukolämpölämmitteiset kohteet. Auringon paistaessa loppukeväällä, kesällä ja alkusyksyllä kaukolämmön tarve oli hyvin vähäinen. Käyrä oli jokaisena vuonna tasainen ja ylimääräisiä liikkeitä ylös tai alas ei ole käyrästä havaittavissa. Aurinkojärjestelmä toimi luultavammin halutulla tavalla, koska se pienensi kaukolämmön kulutusta kesäisin ja sillä oli muutenkin tasainen kulutus.

Kuviossa 8 PILP-kulutuskäyrästä nähdään kaukolämmön kulutus ennen hybridijärjestelmän asennusta ja asennuksen jälkeen sekä vanhempien saneerauskohteiden kulutus. PILP-järjestelmä tasoitti kaukolämmön keskikulutuskäyrää. Kulutuksen piikkejä ilmeni PILP-kohteissa, kuten myös pelkästään kaukolämpöä käyttävissä kohteissa. Käyrässä ei

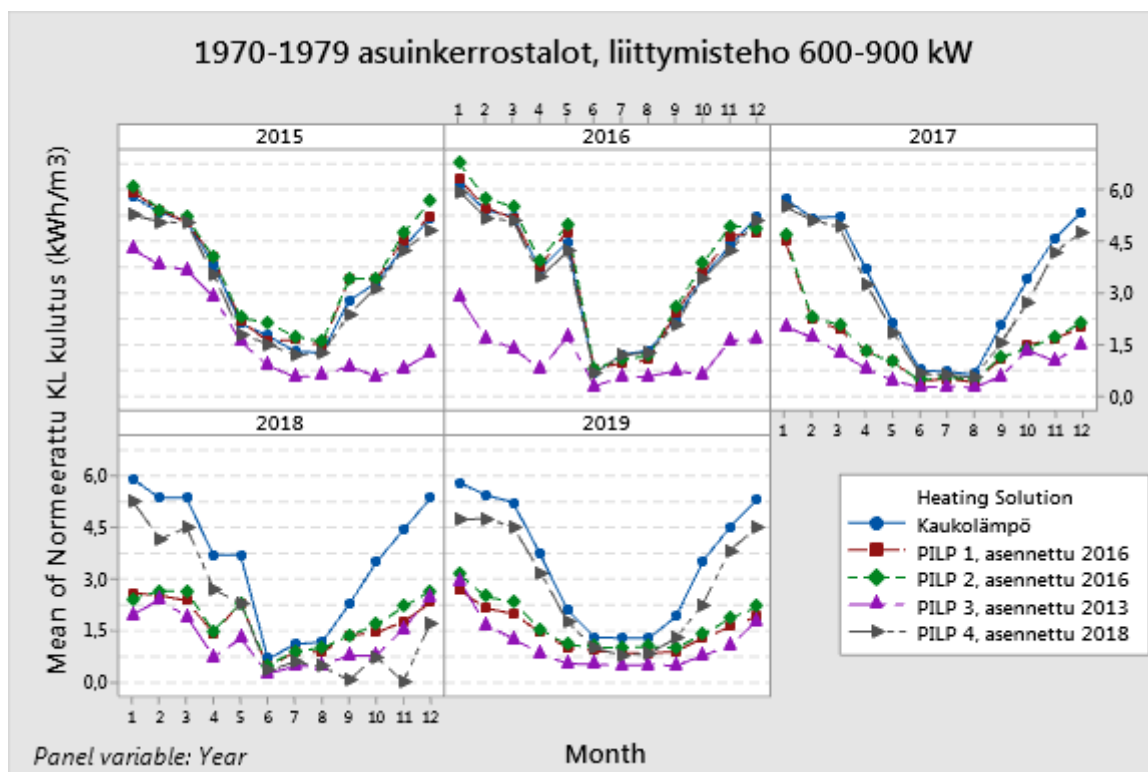
ollut yhtä vahvoja muutoksia kuin kaukolämmön vertailukäyrässä. Kolmen lämmitysmuodon kohteissa (X + maalämpö) nähdään, miten kaukolämmön kulutus pieneni erittäin alhaiseksi. Uudisrakennuksen kulutus ei kasvanut yli 1 kWh/m<sup>3</sup>. Saneeratussa kohteessa hybridijärjestelmä asennettiin vuonna 2015 ja kohteen kaukolämmön kulutus kasvoi välillä talvisin. Lisäksi vuoden 2019 lopussa kaukolämmön kulutus saneeratussa kolmen lämmönlähteen kohteessa kasvoi muuhun kulutukseen verrattuna paljon. Syy kulutuksen kasvuun voi olla se, että jokin lämmönlähteiden laitteista oli rikki tai poissa käytöstä, jolloin kaukolämpö antoi tarvittavan lämpöenergian.



Kuvio 8. Espoon asuinkerrostalojen kulutus eri aikoina

Seuraavaksi tarkastellaan lähemmin PILP-kohteiden kaukolämmön kulutusta. Tutkittaviksi otettiin 1970–1979 valmiiksi tulleet ja liittymisteholtaan 600–900 kW olleet PILP-kohteet. Kuviossa 9 on neljä PILP-järjestelmällä toimivaa asuinkerrostaloa sekä samoilla tiedoilla olevat vertailukohteet. PILP 1 ja PILP 2 saneeraukset ja hybridijärjestelmien asennus tehtiin vuoden 2016 syksyllä. Järjestelmät alkoivat pienentää kaukolämmön kulutusta vuoden 2017 alussa. Näiden kohteiden kulutus muuttui samalle tasolle kuin PILP 3:ssa, jonka järjestelmä oli jo vuonna 2013 asennettu kaukolämpölaitteiston saneerauksen yhteydessä. PILP 3 kulutti kaukolämpöä vuoden 2015 alussa yli 3 kWh/m<sup>3</sup>, minkä jälkeen kohde pysyi alle lukeman. Viimeisen tarkasteluun otetun kohteen PILP-järjestelmä oli asennettu vuoden 2018 puolessa välissä. Vuoden 2018 PILP 4 kulutti alle 1,7 kWh/m<sup>3</sup> kesän jälkeen ja kulutus oli nollassa syyskuussa ja marraskuussa. PILP 4:n kaukolämmön kulutus kasvoi

lähelle vertailukohteiden kulutusta vuonna 2019. Kaukolämmön kulutus oli noin 20 % alle vertailukohteiden kulutuskäyrää, joten PILP 4 hybridijärjestelmä ei välttämättä toiminut tarkasteluaikana kunnolla, koska siinä käytettiin kaukolämpöä paljon muihin PILP-kohteisiin verrattuna.



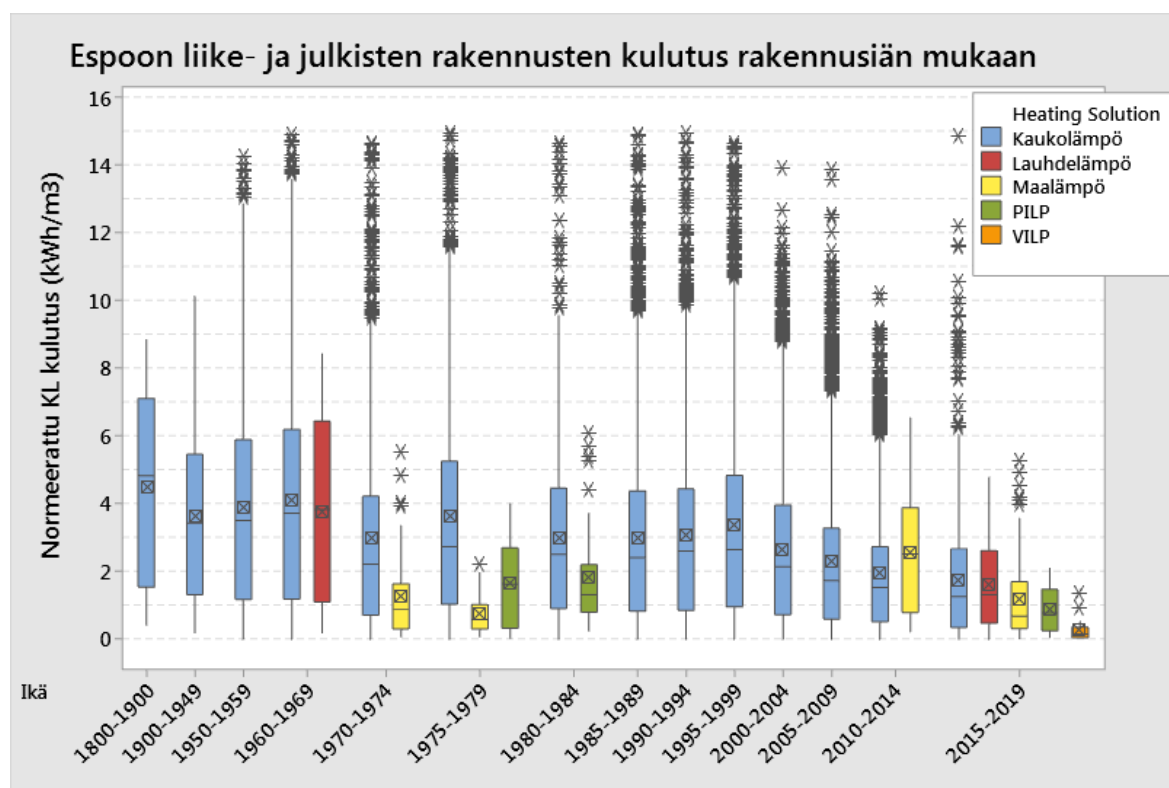
Kuvio 9. 1970-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen kaukolämmön kulutus

Jokainen tarkasteltu kohde vähensi kaukolämmön kulutusta, kun kohteeseen asennettiin PILP-järjestelmä. Asuinkerrostalojen kulutuksessa esiintyi eroavaisuuksia jokaiselta vuodelta, mutta kohteet pysyivät muuten lähellä toisiaan. Eroavaisuudet voivat johtua asuintojen määrästä, asukkaiden tavoista käyttää lämmintä vettä tai kaukolämpö ja PILP-laitteistoista.

#### 7.4 Datat analyysi Espoon muissa rakennuksissa

Kaukolämmön kulutus teollisuus-, liike- ja julkisissa rakennuksissa oli erilainen kuin asuinkerrostalorakennuksissa (kuvio 10). Rakennuksissa, joiden käyttö rajoittuu yleensä arkipäiville, lämmityksen ja käyttöveden säätely voi olla suurempaa kuin asuinrakennuksissa. Hybridijärjestelmät jakautuivat Espoon alueella vuosina 1960–1984 ja 2010–2019 valmistuneisiin rakennuksiin. Espoon alueella teollisuus-, liike- ja julkisissa rakennuksissa käytettiin rinnakkaislämmönlähteenä lauhdelämpöä, PILP- ja VILP-järjestelmiä sekä maalämpöä. Lauhdelämpöä käytettiin vanhemmissa ja uudemmissa rakennuksissa. Lauhdelämmön keskikulutus ei saneerauskohteessa pienentynyt huomattavasti ennen

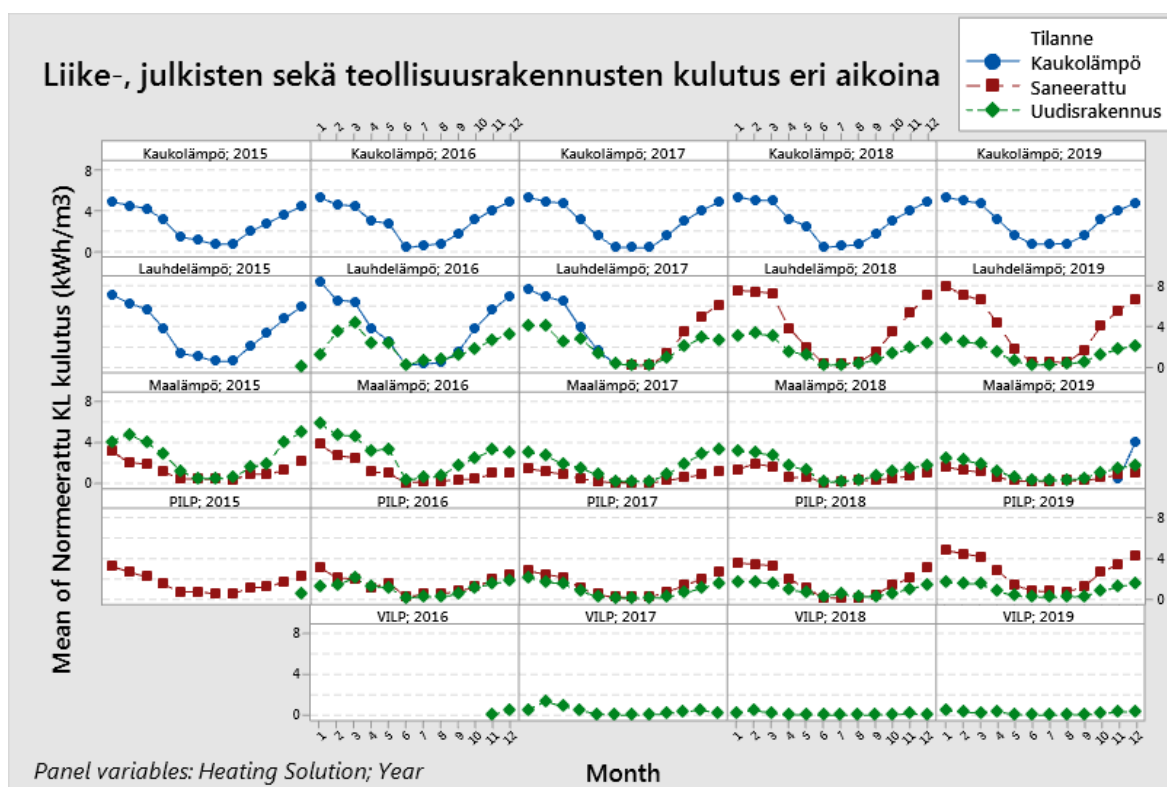
hybridijärjestelmän asennusta. Ennen asennusta kesikikulutusta oli 4,2 kWh/m<sup>3</sup> ja asennuksen jälkeen 3,7 kWh/m<sup>3</sup>. Kulutuksen eroa oli vähemmän uudiskohteen 1,6 kWh/m<sup>3</sup> ja vertailukohteiden 1,7 kWh/m<sup>3</sup> välillä.



Kuvio 10. Espoon liike- ja julkisten rakennusten kulutus rakennusiän mukaan

Kuviossa 11 esitetään hybridimallittain kaukolämmön kulutusta kuukausittain viiden vuoden ajalta. Lauhdelämpö rinnakkaislämpönä uudisrakennuksessa toimi kunnolla ja talvikausina kulutus ei noussut juurikaan yli 4 kWh/m<sup>3</sup>. Saneerauskohde puolestaan kulutti kaukolämpöä talvikuukausina enemmän kuin vertailuryhmän kaukolämmöt keskimääräisesti, eikä kulutus muuttunut huomattavasti hybridiasennuksen jälkeen.

Maalämpöjärjestelmän saneeraus- ja uudiskohteiden kulutukset olivat tasaantuneet vuoden 2017 jälkeen. Suuria piikkejä talvella ei ollut, mutta uudisrakennukset kuluttivat enemmän kaukolämpöä kuin saneeratut kohteet. Lyhyeksi jäänyt sininen kaukolämmön käyrä vuoden 2019 lopussa on uudiskohteen rakennusaikainen kaukolämpö. VILP-järjestelmällä olevia kohteita oli Espoossa yksi kohde, jossa järjestelmän kaukolämmön kulutus oli erittäin vähäistä. Kohteita pitäisi olla enemmän, jotta kaukolämmön kulutuksen suurta muutosta voitaisiin sanoa VILP-järjestelmän ominaisuudeksi.



Kuvio 11. Liike-, julkisten sekä teollisuusrakennusten kulutus eri aikoina

Liike-, julkisten sekä teollisuusrakennusten kaukolämmön kulutuksessa oli eroja tarkastelujaksolla. Joinakin vuosina saneeratuiden tai uudiskohteiden kulutuksessa ei ollut eroja, mutta välillä eri hybridijärjestelmissä kulutuksen suuruus vaihteli saneeratuissa ja uudisrakennuksissa.

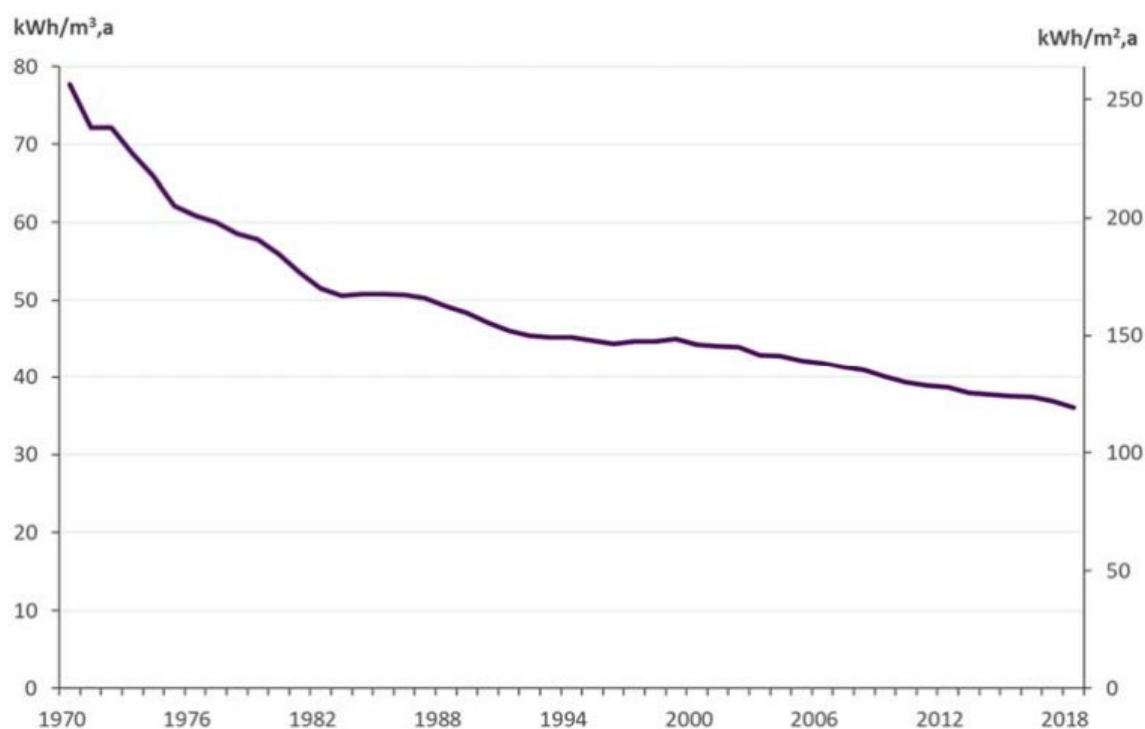
## 7.5 Kolmen hybridikohteen tarkempi analyysi

Tässä luvussa tarkastellaan kolmea hybridikohdetta tarkemmin. Kahdessa asuinkerrostalossa käytettiin kaukolämmön lisäksi PILP-järjestelmää ja yhdessä oppilaitosrakennuksessa maalämpöjärjestelmää. Edellisistä luvuista saatiin yleistä tietoa hybridikohteiden kulutuksesta. Kolmesta kohteesta tutkittiin kaukolämmön ominaisenergian keskikulutusta ja kaukolämpömittareista tunneittain saatua dataa noin kymmenen vuoden tarkasteluajalta sekä yhdeltä viikolta (viikko 49 vuodelta 2019), minkä lisäksi tarkasteltiin kohteiden kaukolämmön meno- ja paluulämpötiloja. Lämpötilojen erotuksesta saatiin selville jäähtymä, jolla seurattiin lämmönjakokeskuksen toimintaa. Tuntisen datan tarkastelussa täytyi muistaa, että tilavuusvesivirran ja energiankulutuksen suuruuteen vaikutti rakennuksen lämmitystarve, käyttäjien vuorokausirytmä ja ulkolämpötila.

Etelä-Suomessa 1960–1980-luvuilla rakennetuissa asuinkerrostaloissa lämmitysenergian kulutus on esitetty lämpöindeksin avulla ja se on ollut yleisesti 45–65 kilowattituntia



rakennuskuutiometriä kohden vuodessa ( $\text{kWh}/\text{m}^3/\text{v}$ ), 1990–2000-luvuilla rakennettujen asuinkerrostalojen lämpöindeksi on ollut tasaisesti 40–50  $\text{kWh}/\text{m}^3/\text{v}$ , minkä jälkeen se pieneni vielä alemmaksi. Lisäksi kulutus on ollut noin 10–15 % suurempi Keski-Suomessa ja Pohjois-Suomessa noin 25–30 % suurempi. (Pylsy & Virta 2011, 20–21.) Kuvassa 15 esitetään kaukolämpölämmitteisten asuntojen ominaisenergiankulutus koko Suomessa. Vuonna 2018 normeerattu ominaisenergiankulutus on ollut 36,2  $\text{kWh}/\text{m}^3$ , joka sisältää lämpimän käyttöveden tuotannon. Muutosta edelliseen vuoteen on ollut 2 % ja vuosittu-  
hannen alusta 18 %. Kuvassa 15 käytetään vertailukautena vuosien 1981–2010 keskiarvoja. Vuosi 2018 on ollut lämpimämpi kuin vertailukausi, joten lämmitystarveluku on ollut silloin 8 % pienempi. (Energiateollisuus 2019, 7) Työssä oletettiin, että käyrässä käytetty data on kaikista Suomen kaukolämpölämmitteisistä asuinrakennustyypeistä. Työn kohteiden tarkastelussa katsottiin, kuinka paljon hybridikohteilla oli eroa Energiateollisuus ry:n käyrään ja Taloyhtiön energiakirjan lämmitysindeksin lukuihin.



Kuva 15. Vuoden 1970–2018 kaukolämpölämmitteisten asuntojen ominaisenergiankulutus (Energiateollisuus 2019, 7)

Asuinkerrostaloissa hybridikohteita oli paljon enemmän kuin muissa rakennuksissa. PILP-järjestelmää käytetään yleisemmin vanhemmissa rakennuksissa, joten tarkasteluun otettiin saneerattuja kohteita. Pelkästään maalämpöä ja kaukolämpöä käyttävää hybridijärjestelmää ei ole vielä asennettu Espoon kaukolämpöverkon alueella oleviin asuinkerrostaloihin, joten tarkasteluun otettiin oppilaitos.

### 7.5.1 Kohde 1: PILP-järjestelmä

Kohteessa 1 oli PILP-järjestelmä, joka oli kaukolämpölaitteiston saneerauksen yhteydessä asennettu syksyllä 2016. Valitun asuinkerrostalon ikä oli väliltä 1970–1974, rakennuksen lämmitystilavuus oli noin 22500 m<sup>3</sup> ja asuinkerrostalossa oli 90 asuntoa. Lämmönsiirtimet olivat vuosilta 2007, 2004 ja 1993. Rakennusiältään kohde 1 meni Taloyhtiön energiakirjassa olevaan vuosina 1960–1980 rakennettujen asuinkerrostalojen väliin, joiden lämpöindeksi on ollut 45–65 kilowattituntia rakennuskuutioita kohden vuodessa (kWh/m<sup>3</sup>/v).

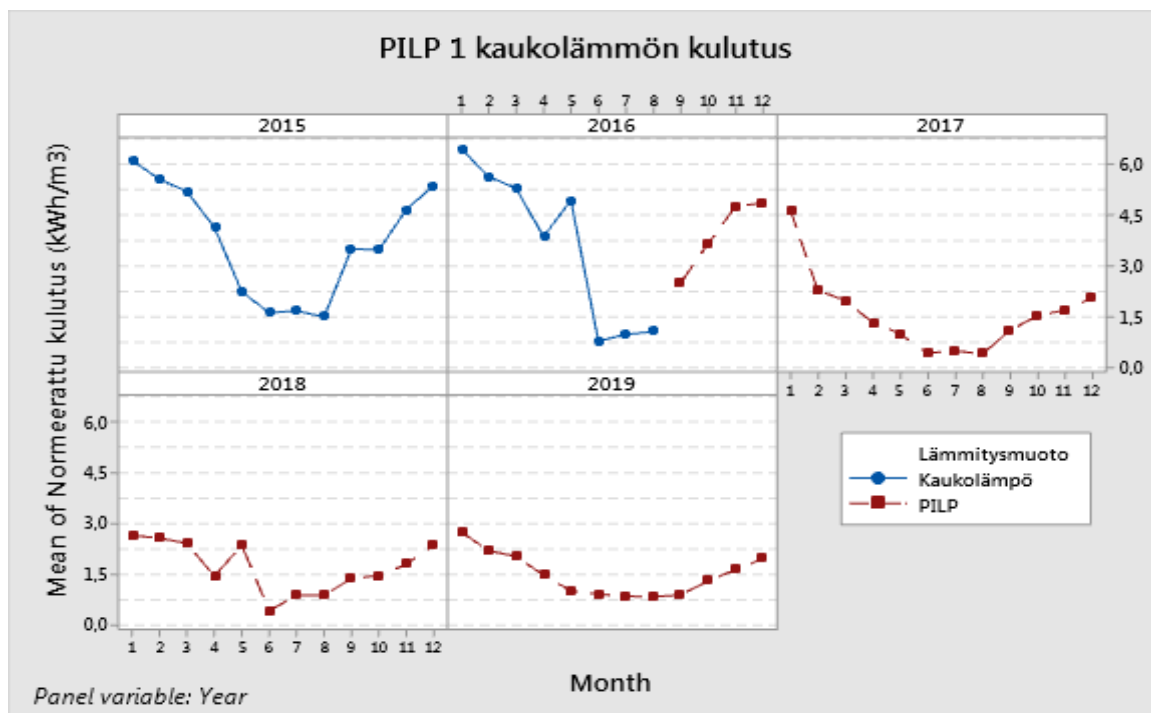
Kohde 1 oli kaukolämpökohde vuosien 2015 ja 2016 ajan ja sen ominaisenergiankulutus keskiluvultaan oli 44,79 kWh/m<sup>3</sup>/v (taulukko 2), kun käytettiin kaavaa 2. Kun vertailtiin Espoon muihin kohteisiin, käytettiin kaavaa 1 ja tulokseksi saatiin keskiarvoltaan 43,67 kWh/m<sup>3</sup>/v. Kohteen 1 kulutus asettui lämpöindeksin alarajan tuntumaan, mutta koko Suomen tarkastelussa se asettui keskelle. Koko Suomen vertailussa vertailupaikkakuntana on Jyväskylä, jolloin kulutus voi olla 10–15 % suurempi Etelä-Suomeen verrattuna. Näin ollen kohteen 1 tulos oli esimerkiksi vuonna 2015 lukemien 43,78–50,61 kWh/m<sup>3</sup>/v välissä. Kuvasta 15 huomataan 2015 ja 2016 vuosien kohdalla, että asuntojen kulutus oli alle 40 kWh/m<sup>3</sup>/v. Näiden perusteella voidaan sanoa, että ominaiskulutuksen määrä ennen hybridiasennusta oli oikealla asteikolla ja tällöin voidaan tarkastella, miten kulutus muuttui hybridikohteessa vuositasona. Kun tehtiin tarkastelu koko Suomen tasolla vuosina 2017–2019, jolloin kohteessa käytettiin hybridilämmitystä, keskiarvo oli 21,67 kWh/m<sup>3</sup>/v. Verrattaessa vuoden 2018 ominaiskulutusta kuvaan 15 oli kohteen 1 kulutus 35 % pienempi kuin keskiarvoisesti pelkästään kaukolämpölämmityksessä olevan asunnon kulutus.

Taulukko 2. Kohteen 1 ominaisenergiankulutus eri kaavoilla mitattuna.

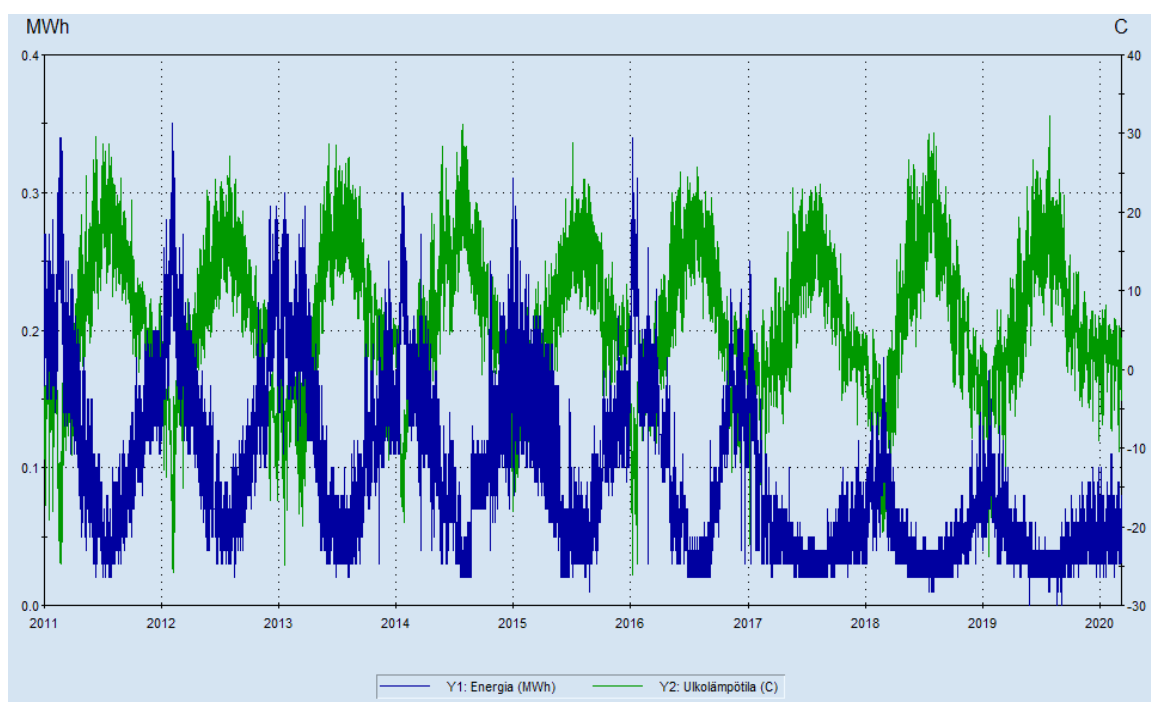
Vuosi	Yksittäin (kWh/m <sup>3</sup> /v)	Espoo (kWh/m <sup>3</sup> /v)	Koko Suomi (kWh/m <sup>3</sup> /v)
2015	44,92	43,78	50,61
2016	44,65	43,55	50,17
2017	18,93	18,50	21,10
2018	20,93	20,41	23,52
2019	18,19	17,75	20,40
Yht. ka.	19,35	18,89	21,67

Kuviosta 12 nähdään, että PILP-järjestelmä pienensi kaukolämmön kulutusta reilusti. Vuoden 2017 alun jälkeen hybridijärjestelmä alkoi toimia kunnolla, kaukolämmön kulutus oli tasaisesti alle 3 kilowattituntia rakennuskuutiota kohden (kWh/m<sup>3</sup>). Talvisin lämmitystarve

pysyi samana, mutta kaukolämmön kulutus pieneni PILP-järjestelmän asentamisen jälkeen. Tarkastelujakson aikana kesäkuukausissa ei ollut aina eroa. Kohteen 1 lämmityskulutuksen käyrät olivat tasaisia hybridiasennuksen jälkeen, lukuun ottamatta yhtä piikkiä toukokuussa 2018. Kuviossa 13 energiankulutuksen (MWh) tuntikohtaisesti dataa vuosilta 2011–2019. Kulutus esitetään sinisenä ja ulkolämpötila (°C) vihreänä.



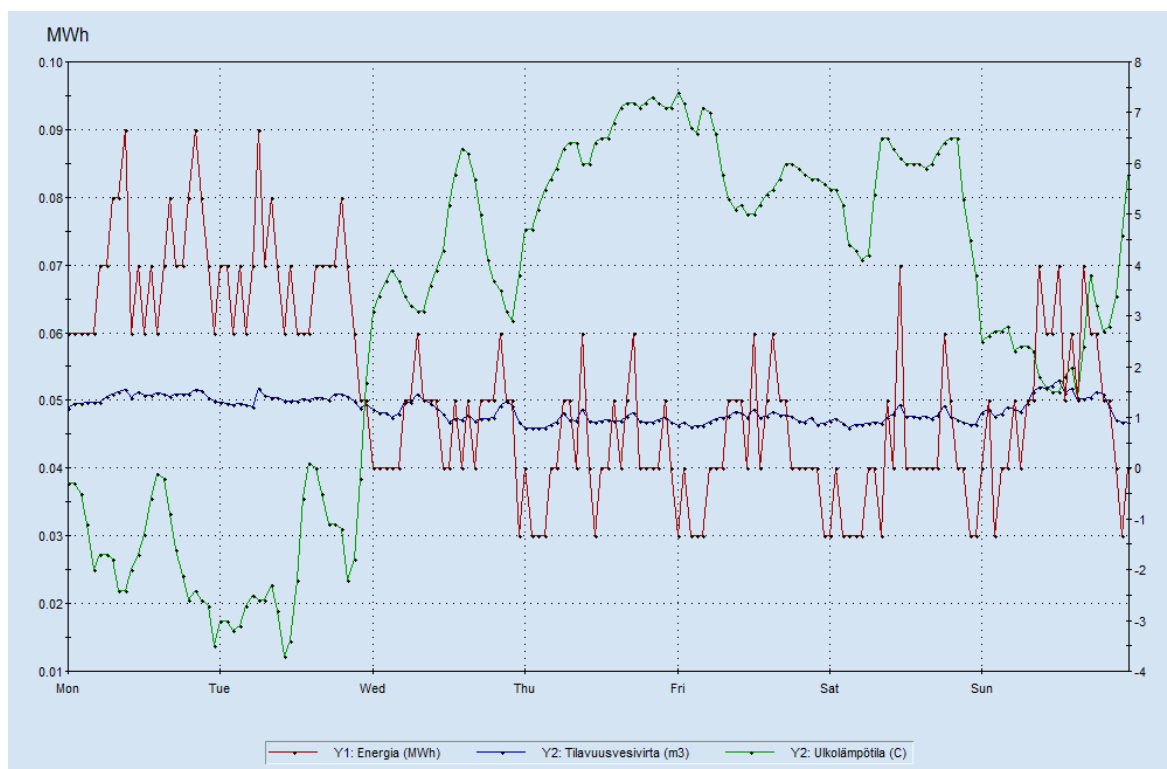
Kuvio 12. Kohteen 1 kaukolämmön normeerattu ominaisenergiankulutus



Kuvio 13. Kohteen 1 tuntikohtainen energiankulutus (MWh) vuosilta 2011–2019

Kuviosta 13 huomataan, että kohteen käyttäessä pelkästään kaukolämpöä energiakäyrä oli vaihteluiltaan suurempi kuin PILP-järjestelmässä. PILP-järjestelmässä energiankulutus oli tasaisempaa ja huippupiikit olivat noin puolet pienempiä, vaikka näkyviä huippuja oli vielä asennuksen jälkeen. Kesällä kulutus oli PILP-järjestelmän ollessa mukana pienentynyt hyvin lähelle nollaa, kun ulkolämpötila on ollut yli 25 °C. Lämmityskaudella energiankulutus pysyi silti pidempään matalammalla ja vaihdellen tunneittain suuremmin kuin ennen PILP-järjestelmän asennusta.

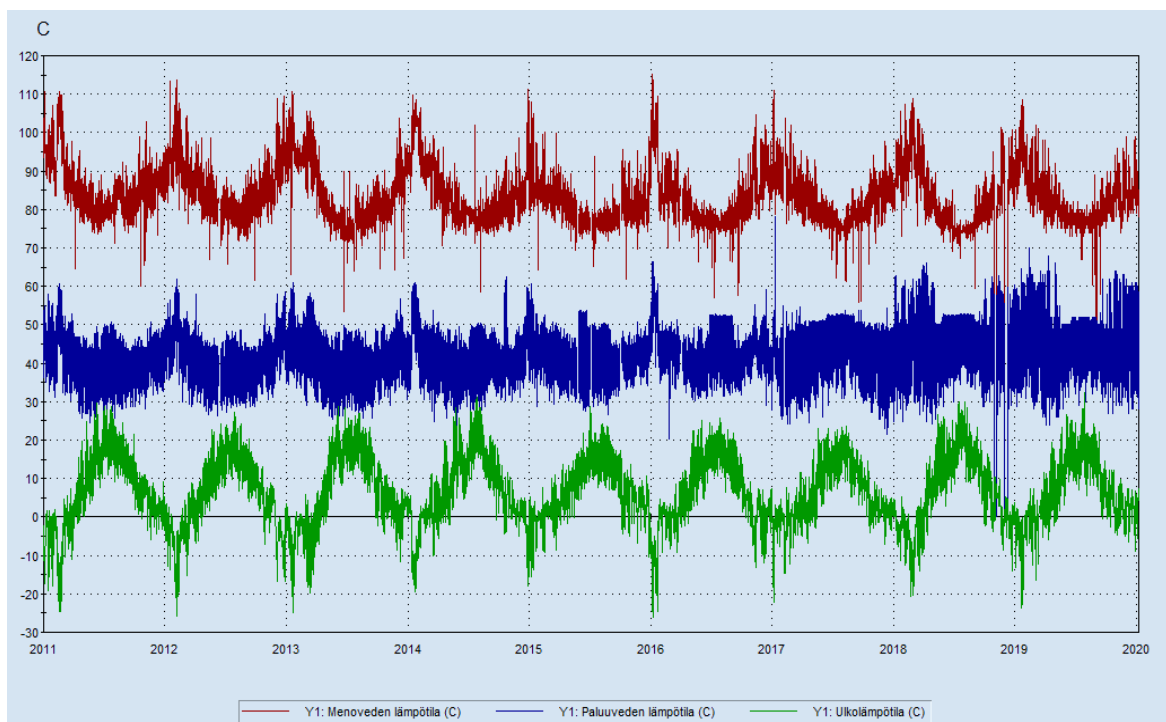
Kaukolämmön tilavuusvesivirta oli viikon aikana asuinkerrostalossa 0,5–1,6 m<sup>3</sup> (kuvio 14). Energiankulutus (MWh) pysyi maanantaista tiistaiyöhön 0,06–0,09 MWh välissä eli 60–90 kWh. Yöaikaan kulutus johtui enimmäkseen rakennuksen lämmityksestä. Aukkaiden herättyä lämpimän käyttöveden käyttö kasvatti kulutusta. Tämän huomaa myös tilavuusvesivirran kasvusta, jolloin kaukolämpövettä virtasi enemmän ensiöpuolen putkistossa. Ulkolämpötilan noustessa keskiviikkona kulutus pieneni. Viikonlopun kulutukseen on todennäköisesti vaikuttanut asukkaiden kotonaolo. Sunnuntaina kulutus kasvoi hieman lauantaista, milloin myös ulkolämpötila laski päivällä alle kolmen celsiusasteen (3 °C). Sunnuntain energiankulutuksen kasvu on voinut johtua lämmitystarpeen tai käyttöveden kasvusta.



Kuvio 14. Kohteen 1 kaukolämmön virtaus, energiankulutus ja ulkolämpötila viikon ajalta

Kuviosta 15 tarkastellaan seuraavaksi lämpötilojen vaihtelua vuosina 2011–2020. PILP-järjestelmä oli asennettu 2016 loppupuolella ja sen jälkeen kaukolämmön paluulämpötilassa näkyi enemmän piikkejä kuin ennen asennusta. Paluuv veden käyrä näytti

asennuksen myötä toisinpäin kääntyneeltä ja paksummalta. Menoveden lämpötilan käyrän muodossa ei ollut muutoksia vuosien varrella. Kun menolämpötila oli 80–90 °C, paluuv veden lämpötila oli 30–50 °C. Kun menolämpötila nousi noin 110 °C:een ennen hybridiasennusta, paluulämpötila pysytteli 40–60 °C:ssa. Kuitenkin asennuksen jälkeen PILP-järjestelmän kanssa, paluuv veden lämpötilan vaihteluväli oli suurempi, keskimäärin 30–65 °C ja lämpötila pysyi pidemmän aikaa yli 60 °C:ssa. Asennuksen jälkeen lämpimällä jaksolla paluulämpötila ei päässyt alle 30 °C, kun taas ennen asennusta paluulämpötila vaihteli 25–50 °C välillä.



Kuvio 15. Kohteen 1 kaukolämmön lämpötilat vuosilta 2011–2019

Kaukolämpö lämmitti kiinteistöä vain kaukolämmöllä 2010 tammikuusta ja 2016 toukokuuhun, jolloin menoveden lämpötila oli keskiarvoisesti 85 °C ja paluuv veden lämpötila 43 °C, jolloin jäähtymäksi saatiin 42 °C. Lisäksi ulkolämpötila oli sinä aikana 6 °C. PILP-järjestelmän jälkeen vuoden 2016 kesäkuusta joulukuuhun 2019 menoveden lämpötilan keskiarvo oli 82 °C ja paluulämpötila 46 °C, jolloin jäähtymäksi saatiin 36 °C ja ulkolämpötila oli keskimääräisesti 7 °C. Eroa jäähtymällä ennen ja jälkeen hybridijärjestelmän asetuksen oli 14 %. Matalampi menoveden lämpötila vaikuttaa osittain paluulämpötilaan ja voi siten heikentää kohteen jäähtymää.

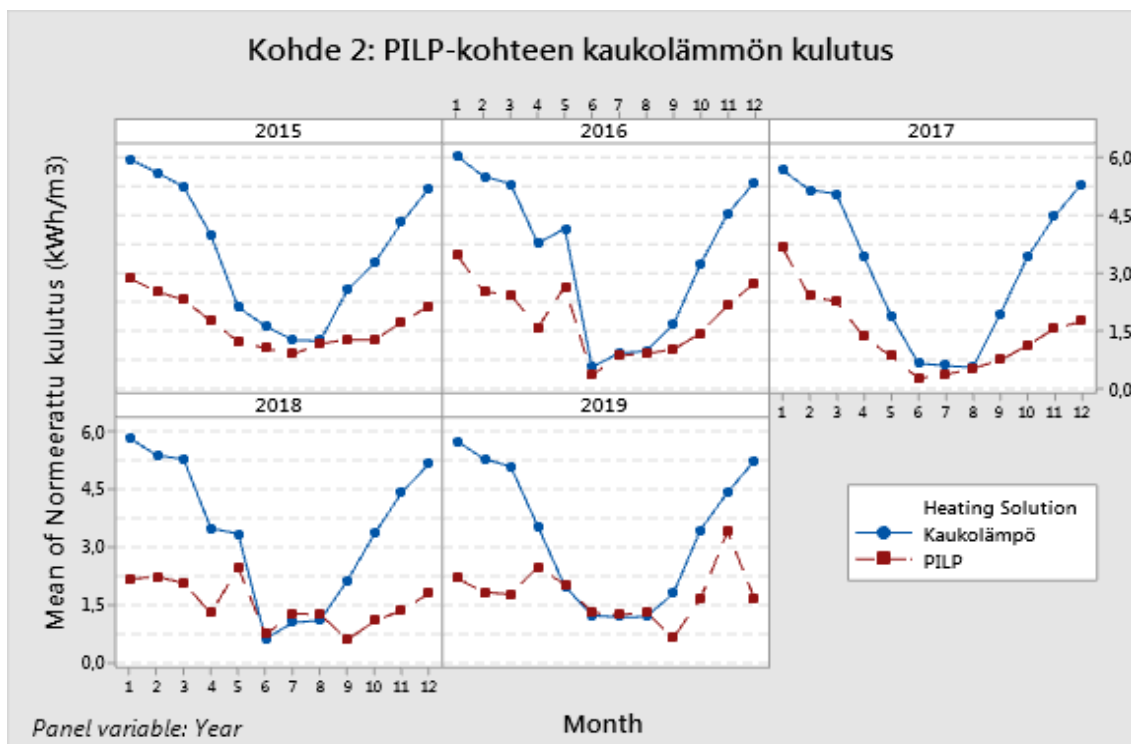
### 7.5.2 Kohde 2: PILP-järjestelmä

Kohteena 2 on asuinkerrostalo, johon asennettiin myöhemmin PILP-järjestelmä rinnakkaislämmönlähteeksi. Rakennusvuodeltaan kerrostalo oli vuosien 1965–1969 väliltä. Rakennuksen lämmitystilavuus oli noin 8800 m<sup>3</sup>. Kaukolämpölaitteisto saneerattiin vuonna 2008 ja PILP asennettiin vuonna 2012 talvella. Asuinkerrostalossa oli 35 asuntoa. Kohde ajoittuu samalle rakennusvälille kuin Taloyhtiön energiakirjassa. Taulukosta 3 nähdään ainoastaan hybridijärjestelmän ominaiskulutukset ja on käytetty kaavoja 1 ja 2. Verratessa kohteeseen 1 käytettiin Espoon paikkakuntakohtaista normitusta (kaava 1). Kolmelta vuodelta 2017–2019 keskiarvo oli 18,31 kWh/m<sup>3</sup>/v, mutta kulutus oli viiden vuoden keskiarvosta 19,38 kWh/m<sup>3</sup>/v, joka oli tarkempi ominaiskulutuksen keskiarvo. Eroa kohteen 1 kolmen vuoden keskiarvoon oli 5 %, mutta kohteen 2 keskiarvo viideltä vuodelta ei eronnut kohteen 1 kolmen vuoden keskiarvosta. Vuoden 2018 kaukolämmittisen asunnon keski- kulutus ja kohteen 2 keskikulutuksen ero oli 44 %.

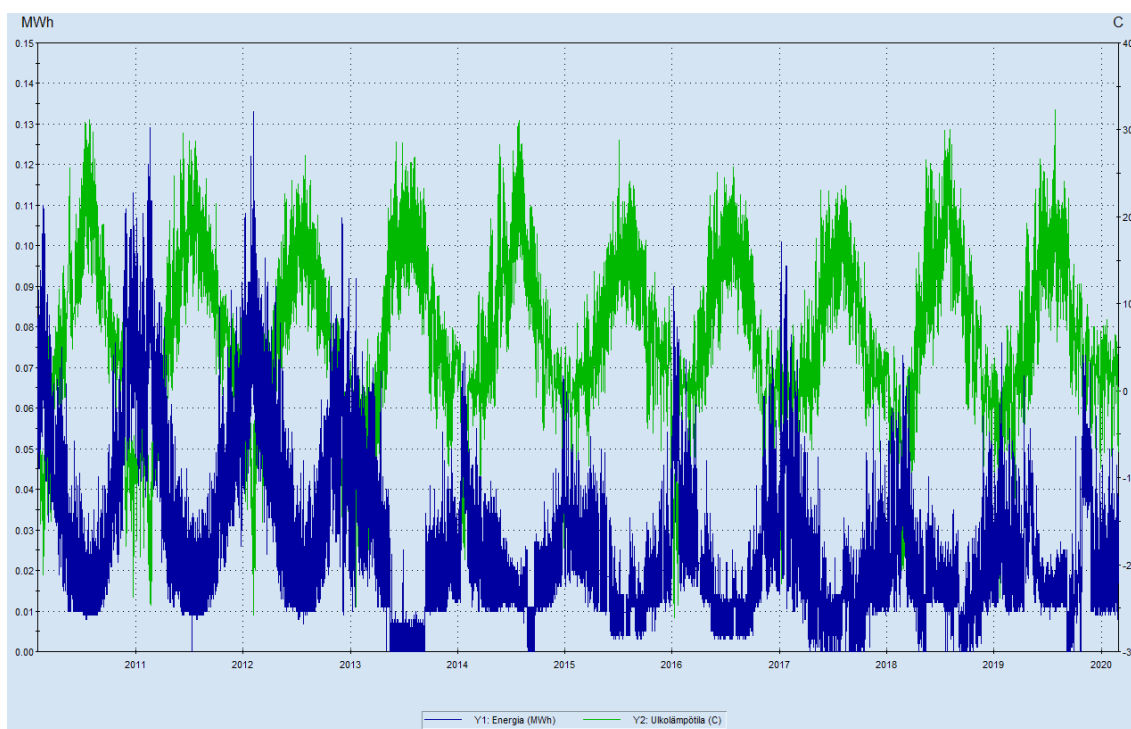
Taulukko 3. Kohteen 2 ominaisenergiankulutus eri kaavoilla mitattuna.

Vuosi	Yksittäin (kWh/m <sup>3</sup> /v)	Espoo (kWh/m <sup>3</sup> /v)	Koko Suomi (kWh/m <sup>3</sup> /v)
2015	19,98	19,48	22,49
2016	21,95	21,40	24,67
2017	16,65	16,27	18,56
2018	18,20	17,75	20,42
2019	21,42	20,9	24,01
Yht. ka.	19,64	19,16	22,03

Kuviosta 16 nähdään, että kohteen kaukolämmön kulutus erosi vertailukohteista. Vuosina 2016, 2018 ja 2019 toukokuussa kaukolämmön kulutus kasvoi, jonka jälkeen pieneni kesäkulutukseen. PILP-järjestelmän kaukolämmön kulutus näyttää vaihtelevan paljon. Vertailukohteina käytettiin Espoon alueen kaukolämmössä olevia asuinkerrostaloja, joiden ominaisliittymisteho (W/m<sup>3</sup>) oli lähellä kohteen 2 tehoa. Kohteen 2 ominaisenergiankulutus on vaihtelevampaa kuin kohteen 1 kulutus (kuvio 12). Energiankulutuksen vaihtelu nähdään myös kuviosta 17, missä on energiankulutuksen (MWh) tuntikohtainen data vuosilta 2011–2019. Kulutus esitetään sinisenä ja ulkolämpötila (°C) vihreänä.



Kuvio 16. Kohteen 2 normeerattu kaukolämmön keskikulutus vuosina 2015–2019

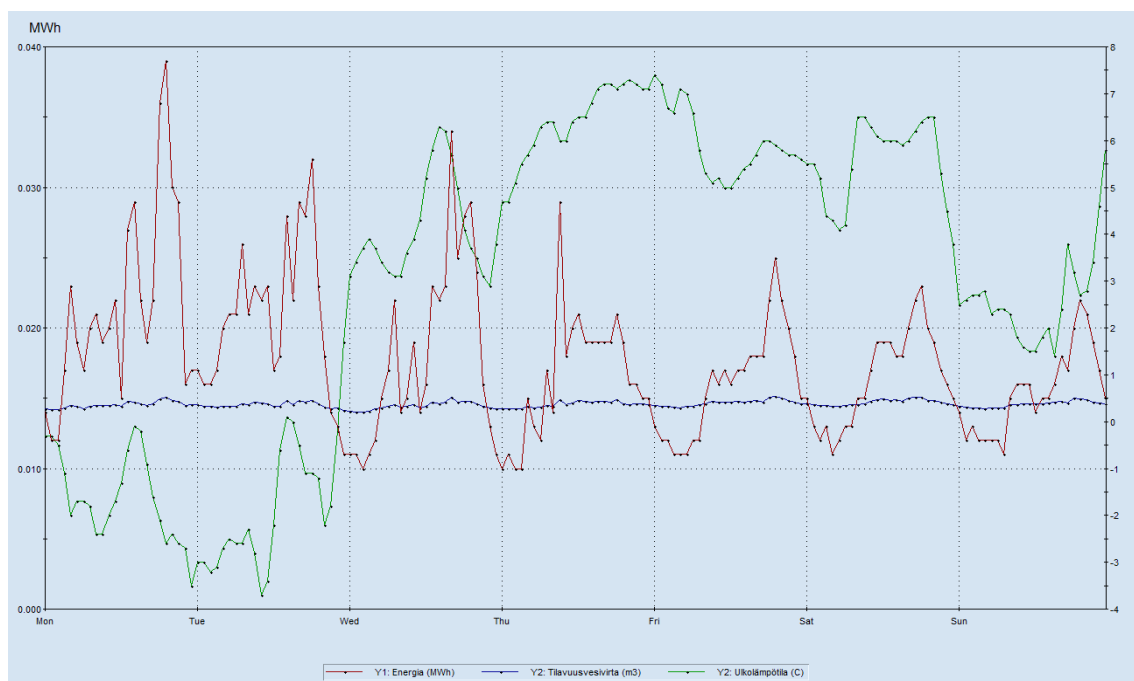


Kuvio 17. Kohteen 2 tuntikohtainen energiankulutus (MWh) vuosilta 2010–2019

Kuviossa 17 nähdään, miten tuntikohtainen energiankulutus pieneni kohteessa vuodesta 2010 vuoteen 2019. PILP-järjestelmä asennettiin 2012, mutta kulutuksessa se näkyi vasta 2013 puolella. Kesäaikaana kulutus pieneni nollaan pari kertaa. Talvisin huippukulutusta

näkyi ulkolämpötilan laskiessa alas. Huippukulutuksen piikit pienenevät reilusti yli 0,11 MWh:sta 0,07 MWh:iin. Vuosina 2016 ja 2017 kulutushuiput talvella olivat korkeammalla kuin muina vuosina hybridijärjestelmän kanssa. Lämmitystä ja käyttövedtä käytettiin muita vuosia enemmän. Kuvion 19 marraskuun 2019 käyrästä nähdään, miten kulutus pieneni ensin melkein nollaan ja sen jälkeen tuli pari suurempaa piikkiä, minkä jälkeen kulutus pysyi korkealla 0,035–0,075 MWh:ssa kuukauden ja pieneni joulukuuhun mennessä takaisin samoihin lukemiin kuin muinakin vuosina.

Tilavuusvesivirta oli pienempi kohteessa 2 kuin kohteessa 1 (kuvio 18). Vesivirta pysyi koko viikon 0,7–1,1 m<sup>3</sup> välissä. Kohteen asuntojen käyttöveden kulutus painottui enemmän iltaan, mikä teki energiankulutukseen piikkejä. Maanantain, tiistain ja keskiviikon kulutushuiput olivat noin 61 % pienemmät kuin kohteen 1 vastaavien viikonpäivien kulutushuiput. Torstain lämpöenergian kulutus oli tämän viikon poikkeus. Kulutushuiput eivät tämän viikon aikana noussut yli 39 kWh ja pienenevät viikonloppua kohden alle 25 kWh. Ero huippukulutuksissa kohteen 1 kanssa perjantaista sunnuntaihin oli noin 65 %. Prosenttiosuuksista ei voi tehdä johtopäätöksiä. Öisin kaukolämpöveden kulutus oli lämmityksestä johtuvaa ja huomataan, miten energian kulutus kasvoi aamuisin vasta kello 7 aikoihin.

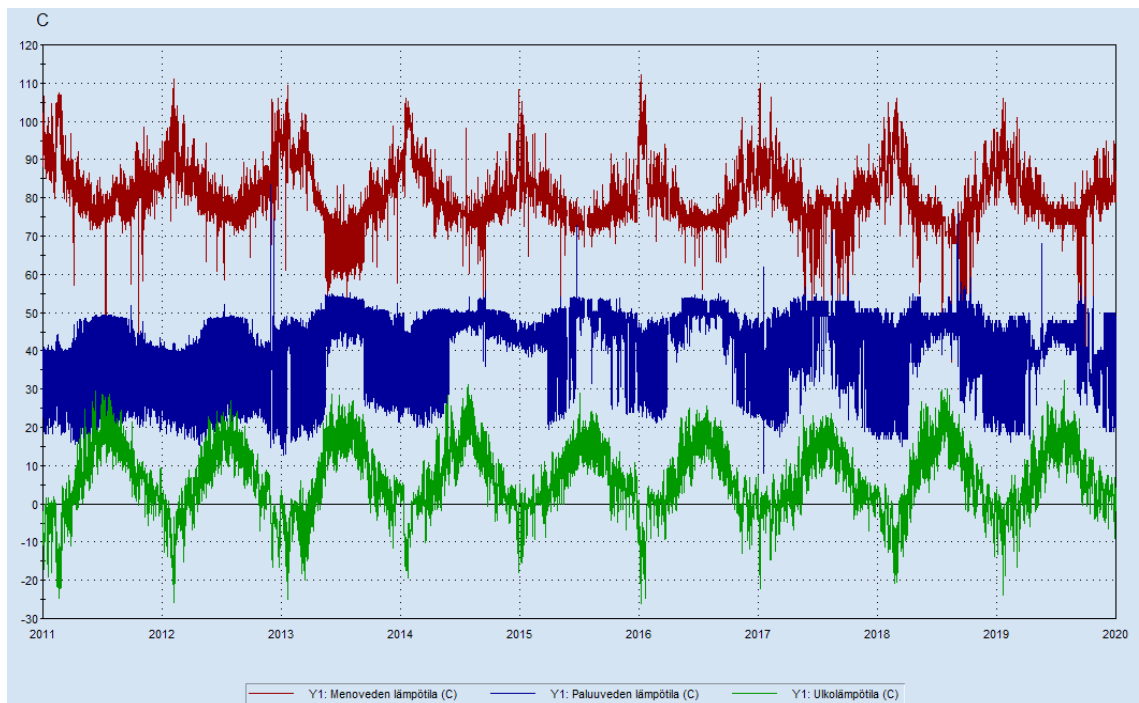


Kuvio 18. Kohteen 2 kaukolämmön virtaus, energiankulutus ja ulkolämpötila viikon ajalta

Kuviosta 19 nähdään kohteen 2 kaukolämmön lämpötilat vuosina 2011–2019. Maalis-kuusta 2008 joulukuuhun 2012 asuinkerrostalo käytti pelkästään kaukolämpöä, jolloin menoveden lämpötilan keskiarvo oli 85 °C ja paluuveden 38 °C. Jäähdytymäksi saadaan keskiarvollisesti 47 °C. Keskiulkolämpötila oli 6 °C. Hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen



tammikuusta 2013 joulukuuhun 2019 keskiarvo menoveden lämpötilalle oli 80 °C ja paluuvvedelle 44 °C, jolloin vuosien keskijäähdytymäksi saadaan 36 °C. Keskiulkolämpötila oli 7 °C. Keskiarvillisesti jäähdytymä oli muuttunut 23 % hybridiasennuksen jälkeen, johon on voinut vaikuttaa tarkastelujakson matalampi menoveden lämpötila.



Kuvio 19. Kohteen 2 kaukolämmön lämpötilat vuosilta 2011–2019

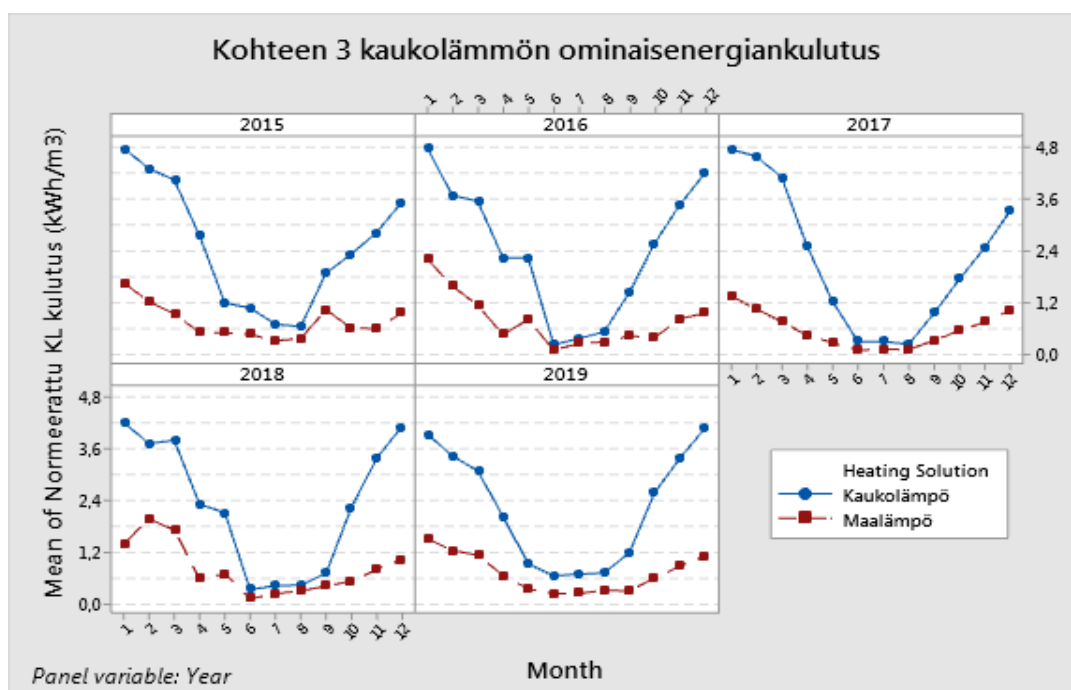
### 7.5.3 Kohde 3: Maalämpö

Kohde 3 ja vertailukohteet olivat rakennusiältään vuosien 1975–1979 välissä olevia oppilaitoksia. Oppilaitoksen rakennuslämmitystilavuus oli noin 44300 m<sup>3</sup>. Lämmönjakokeskus saneerattiin syksyllä 2013 ja silloin siihen lisättiin maalämpöjärjestelmä rinnakkaislämmönlähteeksi. Taulukosta 4 nähdään kohteen vuositason ominaisenergiankulutukset. Kohdetta 3 ei pysty vertaamaan asuntoihin, joten koko Suomen ominaiskulutusta ei tarkemmin tarkasteltu. Vertailukohteeksi otettiin yksi kaukolämpökohde Espoon alueelta, samalta rakennusiältä ja lähellä kohteen 3 ominaisliittymistehoa (W/m<sup>3</sup>). Maalämpöjärjestelmän vaikutus kaukolämmön kulutukseen oppilaitosrakennuksessa oli suuri. Kohteesta 3 viideltä vuodelta suurin ero oli noin 30 %, se oli vuoden 2017 ja 2018 välinen ero. Kulutus aleni vuoden 2018 ja 2019 välillä noin 12 %. Kohteen 3 kulutus oli 66 % pienempi kuin vertailukohteen kulutus ja PILP-järjestelmiin verrattuna keskiarvoisesti kulutus oli 54 % pienempi, kun tarkastellaan taulukosta 4 Espoo-saraketta.

Taulukko 4. Kohteen 3 ominaisenergiankulutus eri kaavoilla mitattuna.

	Kohde 3			Vertailukohde		
Vuosi	Yksittäin kWh/m <sup>3</sup> /v	Espoo kWh/m <sup>3</sup> /v	Suomi kWh/m <sup>3</sup> /v	Yksittäin kWh/m <sup>3</sup> /v	Espoo kWh/m <sup>3</sup> /v	Suomi kWh/m <sup>3</sup> /v
2015	9,33	9,06	10,69	34,00	33,01	38,95
2016	9,58	9,31	10,94	34,76	33,77	39,70
2017	6,94	6,75	7,89	22,83	22,20	26,01
2018	9,95	9,71	11,17	17,25	16,75	19,73
2019	8,75	8,50	10,00	22,60	21,96	25,81
Yht.ka.	8,91	8,67	10,14	26,29	25,54	30,04

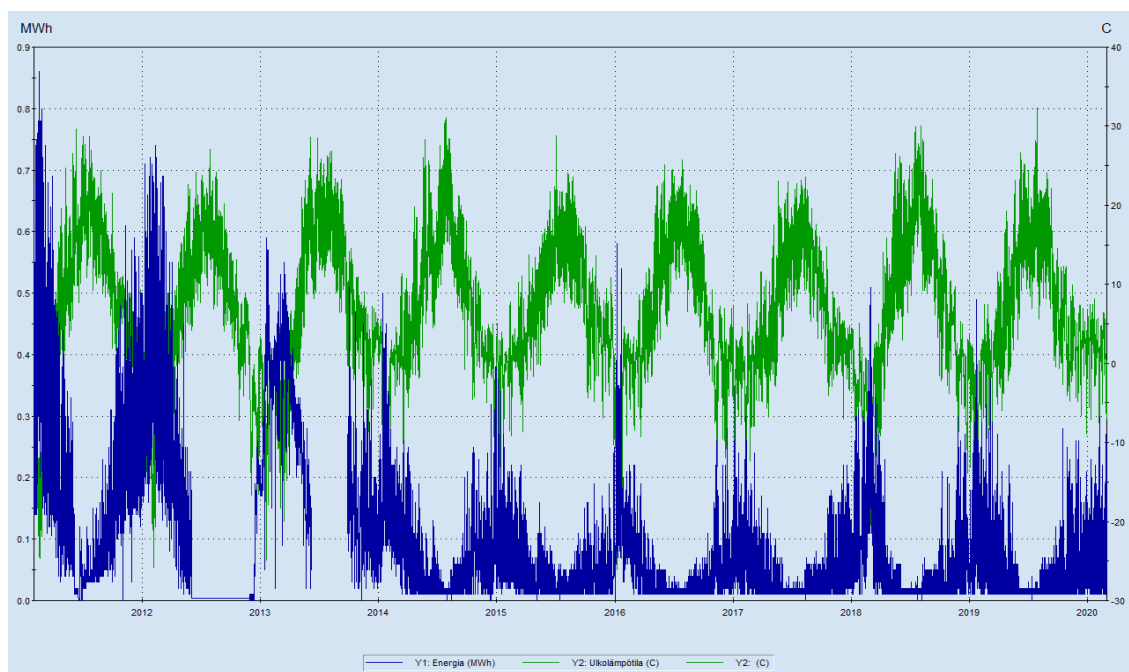
Kuviosta 20 nähdään kohteen 3 kaukolämmön ominaiskulutus kuukausittain vuosilta 2015–2019. Vertailukohteiden kaukolämmön kulutus kesän kolmena kuukautena, kesä–elokuussa 2015–2019 oli noin 57 % isompi kuin kohteen 3 keskikulutus. Hybridikohteen keskikulutus oli kesän kolmena kuukautena 0,23 kWh/m<sup>3</sup> ja vertailukohteiden 0,54 kWh/m<sup>3</sup>.



Kuvio 20. Kohteen 3 ominaisenergiankulutus keskiarvallisesti 2015–2019

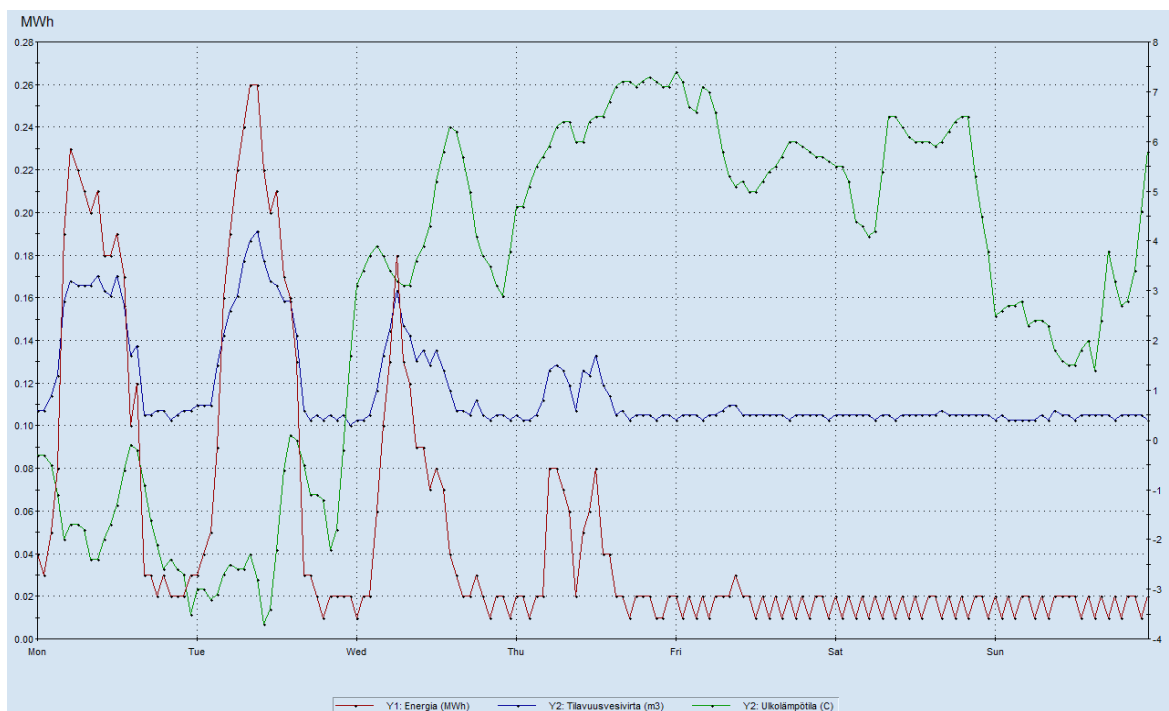
Talvikuukausina saman vuoden tammikuusta maaliskuun sekä joulukuun yhteiskulutuksen ero kesäkuukausiin oli noin 68 %, jos talvikuukausiin otettiin mukaan marraskuu, eroa oli noin 62 %. Hybridikohteella keskimuutuuksien neljältä kuukaudelta oli 1,34 kWh/m<sup>3</sup> ja kaukolämpökohteiden 4,15 kWh/m<sup>3</sup>. Suurimpia ominaismuutuuksia hybridikohteella oli 2016 tammikuussa. Muuten muutuuksien olivat noin 1–1,7 kWh/m<sup>3</sup> kolmen talvikuukauden ajalta.

Maalämpöjärjestelmän asennuksen jälkeen kohteen 3 muutuuksien pieneni (kuvio 21). Kaukolämpöä tarvittiin talvisin, mikä näkyy käyrän piikeistä. Ne olivat entiseen muutuuksien verrattuna lyhyempiä, eli hetkellinen muutuuksien oli pienempi kuin ennen hybridiasennusta. Silti kohteella oli esimerkiksi 2016 ja 2017 muutuuksien huiput hieman muuta vuosia korkeampia. Kesäisin kohde ei juurikaan tarvinnut kaukolämpöä, jolloin muutuuksien oli 10–20 kWh välillä.



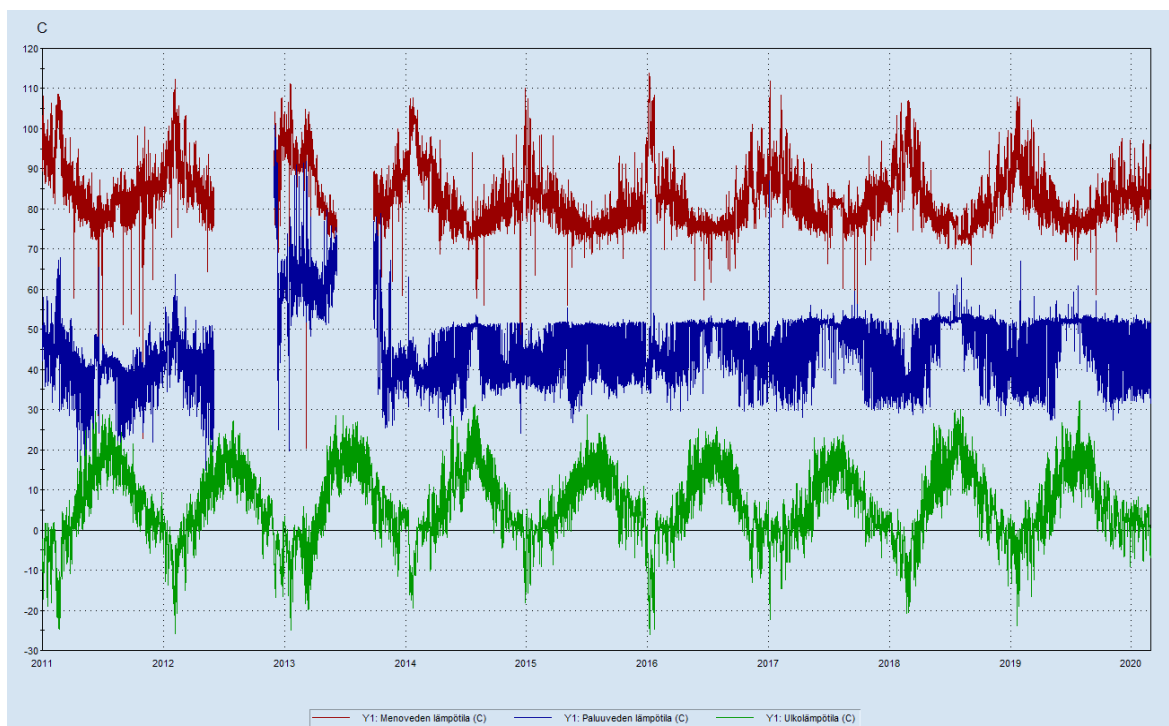
Kuvio 21. Kohteen 3 energianmuutuuksien (MWh) vuosilta 2011 – 2020 tuntikohtainen

Kuviossa 22 oppilaitoksen energian ja tilavuusvesivirran muutuuksien oli selvästi erilaista kuin asuinrakennuksissa. Päivisin tilavuusvesivirta kasvoi yli 3 m<sup>3</sup> kello 5.00:stä lähtien lämmitämään rakennusta ja vesivirtaus pieneni hiljalleen päivän mittaan ja kello 16.00 virtaus oli takaisin yöaikaisessa noin 0,5–0,7 m<sup>3</sup> välillä. Yöaikana virtaus oli ainoastaan lämmitystä varten. Myös perjantai-iltana lämmitettiin rakennusta ja koko viikonlopun vesivirta oli noin 0,5 m<sup>3</sup>. Kun ulkolämpötila nousi, vesivirtaus pysyi alhaalla. Muutuuksien oli öisin noin 10–20 kWh, samoin kesäaikana (kuvio 21). Kesäaikana oppilaitoksessa ei ole toimintaa. Arkipäivisin tilavuusvesivirran huiput olivat 170–220 kWh. Huippujen jälkeen muutuuksien pieneni suhteellisen tasaisesti yö-tason muutuuksien ja viikonloppuna muutuuksien koostui lähinnä rakennuksen lämmittämisestä.



Kuvio 22. Kohteen 3 kaukolämmön virtaus, energiankulutus ja ulkolämpötila viikon ajalta

Maalämpöjärjestelmä asennettiin 2013 syksyllä ja se toimi vuoden lopussa (kuvio 23). Vuosina 2012 ja 2013 kaukolämpömittarin lukemissa oli joitakin aukkoja. Aukkojen keskellä jäähtymä ei ollut kunnollista, koska oppilaitos ei välttämättä ollut säännöllisessä käytössä, jolloin kuuma kaukolämpövesi virtasi läpi. Kaukolämmön paluuveden lämpötila ei enää vaihdellut suuresti maalämpöjärjestelmän asennuksen jälkeen.



Kuvio 23. Kohteen 3 kaukolämmön lämpötilat vuosilta 2011–2019

Ennen asennusta vuonna 2011 oppilaitoksessa kaukolämmön paluuvesi jäähdyi sitä mukaa kun menovesi muuttui. Paluuv veden lämpötila oli 20–40 °C, ja kesällä kulutuksen ollessa pientä paluuv veden lämpötila nousi 50 °C:een, jonka jälkeen se pysyi 40–45 °C:n välissä. Hybridijärjestelmän asennuksen jälkeen paluuv veden lämpötila pysyi lähellä 50 °C laskien talvella 30 °C:een. Tammikuusta 2006 kesäkuuhun 2012 oppilaitos käytti pelkästään kaukolämpöä, jolloin menoveden lämpötilan keskiarvo oli 86 °C ja paluuv veden lämpötila 42 °C, eli jäähtymäksi saatiin keskiarvallisesti 44 °C. Lisäksi keskiulkolämpötila oli 6°C. Hybridijärjestelmän käyttöönoton jälkeen tammikuusta 2014 joulukuuhun 2019 keskiarvo menoveden lämpötilalle oli 82 °C ja paluuv veden lämpötilalle 46 °C, jolloin vuosien keskiäähtymä oli 36°C. Ulkolämpötilan keskilukema oli 7°C. Keskiarvallisesti jäähtymä oli muuttunut 18 % hybridiasennuksen jälkeen. Vuotta 2013 ei laskettu mukaan, kun jäähtymä oli erittäin huono kyseisenä aikana ja lisäksi matalampi kaukolämmön menoveden lämpötila vaikuttaa osittain paluulämpötilaan ja voi siten heikentää kohteen jäähtymää.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Datan analysoinnista saadut tulokset tukevat työn hypoteesia sekä aikaisempia tutkimuksia ja tietoja. Hybridijärjestelmä kulutti huomattavasti vähemmän kaukolämpöä kuin pelkkä kaukolämpöjärjestelmä. Hybridijärjestelmien kulutuskäyrät olivat tasaisempia kuin pelkästään kaukolämpöä käyttävien kohteiden kulutuskäyrät. Lämmityskauden alussa ja lopussa hybridikohteilla ei ollut nopeita ominaisenergiankulutuksen muutoksia. Ominaisenergiankulutus kasvoi talvikuukausina ja pieneni kesäkuukausille. Kulutus ei talvikuukausinakaan ollut suurta verrattuna pelkästään kaukolämmitystä käyttäviin.

Hybridimallien kulutuksessa oli kuitenkin eroja. Esimerkiksi PILP-järjestelmä vähensi asuinkerrostaloissa ja muissa rakennuksissa keskimääräisesti noin 56 % kaukolämmön kulutusta. Pelkästään maalämpöä ja kaukolämpöä käyttäviä hybridijärjestelmiä oli vain liike- ja julkisten ja teollisuuden rakennuksissa ja niiden energiankulutus oli selvästi vähäisempää (52 %) kuin pelkästään kaukolämpöä käyttävien kohteiden. Lauhdelämpöjärjestelmiä oli muissa kuin asuinrakennuksissa. Nämä kohteet kuluttivat kaukolämpöä enemmän kuin maalämpöjärjestelmää käyttävät. Joskus näiden kaukolämmön kulutus oli suurempaa kuin vertailukohteiden kulutus. Kohteissa, joissa syntyy paljon lauhdelämpöä, voidaan syntynyt lauhde myydä myös avoimeen kaukolämpöverkkoon. Rinnakkaislämpönä aurinkolämpö ei vähentänyt kaukolämmön kulutusta juuri ollenkaan. Kaikissa hybridikohteissa kaukolämpöä ei käytetä päälähteenä. Lisälämmönlähteenä kaukolämpöä kuluu vähemmän ja kulutus voi kasvaa silloin kun, toisen tai kolmannen lämmönlähteen laitteet rikkoutuvat tai on kovia pakkasia, jolloin muut lämmitysmuodot eivät yksinään riitä lämmittämään kiinteistöä. Lisäksi VILP-järjestelmä ja kolmen lämmönlähteen järjestelmä kuluttivat vähiten kaukolämpöä ympäri vuoden. Jotta näiden hybridimallien kaukolämmön kulutuksen isoa muutosta voitaisiin sanoa ominaisuudeksi, täytyisi kuitenkin olla paljon enemmän kohteita vertailussa.

Tarkemmassa tarkastelussa olleiden yksittäisten kohteiden hybridijärjestelmien vaikutukset kaukolämmön kulutukseen ja jäähtymään olivat huomionarvoisia. Kuitenkin kohteiden jäähtymään on voinut vaikuttaa menoveden matalampi lämpötila tarkastelujakson aikana. Matalalämpötila vaikuttaa osittain myös paluulämpötilaan, jolloin se voi heikentää kohteen jäähtymää. Kun tarkasteltiin kohteita 1–3 eli kahden PILP-kohteen ja yhden maalämpökohteen kulutusta, huomattiin, millaisia eroja eri käyttöpaikkojen välillä oli. Asuinkerrostaloissa kulutushuiput riippuivat kellon ajasta ja asuntojen määrästä. Oppilaitoksen kulutus koostui viikonloppuisin vain lämmityksestä. Kaukolämmön menoveden lämpötila pysyi kaikissa suurin piirtein muuttumattomana, mutta kaukolämmön paluulämpötilassa nähtiin eroja heti, kun hybridijärjestelmä oli asennettu. Paluulämpötila laski kohteissa

viileämmälle paluulämpötilalle ja ei päässyt aina samalle tasolle kuin ennen, mutta myös lämpötila nousi enemmän kuin pelkän kaukolämpöjärjestelmän aikoihin. Vuositason ominaisenergiankulutuksesta huomasi, että kohteessa 1 kulutus oli 35 % ja kohteessa 2 kulutus 43 % pienempi hybridilämmityksellä kuin yleisesti kaukolämpölämmityksellä toimivissa asuintaloissa.

Työssä tarkasteltujen kohteiden määrä on noin 2 % vertailukohteiden määrästä. Kulutuksen pienentyminen hybridikohteissa ei välttämättä vaikuta Fortumin kaukolämpöverkkoon ja tuotantoon niin suuresti kuin työssä käytettyjen lähteiden tutkimustuloksissa oli todettu hybridijärjestelmien tekevän. Kuitenkaan opinnäytetyön hybridijärjestelmät eivät näytä opinnäytetyön tuloksien perusteella tuottavan lisähyötyä energiayhtiölle. Energiayhtiön kannalta on tärkeää huomioida tarkemmin hybridijärjestelmien mitoitusta ja järjestelmän toimintaa, jotta esimerkiksi jäähtymä pysyisi hyvänä. Työn tuloksista saatujen tietojen perusteella hybridikohteissa ei välttämättä kuitenkaan voida käyttää samanlaista hinnoittelua kuin pelkissä kaukolämmityskohteissa. Energiayhtiön täytyisi saada hinnoittelulla katettua tuotannon sekä kaukolämpöverkon kustannukset.

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kaukolämmön kulutusta kaukolämmössä olevista hybridijärjestelmistä. Alueellisesti katsottiin hybridikohteiden vaikutusta kaukolämmön kulutukseen. Työssä otettiin tarkasteluun kolme kiinnostavaa kohdetta, joista tarkasteltiin tunti-kohtaista dataa yhdeltä viikolta sekä meno- ja paluulämpötiloja ja kulutusta vuosilta ennen ja jälkeen hybridijärjestelmän asennuksen.

Fortumin kaukolämpöverkon alueella kaukolämmön kulutus oli hybridikohteissa keskimääräisesti 46 % pienempi. Hybridijärjestelmällä oli vaikutusta kaukolämmön kulutukseen. Tulosten perusteella hybridikohteiden rakennuksen ikä ei vaikuttanut huomattavasti kaukolämmön kulutukseen. Vanhempi kiinteistö voi kuluttaa hieman enemmän kaukolämpöä hybridikohteissa, mutta hybridimalli voi vaikuttaa tulokseen. Kuitenkin pelkällä kaukolämmöllä lämpiävien kohteiden kulutus pieneni selvemmin mitä uudempi rakennus oli. Lisäksi eri vuodenaikoina kulutuksen muutos oli prosentuaalisesti iso, vaikka hybridikohteissa kulutus oli pienempää ja kulutuskäyrät tasaisempia kuin pelkän kaukolämpölämmityksen. Työssä tarkasteltujen hybridijärjestelmien vaikutus kulutukseen oli huomattava. Jotta johdopäätöksiä rakennustyyppin vaikutuksesta kulutukseen voitaisiin luotettavasti tehdä, tarvittaisiin niistä lisätutkimusta. Jatkotutkimuksia voitaisiin tehdä myös hybridimalleista esimerkiksi VILP- tai aurinkolämpöjärjestelmästä tai hybridimallien hinnoittelumalleista. Voituaisiin esimerkiksi tarkastella, millaiseen ympäristöön hybridimallit sopisivat, miten eri hybridimallit kannattaa hinnoitella ja toimisiko hinnoittelu käytännössä.

Opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin. Työ tuottaa toimeksiantajalle yleistä tietoa siitä, miten hybridijärjestelmät vaikuttavat kaukolämmön kulutukseen. Työssä tarkastellut eri hybridijärjestelmät vaikuttavat kaukolämmön kulutukseen pienentävästi tutkitulla ajanjaksolla ja kaukolämpöverkon alueella. Työn aihe oli ajankohtainen, koska hybridijärjestelmät tulevat yleistymään Suomessa ja niitä tullaan varmasti hyödyntämään enemmän kaukolämmön tuotannossa sekä asiakaslaitteistossa, jolloin hybridijärjestelmät tuovat moniulotteisuutta kaukolämpöverkkoon. On oletettavaa, että kaukolämpö tulee pysymään Suomessa merkittävänä lämmitysmuotona sen edullisuuden, saatavuuden ja toimintavarmuuden takia.



## LÄHTEET

Energiateollisuus ry. 2009. Miten kaukolämpö toimii? [verkkodokumentti]. [viitattu 22.4.2020]. Saatavissa: <https://slideplayer.fi/slide/2853456/>

Energiateollisuus ry. 2014. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet -julkaisu K1/2013 [verkkodokumentti]. ISBN 978-952-5615-42-5 Helsinki: Energiateollisuus ry [viitattu 10.3.2020]. Saatavissa: [https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1\\_2013\\_20140509.pdf](https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf)

Energiateollisuus ry. 2017. Poistoilmalämpöpumppu (PILP) kaukolämpötaloon: ohjeet suunnittelijalle 2017 [verkkodokumentti]. [viitattu 24.2.2020]. Saatavissa: [https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu\\_kaukolampotaloon\\_ohjeet\\_suunnittelijalle.pdf](https://energia.fi/files/2137/Poistoilmalampopumppu_kaukolampotaloon_ohjeet_suunnittelijalle.pdf)

Energiateollisuus ry. 2019. Kaukolämpötilasto 2018 [viitattu 23.4.2020]. Saatavissa: <https://energia.fi/files/3935/Kaukolampotilasto2018.pdf>

Energiateollisuus ry. 2020a. Kaukolämpöverkot [viitattu 4.3.2020]. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

Energiateollisuus ry. 2020b. Miksi kaukolämpö? [viitattu 6.5.2020] Saatavissa: <https://kaukolampo.fi/miksi-kaukolampo/>

Fortum Oyj. 2018. Pohjoismaiden suurin kysyntäjoustohanke. Fortum tuo älykkään lämmityksen ohjauksen lähes kaikkiin Espoon Asuntojen koteihin. [viitattu 31.3.2020]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2018/09/pohjoismaiden-suurin-kysyntajoustohanke-fortum-tuo-alykkaan-lammituksen-ohjauksen-lahes-kaikkiin-espoon-asuntojen-koteihin>

Fortum Oyj. 2020a. Avoin kaukolämpö [viitattu 25.3.2020] Saatavissa: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/avoin-kaukolampo>

Fortum Oyj. 2020b. Espoo Clean Heat [viitattu 1.4.2020] Saatavissa: <https://www.fortum.fi/espoo>

Fortum Oyj. 2020c. Fortum Suomessa [viitattu 10.3.2020]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/medialle/tietopakettit-medialle/tietoa-toimintamaistamme/fortum-suomessa>

Fortum Oyj. 2020d. Huolla kotisi kaukolämpölaitteet [viitattu 3.4.2020]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/lammitys/kaukolampo/tietoa-lammon-kaytosta/huolla-kotisi-kaukolampolaitteet>

Fortum Oyj. 2020e. Järvenpään CHP-laitos [viitattu 10.3.2020]. Saatavissa:

[https://www.fortum.fi/tietoa-](https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/jarvenpaan-chp-laitos)

[meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/jarvenpaan-chp-laitos](https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/jarvenpaan-chp-laitos)

Fortum Oyj. 2020f. Kaukolämmön hinnat taloyhtiöille ja yrityksille [viitattu 15.4.2020].

Saatavissa: [https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-](https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat-taloyhtiöille-ja-yrityksille)

[jaahdytys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat-taloyhtiöille-ja-yrityksille](https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat-taloyhtiöille-ja-yrityksille)

Fortum Oyj. 2020g. Kaukolämpöä yhä puhtaammin [viitattu 10.3.2020]. Saatavissa:

[https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-](https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolampoa-ya-puhtaammin)

[jaahdytys/kaukolampo/kaukolampoa-ya-puhtaammin](https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolampoa-ya-puhtaammin)

Fortum Oyj. 2020h. Lämmön talteenotto kaukolämpökiinteistöissä. [verkkodokumentti].

[viitattu 21.4.2020]. Saatavissa:

[https://www.fortum.fi/sites/default/files/documents/lammon\\_talteenotto\\_kaukolampokiinteistoissa.pdf](https://www.fortum.fi/sites/default/files/documents/lammon_talteenotto_kaukolampokiinteistoissa.pdf)

Fortum Oyj. 2020i. Suomenojan CHP-laitos [viitattu 10.3.2020].

Saatavissa: [https://www.fortum.fi/tietoa-](https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/suomenojan-chp-laitos)

[meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/suomenojan-chp-laitos](https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/suomenojan-chp-laitos)

Helen Oy. 2015. Kaukolämmön hybridikytkentä kaukolämpölaitteiston rinnalle.

[verkkodokumentti]. [viitattu 25.3.2020]. Saatavissa:

[https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon\\_hybridikytkenta\\_kaukolampolaitteiston\\_rinnalle.pdf](https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon_hybridikytkenta_kaukolampolaitteiston_rinnalle.pdf)

HögforsGST Oy. 2020. Poistoilman lämmön talteenotto [viitattu 3.4.2020]. Saatavissa:

<https://hogforsgst.com/fi/tuotteet/hybridlto-poistoilman-lammon-talteenotto/>

Ilmatieteen laitos. 2020. Lämmitystarveluvut [viitattu 23.3.2020]. Saatavissa:

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. ISBN 952-5615-08-1. Helsinki: Energiategollisuus ry

Korjus, T. 2016. Kaukolämmön uudet hinnoittelumallit Suomessa ja Ruotsissa sekä niiden kehittyminen markkinoiden mukana. [verkkodokumentti]. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto, Energiategniikka [viitattu 31.3.2020]. Saatavissa:

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20546/master\\_Korjus\\_Taija\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20546/master_Korjus_Taija_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Lappalainen, M. 2010. Rakennusten lämmöntuotantotavat. [verkkodokumentti]

Rakentajain kalenteri 2011. Helsinki: Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL,

Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto. 70–77 [viitattu 6.3.2020]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110301.pdf>

Minitab Ltd. 2020. Interpret the key results for Boxplot [viitattu 26.3.2020]. Saatavissa: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/graphs/boxplot/interpret-the-results/key-results/?SID=140009>

Motiva Oy. 2008. Lämpöä ilmassa. Lämmitysjärjestelmät ilmalämpöpumput. [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy & SULPU Ry [viitattu 7.3.2020]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

Motiva Oy. 2012. Kaupan kylmälaitteiden ja järjestelmien lauhdelämmön talteenotto. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.2.2020] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/7973/Kaupan\\_kylmalaitteiden\\_ja\\_jarjestelmien\\_lauhdelaammon\\_talteenotto\\_Laskentaohje.pdf](https://www.motiva.fi/files/7973/Kaupan_kylmalaitteiden_ja_jarjestelmien_lauhdelaammon_talteenotto_Laskentaohje.pdf)

Motiva Oy. 2016. Kulutuksen normitus. Laskentakaavat ja -ohjeet [verkkodokumentti]. [viitattu 10.3.2020]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva\\_Kulutuksennormitus\\_laskentakaavat-ja-ohjeet\\_12-2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_12-2016.pdf)

Motiva Oy. 2017. Poistoilmalämpöpumppu [viitattu 24.2.2020]. Saatavissa: [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/ilmalampo-ja\\_maalampopumput/poistoilmalampopumppu](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo-ja_maalampopumput/poistoilmalampopumppu)

Motiva Oy. 2018a. Hybridilämmitys [viitattu 22.2.2020]. Saatavissa: [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys)

Motiva Oy. 2018b. Lämpöpumppujen hankintaopas -kunnat ja taloyhtiöt. [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. [viitattu 24.2.2020] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen\\_hankintaopas\\_kunnat\\_ja\\_taloyhtiot.pdf](https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf)

Motiva Oy. 2019a. Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen [viitattu 22.2.2020]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolammon\\_passiivinen\\_hyodyntaminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen)

Motiva Oy. 2019b. Ilma-vesilämpöpumppu, UVLP [viitattu 22.2.2020]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu\\_uvlp](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_uvlp)

Motiva Oy. 2019c. Järjestelmän muut osat [viitattu 22.2.2020]. Saatavissa:  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/jarjestelman\\_muut\\_osat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/jarjestelman_muut_osat)

Motiva Oy. 2019d. Kytkentä muihin lämmitysjärjestelmiin [viitattu 22.2.2020] Saatavissa:  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta\\_muihin\\_lammitysjarjestelmiin](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/kytkenta_muihin_lammitysjarjestelmiin)

Motiva Oy. 2019e. Nestekiertoiset keräimet [viitattu 22.2.2020] Saatavissa:  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset\\_keraimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet)

Motiva Oy. 2020a. Maalämpöpumppu [viitattu 22.2.2020] Saatavissa:  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu)

Motiva Oy. 2020b. Poistoilmalämpöpumput [viitattu 24.2.2020] Saatavissa:  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu)

Mäkelä V-M. & Tuunanen J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. [verkkodokumentti]. Opimateriaali ISBN: 978-951-588-507-4. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu [viitattu 6.5.2020]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pylsy, P. & Virta, J. 2011. Taloyhtiön energiakirja. [verkkokirja]. Julkaisusarja Sitra. Ensimmäinen painos. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy [viitattu 22.2.2020]. Saatavissa: [https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion\\_energiakirja](https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja)

Pöyry Management Consulting Oy. 2018. Älykäs kaupunkienergia. [verkkodokumentti]. [viitattu 24.2.2020] Saatavissa:  
[https://energia.fi/files/2862/Alykas\\_kaupunkienergia\\_LOPPURAPORTTI\\_20180614.pdf](https://energia.fi/files/2862/Alykas_kaupunkienergia_LOPPURAPORTTI_20180614.pdf)

Rämä, M., Niemi R. & Similä L. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. [verkkodokumentti]. Asiakasraportti VTT-CR-00564-15. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy [viitattu 30.3.2020]. Saatavissa:  
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-00564-15.pdf>

Siikanen, V. 2010. Lämpöpumppu kaupan kylmäjärjestelmän lauhdelämmön talteenotossa–kaksi esimerkkikohdetta. [verkkodokumentti]. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Talotekniikka [viitattu 30.3.2020]. Saatavissa:  
<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/6640/siikanen.pdf?sequence=4>

Solpros Ay. 2006. Aurinkolämpöjärjestelmän periaate. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.3.2020]. Saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>

Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. 2020a. Ilma-vesilämpöpumput [viitattu 27.3.2020]. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/ilma-vesilampopumput>

Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. 2020b. Maalämpöpumppu (MLP) [viitattu 27.3.2020]. Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/maalampopumppu>

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2018. Sähkön ja lämmön tuotanto tuotantomuodoittain ja polttoaineittain 2018. Liitetaulukko 1. [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu 4.3.2020]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/salatuo/2018/salatuo\\_2018\\_2019-11-01\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/salatuo/2018/salatuo_2018_2019-11-01_tau_001_fi.html)

Suuronen, H. 2012. Lauhdelämmön hyödyntäminen kaupan kylmäkoneistoista. [verkkodokumentti]. Opinnäytetyö. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu, Talotekniikka [viitattu 30.3.2020]. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47847/Suuronen\\_Henry.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47847/Suuronen_Henry.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Techeat. 2020. Maalämpökaivo tai energiakaivo [viitattu 27.3.2020]. Saatavissa: <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampokaivo/>

Thermia. 2020. Maalämpö (energiakaivo), Maalämpö (maapiiri), Vesistölämpö [viitattu 22.2.2020]. Saatavissa: <https://www.thermia.fi/maalampo/>

Valor Partners Oy. 2015. Kaukolämmön kysyntäjousto. [verkkodokumentti]. [viitattu 31.3.2020]. Saatavissa: [https://energia.fi/files/439/Kaukolammon\\_kysyntajousto\\_loppuraportti\\_VALOR.pdf](https://energia.fi/files/439/Kaukolammon_kysyntajousto_loppuraportti_VALOR.pdf)

Voutilainen, S. 2017. Hybridikytkentä kaukolämpöverkossa. [verkkodokumentti]. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikka [viitattu 14.4.2020]. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/133653/Kandidaatintyo\\_voutilainen\\_sakari.pdf?sequence=3](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/133653/Kandidaatintyo_voutilainen_sakari.pdf?sequence=3)

Voutilainen, S. 2018. Energiayhtiön palveluntarjonnan kehitys. [verkkodokumentti]. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikka [viitattu 3.4.2020]. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/155144/diplomityo\\_voutilainen\\_sakari.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/155144/diplomityo_voutilainen_sakari.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ympäristöministeriö. 2003. D2 Suomen rakennusmääräyskokoelma. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto -määräykset ja ohjeet 2003. [verkkodokumentti]. [viitattu 31.3.2020]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/465366-D2-suomen-rakentamismaarayskokoelma-rakennusten-sisailmasto-ja-ilmanvaihto-maaraykset-ja-ohjeet-2003.html>

## LIITTEET

Liite 1. Todelliset ja normaalivuoden keskilämpötilat ja lämmitystarveluvut 2015–2020.

Mittauspaikka Espoon Tapiola			Todellinen		Normaali	
Vuosi	Kuukausi	Vrk	Keskilämpötila °C	Lämmitystarve-luku S17	Keskilämpötila °C	Lämmitystarve-luku S17
2015	Tammikuu	31	-1,5	573,5	-3,6	637,8
2015	Helmikuu	28	0,2	470,3	-4,6	605,7
2015	Maaliskuu	31	1,8	470,8	-1,6	576,5
2015	Huhtikuu	30	5,3	352,0	4,6	372,3
2015	Toukokuu	31	9,2	170,6	10,2	120,1
2015	Kesäkuu	30	13,3	0,0	14,3	0,0
2015	Heinäkuu	31	16,0	0,0	18,2	0,0
2015	Elokuu	31	16,5	0,0	16,7	0,0
2015	Syyskuu	30	12,8	43,7	11,8	114,6
2015	Lokakuu	31	5,3	353,6	6,3	332,9
2015	Marraskuu	30	5,1	356,8	1,9	452,9
2015	Joulukuu	31	2,6	446,2	-1,4	569,1
2016	Tammikuu	31	-9,2	812,2	-3,6	637,8
2016	Helmikuu	29	0,1	489,7	-4,6	605,7
2016	Maaliskuu	31	0,4	513,9	-1,6	576,5
2016	Huhtikuu	30	4,5	376,4	4,6	372,3
2016	Toukokuu	31	13,4	37,1	10,2	120,1
2016	Kesäkuu	30	15,0	7,7	14,3	0,0
2016	Heinäkuu	31	17,5	0,0	18,2	0,0
2016	Elokuu	31	15,8	0,0	16,7	0,0
2016	Syyskuu	30	12,5	82,9	11,8	114,6
2016	Lokakuu	31	5,1	368,2	6,3	332,9
2016	Marraskuu	30	-0,4	520,7	1,9	452,9
2016	Joulukuu	31	-0,1	531,0	-1,4	569,1
2017	Tammikuu	31	-2,2	595,7	-3,6	637,8
2017	Helmikuu	28	-2,4	542,3	-4,6	605,7
2017	Maaliskuu	31	1,0	496,7	-1,6	576,5
2017	Huhtikuu	30	2,5	435,1	4,6	372,3
2017	Toukokuu	31	9,2	192,3	10,2	120,1
2017	Kesäkuu	30	13,3	43,2	14,3	0,0
2017	Heinäkuu	31	15,5	0,0	18,2	0,0
2017	Elokuu	31	15,7	24,3	16,7	0,0
2017	Syyskuu	30	11,6	115,8	11,8	114,6
2017	Lokakuu	31	5,4	358,9	6,3	332,9
2017	Marraskuu	30	3,4	409,1	1,9	452,9
2017	Joulukuu	31	1,4	484,7	-1,4	569,1
2018	Tammikuu	31	-1,4	571,7	-3,6	637,8
2018	Helmikuu	28	-7,7	692,1	-4,6	605,7
2018	Maaliskuu	31	-4,2	657,4	-1,6	576,5
2018	Huhtikuu	30	4,7	362,9	4,6	372,3
2018	Toukokuu	31		45,3	10,2	120,1
2018	Kesäkuu	30		7,6	14,3	0,0
2018	Heinäkuu	31		0,0	18,2	0,0
2018	Elokuu	31		0,0	16,7	0,0
2018	Syyskuu	30		79,0	11,8	114,6
2018	Lokakuu	31		304,2	6,3	332,9
2018	Marraskuu	30		411,1	1,9	452,9
2018	Joulukuu	31		562,7	-1,4	569,1
2019	Tammikuu	31		687,2	-3,6	637,8
2019	Helmikuu	28		471,6	-4,6	605,7
2019	Maaliskuu	31		521,8	-1,6	576,5
2019	Huhtikuu	30		305,4	4,6	372,3
2019	Toukokuu	31		169,1	10,2	120,1
2019	Kesäkuu	30		17,0	14,3	0,0
2019	Heinäkuu	31		17,0	18,2	0,0
2019	Elokuu	31		31,6	16,7	0,0
2019	Syyskuu	30		154,7	11,8	114,6
2019	Lokakuu	31		353,1	6,3	332,9
2019	Marraskuu	30		436,6	1,9	452,9
2019	Joulukuu	31		461,5	-1,4	569,1
2020	Tammikuu	31		445,4	-3,6	637,8