



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

RIKU SALOVAARA

Kaukolämmityksen jäähtymän parantaminen väliottokytkenällä

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2022

Tekijä Salovaara, Riku	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä huhtikuu 2022
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Kaukolämmityksen jäähtymän parantaminen väliottokytkenällä		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma, LVI-tekniikka		
Tiivistelmä <p>Energiankäytön tehostamisen yleistyessä myös sen tarve kaukolämpöjärjestelmässä kasvaa. Kaukolämmityksen kohdalla yksi mahdollisuus on vähentää tuotannon päästöjä ja liikkua kohti vihreämpiä energianlähteitä. Kuitenkin toinen merkittävä tapa on myös kaukolämpöveden jäähtymän parantaminen.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin väliottokytkenää, joka voisi olla kaukolämmön jäähtymän parantamiseen yksi ratkaisu. Väliottokytkenällä hyödynnetään käyttövedensiirtimeltä lähtevän kaukolämpöveden lämpöenergiaa lämmityksen lämmönsiirtimessä, kun käyttöveden kulutus on pientä tai sitä ei ole. Työssä keskityttiin vertailemaan suuremman kokoluokan asuinrakennuksia. Työssä väliottokytkenää tutkittiin laskennallisilla sekä mitatuilla menetelmillä.</p> <p>Laskennallisesti väliottokytkenä paransi kaukolämmön jäähtymää vuoden yli tarkasteltuna keskimäärin 8 °C. Käyttöveden kulutuksen huomioiden arvioitiin jäähtymän paranevan vuodessa keskimäärin 6 °C. Väliottokytkenän hyödyn todettiin olevan korkeimmillaan lämmityskauden alussa ja lopussa. Mitatuilla menetelmillä tarkasteltiin kolmea olemassa olevaa kohdetta, joista yhdessä oli väliottokytkenä ja kahdessa muussa välisyöttökytkenä. Kohteet oli liitetty Pori Energian Olo-palveluun mahdollistaen lämmönjakokeskusten muutostyöt. Väliottokytkenällä saavutettiin 9 °C parempi kaukolämmön jäähtymä kuin kahdessa välisyöttökytkenällisessä kohteessa, joissa ei merkittävää muutosta jäähtymään saatu.</p> <p>Kaukolämmön jäähtymän paranemisen todettiin vaikuttavan merkittävästi kaukolämmön tuotantoon, lämpöhäviöihin sekä pumppaustarpeeseen, jolloin koko kaukolämpöjärjestelmän hyötysuhde paranee. Työn lopussa tarkasteltiin välioton kannattavuutta Porin kaukolämpöverkon kannalta. Arvioitiin, että mikäli verkon kerrostaloihin asennettaisiin väliottokytkenä, parantaisi se koko kaukolämpöverkon jäähtymää noin 3 °C. Tämän pohjalta tehtiin investointilaskelma.</p>		
Avainsanat Kaukolämmitys, kytkenä, väliottokytkenä, jäähtymä, paluulämpötila, energiatehokkuus, lämmönjakokeskus.		

Author Salovaara, Riku	Type of Publication Bachelor's thesis	Date April 2022
	Number of pages 68	Language of publication: Finnish
Title of publication Improving district heating cooling by mid-cooling connection		
Degree programme Construction and civil engineering, HVAC engineering		
Abstract <p>As energy efficiency becomes more common, so does the need for it in the district heating system. In the case of district heating, one possibility is to reduce emissions from production and to move towards greener energy sources. However, another significant way is to improve the cooling of district heating water.</p> <p>In the thesis, mid-cooling connection was studied, which could be one solution for improving cooling of district heating water. The mid-cooling connection utilizes the thermal energy of the district heating water leaving from the hot water heat exchanger into the heating heat exchanger when the hot water consumption is low or non-existent. The work focused on comparing larger residential buildings. The mid-cooling connection was studied using computational and measured methods.</p> <p>Computationally, the mid-cooling connection improved the district heating cooling by an average of 8 °C per year. Considering the consumption of hot water, the cooling was estimated to improve by an average of 6 °C per year. The benefit of the mid-cooling connection was found to be highest at the beginning and end of the heating season. The measured methods were used to examine three existing sites, one of which had a mid-cooling connection and the other two had a 2-step connection. The sites were connected to Pori Energia's Olo service, enabling the modification of the heat distribution centers. The mid-cooling connection achieved 9 °C better district heating cooling than the two sites with 2-step connection, where no significant change in cooling was obtained.</p> <p>The improvement in district heating cooling was found to have significant effect on district heat production, heat loss and pumping need, thus improving the efficiency of the entire district heating system. At the end of the work, the profitability of the mid-cooling connection in terms of the Pori district heating network was examined. It was estimated that installing a mid-cooling connection in the apartment buildings of the network would improve the cooling of the entire district heating network by about 3 °C. Based on this, an investment calculation was made.</p>		
Keywords District heating, connection, mid-cooling connection, cooling, return temperature, energy efficiency, heat distribution center.		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 KAUKOLÄMPÖ	6
2.1 Lämmöntuotanto	6
2.2 Lämmönjakelu.....	8
2.3 Lämmönjakokeskus.....	9
2.4 Rakennusautomaatio	14
2.5 Kytkenntätavat	19
2.5.1 Peruskytkentä.....	20
2.5.2 Välisyöttökytkentä.....	21
2.5.3 Väliottokytkentä	22
2.6 Kaukolämmön lisäpalvelut.....	25
3 KAUKOLÄMMÖN JÄÄHTYMÄ	26
3.1 Kaukolämmöntuotanto	27
3.2 Kaukolämmön pumppaustarve.....	30
3.3 Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt	32
4 VÄLIOTTOKYTKENNÄN LASKENNALLINEN HYÖTY	34
4.1 Laskentapisteet	34
4.2 Lähtöarvojen määrittäminen	35
4.3 Laskentatapa.....	38
4.4 Laskennan tulokset ja päätelmät	40
4.4.1 Talo I.....	40
4.4.2 Talo II	43
4.5 Mitatun ja laskennallisen jäähtymän vertailu.....	45
5 MITTAUKSET	48
5.1 Lähtötiedot ja data.....	49
5.2 Kohde 1: Väliottokytkentä	50
5.3 Kohde 2: Välisyöttökytkentä.....	51
5.4 Kohde 3: Välisyöttökytkentä.....	53
6 VÄLIOTTOKYTKENNÄN KANNATTAVUUS	56
6.1 Kokonaishyöty	56
6.2 Investointi ja takaisinmaksu laskelma.....	59
6.3 Toimenpide-ehdotukset.....	60
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	61
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Ilmaston lämpeneminen sekä energiatehokkaammat rakennukset kääntävät kaukolämmön myyntiä laskusuuntaan. Näin ollen tarve energiankäytön tehostamiseen kaukolämpöjärjestelmässäänkin tulee entistä tärkeämmäksi. Vaikka suurin osa Suomessa tuotetusta kaukolämmöstä tuotetaan jo uusiutuvalla energialla, ovat myös muut energiamuodot kehittyneet nopeasti. Lämpöpumpputeknologiat ovat kehittyneet vauhdilla viimeisen kymmenen vuoden aikana ja pystyvät jo kilpailemaan kaukolämmön kanssa lämmitysmarkkinoilla uudis- sekä saneerauskohteissa. Kaukolämpö kilpailee toimitusvarmuudellaan ja helppokäyttöisyydellään. Se on pyrkinyt pitämään markkinavaltansa erilaisilla lisäpalveluilla ja hyvällä asiakastyytyvyydellä. Kuitenkin kaukolämmitys on hyvin joustava lämmitysmuoto ja sen energiatehokkuutta voidaan parantaa usealla eri tavalla. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan kaukolämpöjärjestelmän jäähtymän parantamista väliottokytkennän avulla sekä sen vaikutusta kaukolämmityksen energiatehokkuuteen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, kuinka suuri vaikutus väliottokytkennällä on kaukolämmön kiertoveden jäähtymään. Väliottokytkennän tarkoitus on parantaa kaukolämmön alajakokeskuksen tehokkuutta käyttäen kaukolämpöveden lämpöenergiaa. Väliottokytkentää voidaan hyödyntää kaikissa kiinteistöissä, joissa on lämpimän käyttöveden kiertojohto. Työssä tutkitaan väliottokytkennän hyötyä laskennallisesti kahdessa erityyppisessä kohteessa sekä vertaillaan laskennallisen ja mitatun jäähtymän eroa. Tarkastellaan myös mitatuin menetelmin, miten paljon kaukolämmön jäähtymä on parantunut kolmessa olemassa olevassa kohteessa eri kytkentätapojen kesken. Työssä tarkastelu keskittyy suuremman kokoluokan asuinrakennuksiin.

Väliottokytkentä ei vähennä rakennusten energiankulutusta, vaan sen tarkoitus on käyttää kaukolämmön kiertoveden lämpöenergiaa tehokkaammin näin parantaen kaukolämmön kiertoveden jäähtymää. Näin ollen lämmönostajan näkökulmasta väliottokytkennästä ei ole rahallista hyötyä. Kuitenkin jäähtymällä on suuri merkitys koko

kaukolämpöjärjestelmän toimintaan ja tehokkuuteen. Tarkoituksena on myös tarkastella väliottokytkennän avulla saatavan jäähtymän paranemisen vaikutusta kaukolämpöjärjestelmän toimintaan sekä väliottokytkennän kannattavuutta energiayhtiön kannalta.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Pori Energia Oy. Yhtiön liiketoiminta-alueina ovat kaukolämpö ja -viilennys, teollisuuden energiapalvelut, sähkönjakelu ja tuulivoimapalvelut. Pori Energia Oy on sitoutunut energia-alan energiatehokkuussopimukseen. Liittyneet jäsenet ovat asettaneet tavoitteita energian tuotannon sekä käytön tehostamiselle. Keino saavuttaa energiankäytön tehostamistavoitteet EU:n energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti ovat tämän tyyppiset vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset. (Uhlbeck, 2017, s.8)

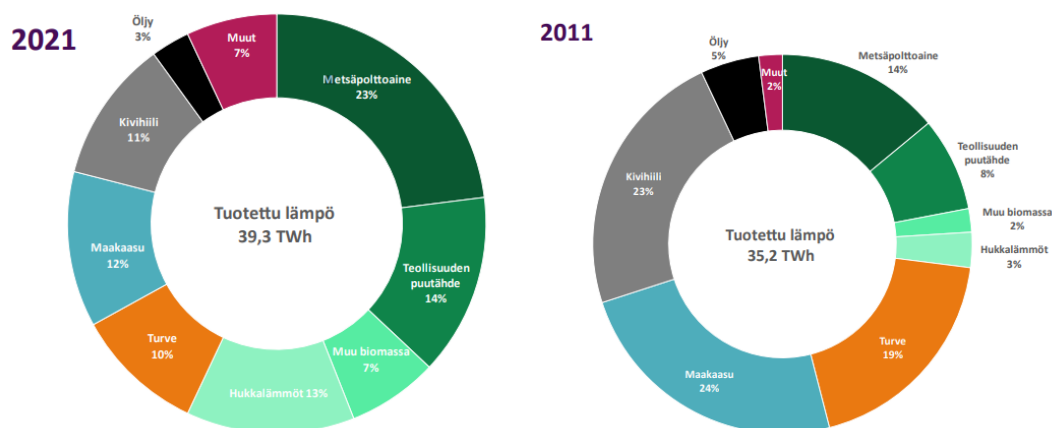
2 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto asuin- ja palvelurakennuksissa (Energiateollisuus ry, 2022, s.18). Kaukolämmön lämpöenergia tuotetaan keskitetysti ja siirretään kaukolämpöverkoston välityksellä asiakkaille. Tuotantolaitoksilla tuotettu lämpöenergia siirretään kuumana vetenä suljetussa kierrossa kaukolämpöverkon välityksellä. Kaukolämpövesi on erotettu kiinteistön toisiojärjestelmistä lämmönsiirtimillä. Kiinteistöön tulevassa menoputkessa kiertävä kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä lämmönsiirtimien avulla asiakkaalle ja palaa jäähtyneenä paluuputkessa uudelleen lämmitettäväksi tuotantolaitokselle. (Motiva, 2022)

2.1 Lämmöntuotanto

Kaukolämmityksen lämmön tuotannossa voidaan käyttää useita lämmönlähteitä, joka tekee siitä hyvin joustavan lämmitysjärjestelmän. Lämmönlähteitä ovat esimerkiksi sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokset (CHP-laitokset), erilliset lämpökeskukset, teollisuuden oheislämpö, vesistöjen lämpö sekä maa- ja geoterminen lämpö. (Mäkelä & Tuunanen, 2015, s.22) Energiateollisuuden vuonna 2021 julkaisemassa artikkelissa

kaukolämmön energialähteiden osuuksia vuosina 2021 ja 2011 on esitetty kuvassa 1. Huomataan, että metsäpolttoaineen ja teollisuuden puutähteen osuus on kasvanut 15 % ja erilaisten hukkalämpöjen hyödyntäminen on kasvanut 10 %. Vastaavasti kivihiilen, turpeen ja maakaasun osuudet ovat laskeneet huomattavasti noin 33 %. Vuodesta 2011 uusiutuvien polttoaineiden määrä onkin melkein tuplaantunut 24 prosentista 43 prosenttiin.



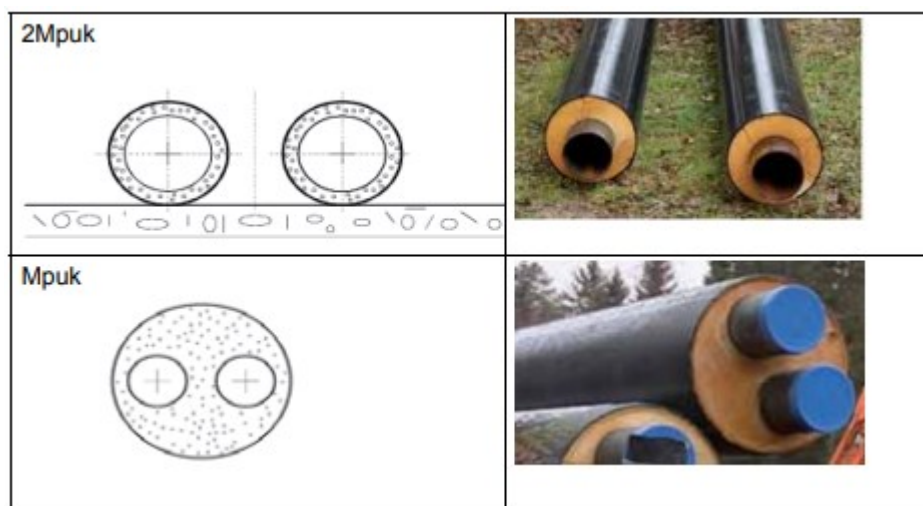
Kuva 1. Kaukolämmön energialähteet 2021 (Energiateollisuus ry 2022, s,5)

CHP-laitoksessa samassa prosessissa tuotetaan sähkö ja lämpöä, jolloin polttoaineen käyttö on tehokasta. CHP-tuotanto voi perustua moottorivoimalaitokseen, kaasuturbiiniprosessiin tai höyryprosessiin. Moottorivoimalaitoksessa sähkö tuotetaan generaattorilla. Moottorin jäähdytysvedestä sekä savukaasuista otetaan lämmönsiirtimien avulla lämpöenergiaa, joka siirretään kaukolämmön kiertoveteen. Kaasuturbiiniprosessissa voi olla lämmönsiirrin savukaasujen lämmön talteen ottamiseksi kaukolämmöksi tai erillinen jätelämpökattila. Jätelämpökattila voi olla myös höyrykattila, jossa voi olla lisäpoltto, tällä tavoin voidaan kaasuturbiinilaitos yhdistää höyryturbiiniprosessiin. Höyryprosessissa on höyrykattila, jonka tuottama höyry ohjataan höyryturbiinin läpi tuottamaan sähköä ja sen jälkeen lämpöenergiaa otetaan lämmönsiirtimien avulla kaukolämpöverkkoon. Lämpökeskukset lämmittävät vettä kaukolämpöverkkoon asiakkaiden tarpeisiin. Ne voivat toimia peruskuormalaitoksina, huippulämpökeskuksina tai varalaitoksina. Lisäksi on myös siirrettäviä lämpökeskuksia. Lämpökeskuksessa voi olla yksi tai useampi kuumavesikattila. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s.24–25)

2.2 Lämmönjakelu

Kaukolämpöjärjestelmän kallein osa on sen jakeluverkosto, mikä johtuu suurista putkimääristä sekä rakentamiskustannuksista. Kaukolämmön jakeluverkoston osia ovat siirtojohdot, runkojohdot ja talojohdot. Kaukolämpölinjoissa käytetyt virtausputket ovat pääsääntöisesti teräsvalmisteisia. Nykyään käytetään pääasiassa tehdasvalmisteista kiinnivaahdotettua putkijärjestelmää. Kiinnivaahdotetussa putkessa virtausputki ja polyeteenisuojakuori on liitetty polyuretaanieristeellä kiinteästi yhteen. Valmiselementteihin kuuluvat suoraputki, -kulma, -haarayhde ja venttiilielementit. Kaukolämpöjohtojen täytyy kestää jatkuvassa käytössä vähintään 50 vuotta.

Kiinnivaahdotettuja rakenteita on kahden tyyppisiä, Mpuk ja 2Mpuk. Nimitykset johtuvat putkien rakenteesta. Muovisuojaakuorta tarkoittaa M, polyuretaanieristettä pu ja kiinnivaahdotettua k. Mpuk-rakenteessa on kuvan 2 mukaan kaksi virtausputkea, jolloin elementtejä tarvitaan yksi kappale. 2Mpuk-rakenteessa on kuvan 2 mukaan yksi virtausputki elementtiä kohden, joten elementtejä tarvitaan kaksi kappaletta meno- ja paluuputkille. Kiinnivaahdotetut putket ovat kitkajännitetyjä ja ne sallivat lämpölaajenemisesta johtuvat jännitykset. Putkisto esilämmitetään ennen peittämistä keskimääräiseen lämpötilaan. Lämpölaajenemisesta johtuvat jännitykset saadaan hallittua elementin ja maan kitkavoimien avulla. (Koskelainen ym., 2006, s.137)

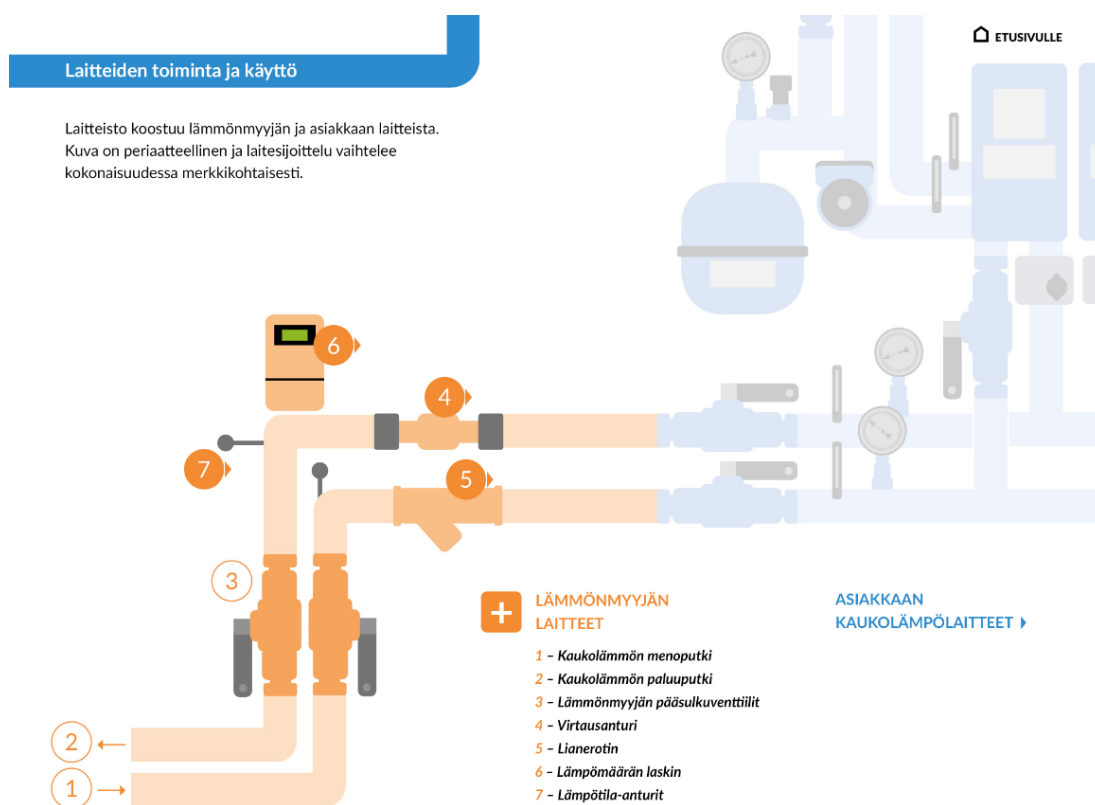


Kuva 2. 2Mpuk- ja Mpuk-kaukolämpöelementit (Mäkelä & Tuunanen, 2015, s.57.)

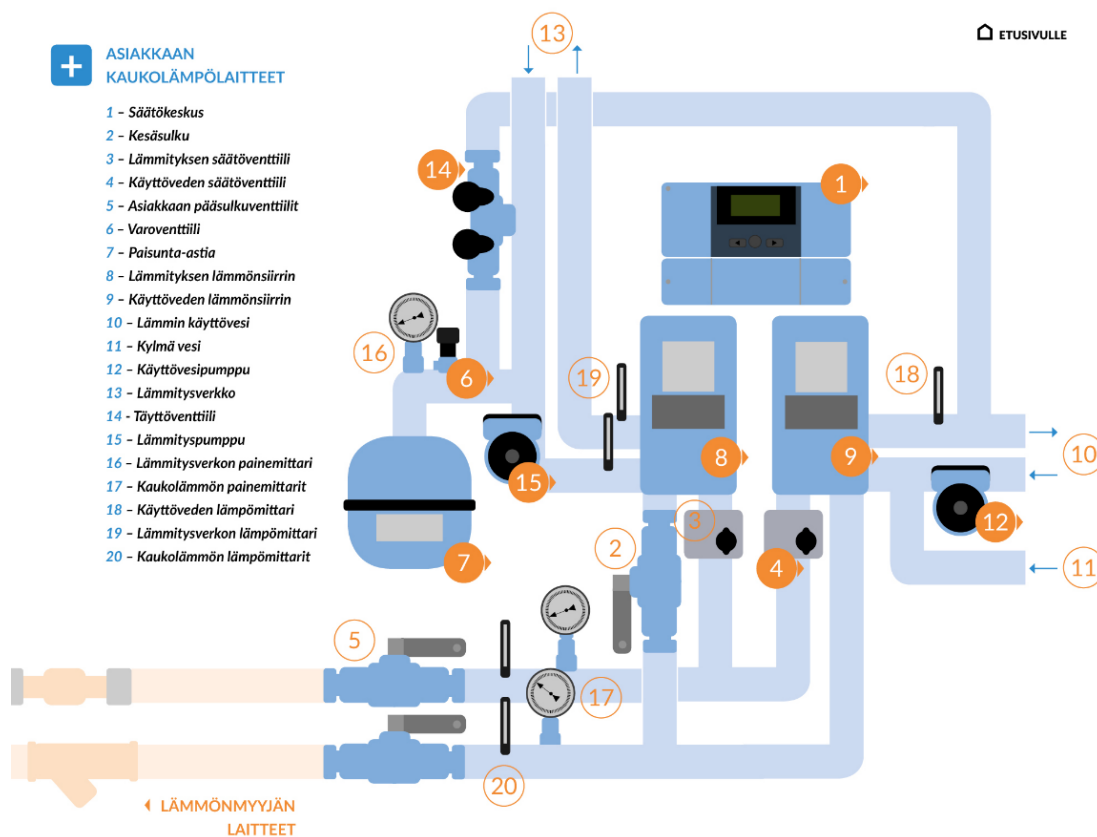
2.3 Lämmönjakokeskus

Lämmönjakokeskus yhdistää asiakkaan kaukolämpöverkkoon ja toimii lämmön vastaanottopisteenä. Jokainen asiakas on kytketty kaukolämpöverkostoon omalla lämmönjakokeskuksella. Kaukolämpövesi sekä rakennusten toisiojärjestelmien vedet on erotettu toisistaan lämmönsiirtimillä. Lämmönsiirtimiä käytetään kaukolämpöverkon korkeiden paine- ja lämpötilatasojen takia, koska ne poikkeavat huomattavasti rakennusten lämmönjakojärjestelmistä. Kohdekohtainen lämmönsäätö ja rakennusautomaatio mahdollistavat yksilöllisen lämmöntoimituksen.

Lämmönjakokeskuksessa on lämmönmyyjän sekä asiakkaan laitteita. Yleensä lämmönmyyjän omistamana rajana pidetään asiakkaan pääsulkuventtiileitä. Käytännössä asiakkaalle kuuluu tehdasvalmis kaukolämmön alajakokeskus kokonaisuudessaan. Kuvissa 3 ja 4 on tarkemmin esitetty mitä laitteita kummallekin osapuolelle kuuluu.



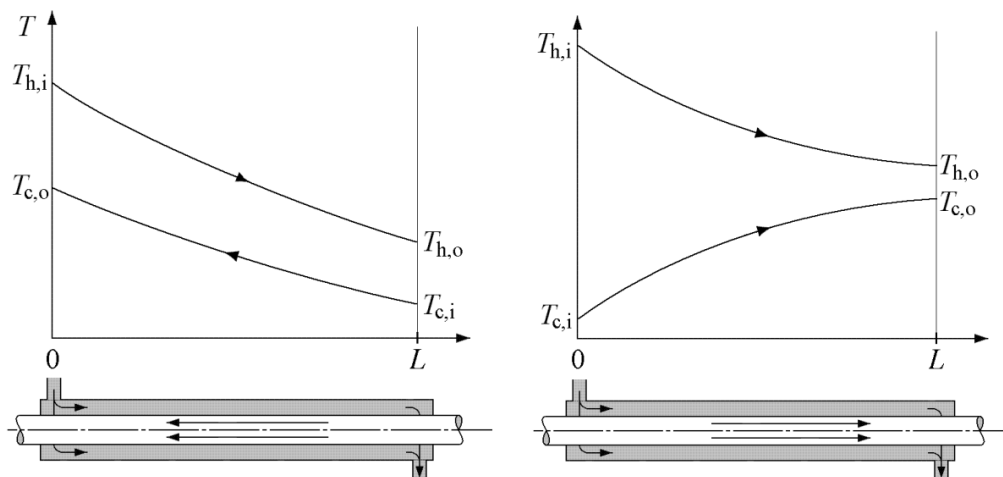
Kuva 3. Lämmönmyyjän laitteet lämmönjakokeskuksessa (Energiateollisuus ry, 2020c, s.3)



Kuva 4. Asiakkaan laitteet lämmönjakokeskuksessa (Energiateollisuus ry, 2020c, s. 4)

Lämmönjakokeskuksen oleellisin osa on varmasti sen lämmönsiirtimet. Lämmönsiirrin on laite, jolla siirretään lämpöenergiaa kahden tai useamman erillämpöisen fluidin välillä. Lämmönsiirtimiä voidaan kutsua rekuperaattoreiksi tai regeneraattoreiksi. Rekuperaattoreiksi kutsutaan siirtimiä, joissa lämmönsiirto tapahtuu fluidien välillä lämmönsiirtopinnan läpi. Regeneraattori nimitystä käytetään, kun lämmönsiirtymistä tapahtuu suoraan fluidien välillä ilman lämmönsiirtopintaa. Ilmanvaihdoissa käytettävät pyörivät lämmöntalteenottolaitteet ovat tämän tyyppisiä.

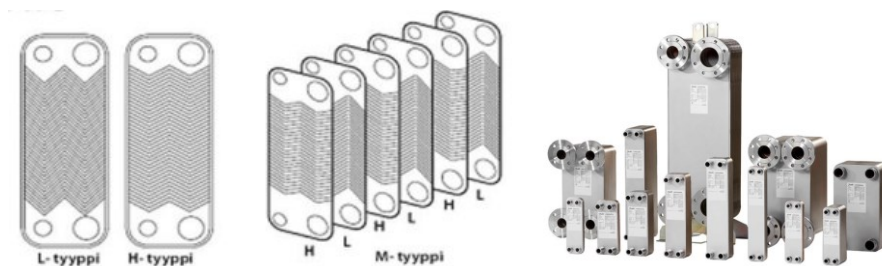
Lämmönsiirtimet jaetaan myötä-, vasta- ja ristivirtasiirtimiin ensiö- ja toisiopuolen virtausjärjestelyn perusteella. Myötävirtalämmönsiirtimessä fluidit virtaavat siirtimessä nimensä mukaan samansuuntaisesti. Myötävirtasiirtimien hyötysuhde on näistä heikoin ja siinä sisään tulevien fluidien lämpötilaerot voivat aiheuttaa termisiä jännityksiä. Vastavirtasiirtimissä fluidit virtaavat toisiaan vastaan ja tämä onkin termodynaamisesti paras järjestely. Kuvassa 5 on esitetty putkilämmönsiirrin vasta- ja myötävirtatilanteessa. Ristivirtalämmönsiirtimissä fluidit virtaavat ristiin ja tämä järjestely onkin tehokkuuden kannalta myötä- ja vastasiirtimien välissä. (Saari, 2010, s. 12–13)



Kuva 5. Yksinkertainen putkilämmönsiirrin vasta- ja myötävirtatilanteessa (Saari 2010, s. 13)

Lämmönsiirtimet mitoitetaan yleensä hankalimman odotettavissa olevan tilanteen mukaan. Tämä pätee myös kaukolämmön lämmönsiirtimien mitoituksessa. Mitoitus määräytyy siirrettävän lämpötehon määrästä ensiöpuolen virtauksesta toisiopuolen virtaukseen. Pääasiassa kaukolämmityssä rakennuksessa on kolme lämmönsiirrintä; lämmityksen-, ilmanvaihdon- ja käyttövedensiirtimet. Lämmityksen siirrin mitoitetaan lämmitystehontarvelaskelman mukaan, joka määräytyy rakennuksen rakennusmateriaalien ja niiden lämmönjohtavuuksien mukaan. Ilmanvaihdon siirrin mitoitetaan tuloilmavirran lämmittämiseen tarvittavan lämpötilan aikaan saaman tehon mukaan. Käyttöveden siirrin mitoitetaan toisiopuolen lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaaman ja kylmän- ja lämpimän veden lämpötilaeron mukaan.

Lämmönsiirtimien levypakka muodostuu kuvan 6 mukaisista L- tai H-tyyppisistä lämmönsiirtopintalevyistä. Kalanruotokuvio on yleisesti käytetty pintakuvio ja se pyrkii samaan aikaan mahdollisimman suuren pyörteisyyden pienillä virtausnopeuksilla. (Danfoss, 2022) L-tyyppisessä lämpöpintalevyssä kalanruotokuvio on pienemmässä kulmassa kuin H-tyypin levyssä. H-tyyppisistä valmistetussa lämmönsiirtimissä on parempi lämmönluovutusteho, mutta ne tuottavat suuremman painehäviön. Lämmönsiirtimiä voidaan valmistaa myös molempien levytyyppien yhdistelmästä. Yhdistelmää kutsutaan M-tyyppiseksi ja siinä joka toinen levy on L-tyyppinen ja joka toinen on H-tyyppinen. (Sirén, 2021)



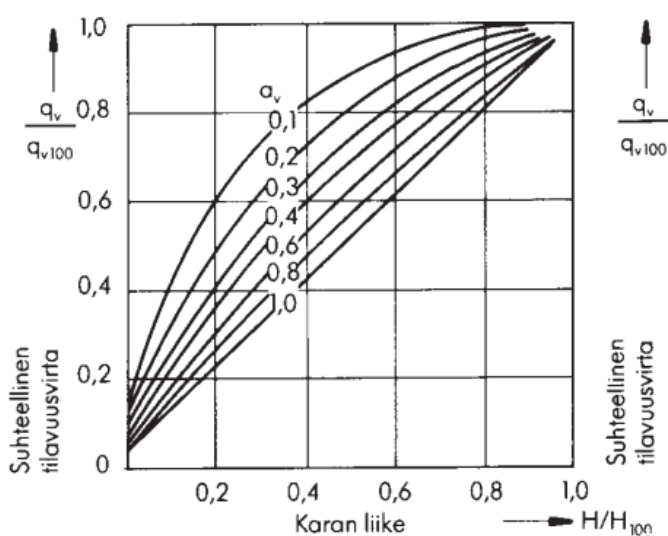
Kuva 6. Lämmönsiirtimien levytyypit. (Sirén, 2021)

Kaukolämmön lämmönsiirtiminä asuinrakennuksissa käytetään yleisesti kovajuotettuja vastavirtalevylämmönsiirtimiä. Juotettujen vastavirtalevylämmönsiirtimien lämmönsiirtokyky on hyvä niiden asteisuuden takia. Asteisuus kertoo ensiö- ja toisiovirtojen lämpötilaeron prosessin tietyssä pisteessä. Jos kyseessä on vastavirtatyypinen siirrin, asteisuus ilmaisee ensiöpuolen tulolämpötilan ja toisiopuolen paluulämpötilan lämpötilaeroa. K1 mukaan lämpimän käyttöveden siirtimen asteisuus saa olla korkeintaan $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja lämmityspiirien siirtimien $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Energiateollisuus ry, 2021, s.8–9). Juotetun vastavirtalevylämmönsiirtimen heikkoutena on sen pieni vesitilavuus, mikä voi aiheuttaa nopeasti vaihtelevissa lämmitysprosesseissa säätöongelmia. Lämmityspiireissä lämpötilojen vaihtelut on sidottu lähes lineaarisiin säätökäyriin, mutta käyttövedensiirtimelle tuleva kylmävesi on lähes aina $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteista.

Käyttövedensiirtimenä on mahdollista käyttää ns. kaksivetoista lämmönsiirrintä, jossa lämmönsiirtopinnan pituus on kaksikertainen vastaavan kokoiseen yksivetoiseen siirtimeen verrattuna. Tämän tyyppinen siirrin mahdollistaa lämpimän käyttöveden kiertojohdon paluueden johtamisen siirtimen puoliväliin. Kaksivetoista siirrintä käytetään sen säätyvyyden ja jäähtymän takia. Lisäksi kaksivetoiseen lämmönsiirtimen pystytään liittämään lämmityssiirtimeltä palaava kaukolämpövesi esilämmittämään käyttövettä, josta käytetään nimitystä välisyöttö. Kun lämmityssiirtimeltä palaavan kaukolämpöveden lämpötila on alhainen, kyseinen putkiyhte tulpataan, jolloin kyseessä on peruskylkyntä. (Energiateollisuus ry, 2017)

Säätöventtiilien tehtävänä on säätää virtauksen suuruutta lisäämällä tai rajoittamalla verkoston painetta. Säätöventtiili aiheuttaa siis painehäviötä, jonka suuruus riippuu sen säätöasennosta. Venttiilin avautuman ja sen läpi kulkevan virtaaman välinen riippuvuus ei ole lähellekään sama. Kuvassa 7 on esitetty lineaarisen säätöventtiilin ominaiskäyrä eri vaikutusasteilla. Säätöventtiilin ominaiskäyrä kertoo, millainen riippuvuus

venttiilin avautumalla ja sen läpikulkevalla tilavuusviralla on. Ominaiskäyrä voi olla joko lineaarinen tai tasaprosenttinen eli logaritminen. Käyrän muoto riippuu venttiilin auktoriteetista, joka saa arvoja nolasta sataan prosenttiin. Säätoventtiilin on tarkoitus säätää virtaamaa halutun lämpötilan mukaan. Esimerkiksi kolmitieventtiilin kohdalla voidaan vesiä sekoittaa kuitenkin kokonaisvirtaaman tulisi pysyä samana. Kaukolämmityksen alajakokeskuksen säätöventtiilit säätävät kaukolämpöverkon kiertoveden virtaamaan siirtimien läpi. Näin ollen ne säätävät lämpöenergiaa sen mukaan, mitä rakennuksessa kulutetaan kullakin hetkellä. Lämmitysverkoston säätö perustuu säätökäyrästään, taas lämpimän käyttöveden lämpötila on vakio koko ajan. (Kivioja, 2019)

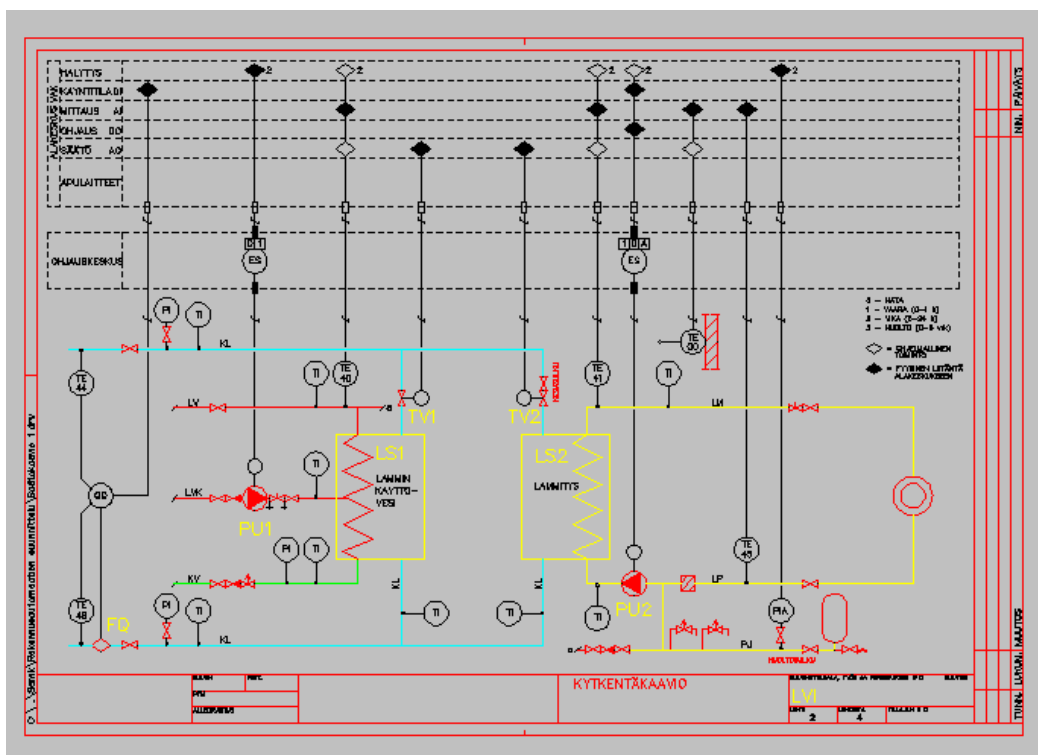


Kuva 7. Lineaarisen venttiilin käyttöominaisuuskäyrä eri vaikutusasteilla. (LVI 12-10126, 1989, s.3)

Oikeaoppisesti mitoitettu säätöventtiili takaa lämmitysjärjestelmän toimivuuden sekä vakaan säädön. Tarkasteltaessa lineaarisella ominaiskäyrällä varustettua venttiiliä, joka on mitoitettu matalalla auktoriteetilla eli vaikutusasteella 0,2, on kuvan 12 mukaisesti piirin tilavuusvirta 40 %:n avautumalla tällöin noin 70 %. Jos piiri on varustettu lämmittimellä luovuttaa se 75 % ylimääräistä lämpötehoa ympäristöönsä. Tämä lähtökohta järjestelmän optimoinnille ei ole toivottu. Venttiilin auktoriteetin tulisikin olla yli 0,5, jolloin ominaiskäyrä ei vääristy liikaa.

2.4 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaation avulla voidaan ohjata, säätää ja valvoa monia eri teknisiä järjestelmiä rakennuksessa kuten ilmanvaihto-, lämmitys-, jäähdytysjärjestelmiä. Automaatiojärjestelmä on kokonaisuus, jolla prosessia valvotaan ja ohjataan. Se muodostuu automaatiolaitteista ja ohjelmistoista, jotka toteuttavat prosessin hallintaan liittyvät automatisoidut osat. Rakennusautomaatio mahdollistaa rakennuskannan järkevän ylläpidon ja helpon seurannan sekä käytönaikaisten ylläpitokustannusten pienemisen. Automaatiojärjestelmän on tarkoitus tavoitella hyötyä parantunein sisäolosuhtein, energian säästön rutiinistyön vähentymisen ja helpottumisen sekä pienentynein taloudellisten ja henkilöriskien muodossa. Automaatiojärjestelmä sisältää kentälaitteet, tiedonkäsittelylaitteet, käyttöliittymät sekä käytössä ja ylläpidossa tarvittavat apuvälineet, kuten käyttöohjeet ja ohjelmointityökalut. Kuvassa 8 on esitetty kaukolämmityksen alajakokeskuksen tyypillinen kytkentäkaavio. Järjestelmän rakenne määrittelee sen, miten automaatiojärjestelmän eri elementit, kuten esimerkiksi I/O-moduulit (tulot/lähdöt), prosessiasemat, työasemat ja näyttöjen liitännät on yhdistetty tiedon siirtoa varten. (Kivioja, 2019)



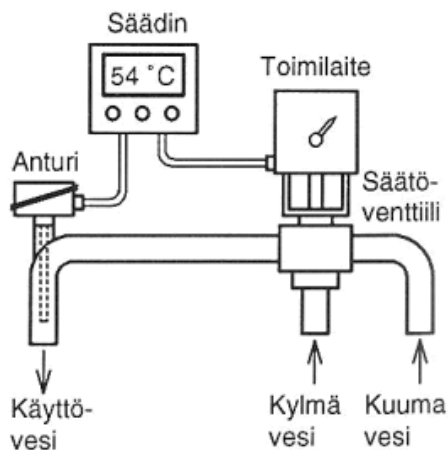
Kuva 8. Tyypillinen automaatiojärjestelmän kytkentäkaavio kaukolämmityksen alajakokeskuksessa.

Käyttäjän ja toimiteiden välisen rajapinnan muodostaa käyttöliittymä, joka voi olla joko laite-, tila-, käyttäjä- tai hallintajärjestelmä kuten valvomo. Käyttöliittymä on käyttäjän ja erilaisten ohjelmistojen tai laitteiden välinen informaation kaksisuuntainen siirtorajapinta. Käyttäjä operoi erilaisten käyttöliittymien välityksellä kiinteistön teknisten järjestelmien kanssa. Hyvän käyttöliittymän ominaisuuksia ovat tunnistettavuus, selkeys, tehokkuus sekä tarkoituksenmukaisuus. Esimerkiksi jos valvomonäytöllä oleva symboli muistuttaa kenttälaitetta, on käyttäjän helpompi tarkastella tai muuttaa haluamiansa parametreja. Näin ollen järjestelmän käytön tehokkuus on suoraan verrannollinen sen selkeyteen. Välillä kuitenkin turvallisuus voi olla ristiriidassa tehokkuuden sekä käytettävyyden kanssa, mikäli laitteen voi käynnistää vain yhden napin painalluksella. Käynnistäminen on yleensä hyväksyttävä erillisellä painikkeella, ettei vahinkokäynnistyksiä tapahtuisi. (Virtanen, 2012, s.14) Kuvassa 9 on Ouman Ouflex A-käyttöliittymä, josta voidaan tarkkailla lämmitysjärjestelmän toimintaa ja säätää sen eri parametreja.



Kuva 9. Oumannin Ouflex A-käyttöliittymä. (Ouman Oy, 2022)

Kiinteistöön liitetään monenlaisia fyysisiä automaatiojärjestelmän laitteita. Kuvassa 10 on esitetty, miten halutun lämpöistä lämmintä käyttövettä saadaan vesipisteelle. Putkessa oleva anturi mittaa koko ajan käyttöveden lämpötilaa ja antaa siitä tiedon säätimelle. Säädin säätää toimilaitetta, joka liikuttaa säätöventtiilin karaa siten että, kylmän ja kuumen veden sekoitussuhteesta saadaan aikaan säätimen asetusarvon mukaista lämmintä käyttövettä.



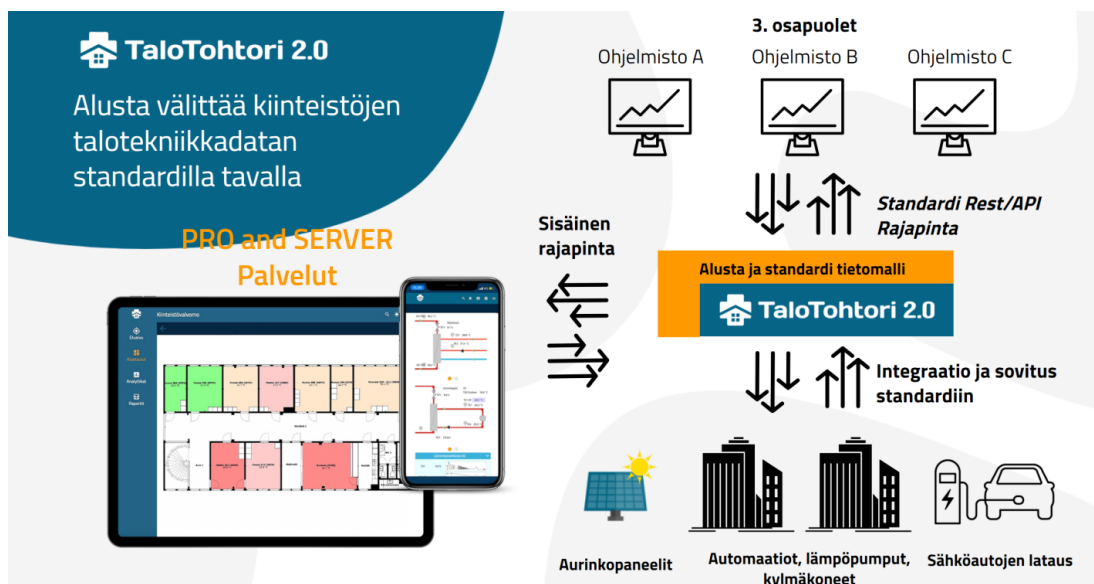
Kuva 10. Yksikkösäädin, anturi, toimilaite ja venttiili (Värjä & Mikkola, 1999, s.58)

IoT on lyhenne, joka tulee sanoista Internet of Things. IoT-käsite pitää sisällään useita erilaisia teknologioita ja laitteita eikä sille löydy tarkkaa määritelmää, vaan se sallii tekniikoita useilta eri alueilta. IoT-järjestelmät suunnitellaan toimimaan yksinkertaisilla laitteilla mahdollisimman energiatehokkaasti. IoT-järjestelmiä on monenlaisia, yksittäisistä antureista suurempiin kokonaisuuksiin. Yhteistä niille on, että laitteet ovat yhteydessä internetiin tavalla tai toisella ja ne voidaan tunnistaa, nimetä ja määrittellä osoitteiden avulla. Kuitenkin IoT-laitteet voitaisiin määrittellä laitteiksi, jotka yhdistävät fyysisiä laitteita tai kokonaisuuksia digitaalisen maailman internettiin. IoT-tarjoaa erilaisia valvonnan mahdollisuuksia fyysiselle laitteistolle. (Chebudie ym. 2014, 6–7, 22 ja 42–43)

Yleisimpiä IoT-laitteita ovat mm. tagit, lukijat, anturit ja toimilaitteet. Tagit mahdollistavat yksilöllisen tunnistamisen laitteiden välillä. Lukijoita käytetään tagien lukemiseen, kirjoittamiseen ja tiedonvälittämiseen. Anturit antavat tietoa fyysisestä laitteesta ja mittaavat sen avulla tiettyä suuretta. Yleinen mitta-anturi on esimerkiksi sisäilman olosuhdeanturi, joka voi mitata tilan lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Toimilaitteiden avulla pystytään ohjaamaan fyysisiä laitteita monin eri tavoin. (Seppänen, 2021, s.15)

Kiinteistöjen automaatiojärjestelmien valmistajia on useita ja näin ollen jokainen järjestelmä eroaa toisestaan. Talotohtori 2.0 on Enermix Oy:n kehittämä rakennusten etävalvontaan tarkoitettu alustapohjainen palvelu. Alusta erottuu tällä hetkellä muista

vastaavan tyyppisistä järjestelmistä, koska siihen voidaan tuoda tietoa eri automaatiojärjestelmistä. Talotohtori palvelu tarjoaa yhtenäisen ja standardoidun tavan esittää tietoa kiinteistöistä. (Enermix Oy, 2022) Kuvassa 11 on esitetty Talotohtori 2.0-alustaa. Yleisempi tapa on ollut käyttää etävalvontaa sopivissa valvomoissa käyttäen kiinteistöautomaation toimittajan järjestelmiä.



Kuva 11. Talotohtori 2.0-alusta esittely. (Enermix Oy, 2022)

Älykäs lämmityksen ohjaus parantaa myös asuinmukavuutta ylläpitämällä tasaisia sisäilman olosuhteita. Älykäs ohjaus perustuu lämmitysjärjestelmän ohjaamiseen ulkolämpötilan lisäksi myös asunnoista mitattuun sisäilman lämpötilaan, jolloin turhaa energiaa ei kulu. Kaukolämmön tehontarve vaihtelee rakennuksittain hyvin paljon johdettujen esimerkiksi lämpimän käyttöveden kulutuksesta tai ilmanvaihdosta. Älykäs lämmitysohjaus osaa automaattisesti tunnistaa nämä hetkittäiset piikit ja pystyy tasamaan niitä.

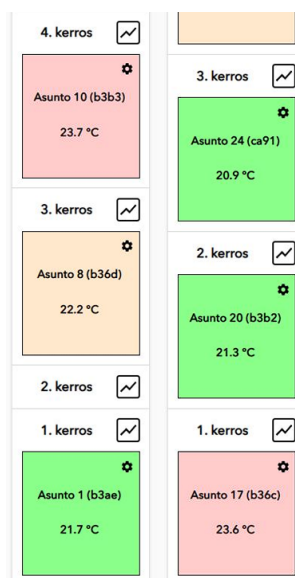
Talotohtori-järjestelmän avulla voidaan myös IoT-antureilta saatavat tiedot liittää automaatiojärjestelmiin, jolloin erilaiset lisämittaukset ovat edullisempia ja helpompia toteuttaa. Talotohtori järjestelmä käyttää standardoituja teknisiä rajapintoja. REST (Representational state transfer) on HTTP-protokollaan perustuva arkkitehtuurimalli ohjelmointirajapintojen toteuttamiseen. Sen avulla voidaan lähettää pyyntöjä HTTP- tai salatun HTTPS-protokollan yli toisille palvelimille, jotka palauttavat datan halutussa muodossa. REST on erittäin skaalautuva, jolloin se mahdollistaa useiden

komponenttien ja niiden välisen kommunikoinnin. Kuvassa 12 on kuvattu REST API-toiminnan peruseriaatetta. (Aalto, 2019, s.17)



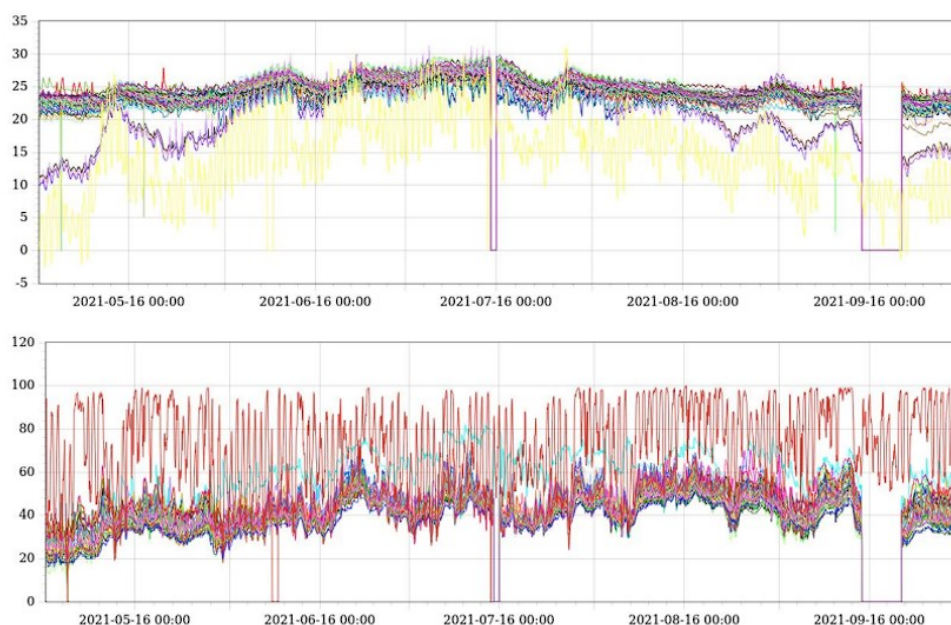
Kuva 12. REST API- toiminnan peruseriaate. (Tree Web Solutions, 2021)

Talotohtorin avulla voidaan seurata jokaisen asunnon lämpötiloja ja näin ollen tunnistaa huoneistot, joissa on huonot sisäilmaolosuhteet. Huoneistokohtaisten lämpötilantureiden avulla nähdään helposti esimerkiksi patteriverkoston tasapainotuksen tarve. Kuvasta 13 nähdään, että asunnossa 24 oleskeluvyöhykkeen lämpötila on toivotulla 21 °C:een tasolla, mutta asunnossa 10 lämpötila on lähes 24 °C. Kun asuinhuoneistojen lämpötiloja voidaan seurata, pystytään lämmitysjärjestelmän säätökäyrää hienosäätämään tarpeen mukaan energian säästämiseksi.



Kuva 13. Taloyhtiön asuinhuoneistojen lämpötiloja Talotohtori näkymästä. (Talotohtori, 2022)

Talotohtorin ja IoT-antureiden avulla voidaan seurata huoneistojen lämpötiloja sekä suhteellisia kosteuksia. Niiden avulla on muodostettu kesäajalta kuvaaja 14, jossa näkyy lämpötila sekä suhteellinen kosteus. Huomataan että lämpötila erot huoneiden välillä ovat noin 5 °C. Kesähelteiden aikana lämpötila huoneistoissa on noussut pitkäkikin aikaa yli 25 °C:een. Sisäilmaluokkien mukaan oleskeluvyöhykkeellä ei saisi lämpötila nousta yli 27 °C:een enemmän kuin 150 astetunnin ajan vuodessa. Mukavuuslämpökuvaajien avulla on mahdollista luoda havainnollisia yleiskuvia kohteista, joiden mukaan voidaan tehdä tarvittavia säätötoimia energiatehokkuuden sekä asuinmukavuuden parantamiseksi.



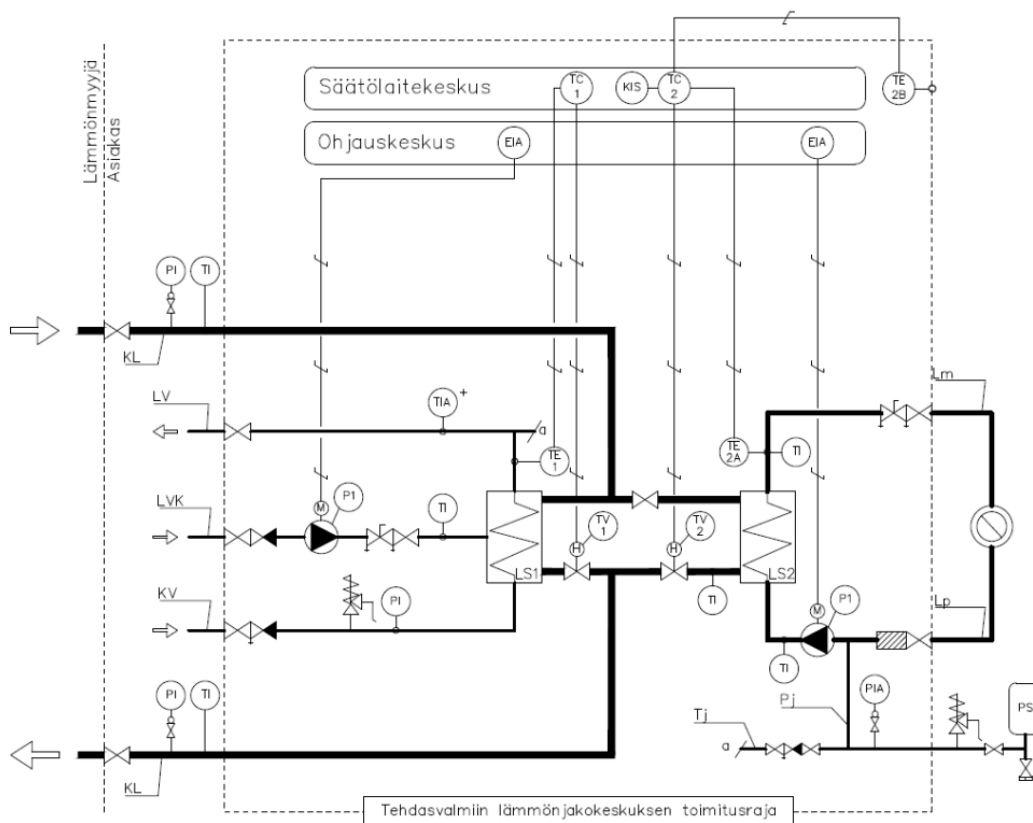
Kuvaaja 14. Erään taloyhtiön kesäkauden lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat. (Tampereen yliopisto, 2022, s.9)

2.5 KytKentätävät

Yleisimmät kaukolämmön kytKentätävät on kuvattu julkaisussa K1/2021 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Siinä on käsitelty kaukolämpölaitteiston eri kytKentätäpoja sekä annettu suosituksia siitä, minkä tyyppisiin rakennuksiin niitä asennetaan. Opinnäytetyössä käsitellään lyhyesti yleisimpiä, suuremman kokoluokan rakennuksissa käytettäviä kaukolämmön kytKentätäpoja sekä perehdytään tarkemmin uuteen väliottokytKenttään.

2.5.1 Peruskyltöntä

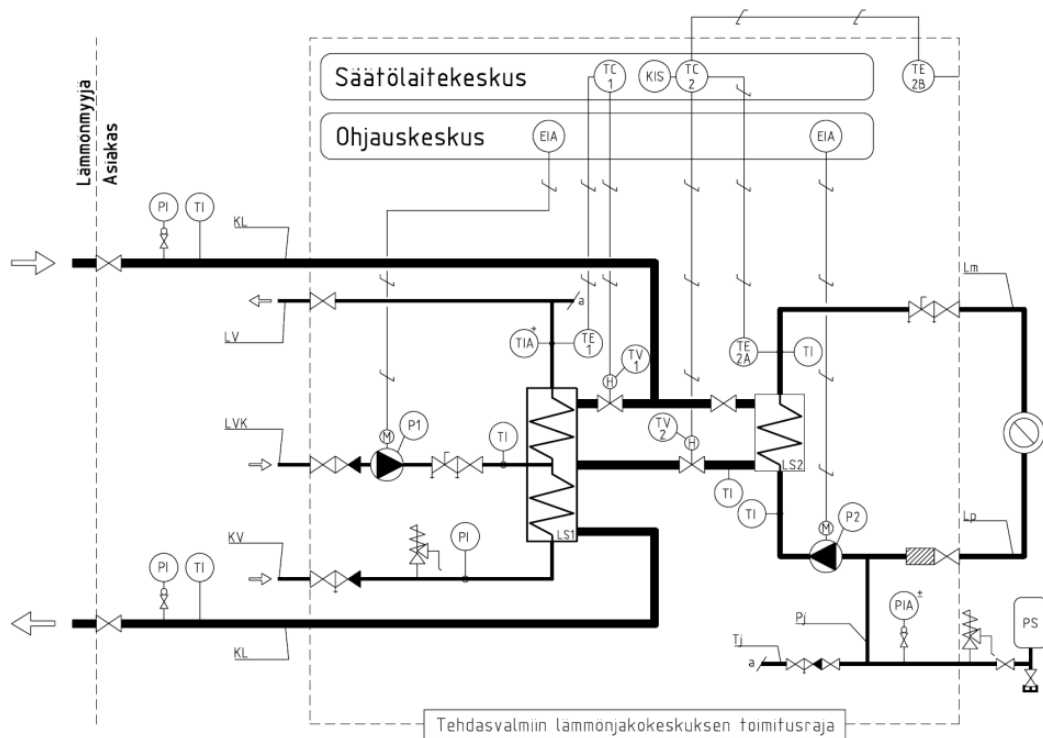
Peruskyltöntä käytetään, kun lämmitys- tai ilmanvaihtosiirtimeltä palaavan kauko- lämpöveden lämpötilaa ei voida hyödyntää käyttövesisiirtimessä jäähtymän kasvatta- miseksi. Tämän tyyppinen tilanne on ohjeellisesti, kun lämmitys- tai ilmanvaihtopi- iristä palaavan veden lämpötila on mitoituslämpötilassakin alle 40 °C. Peruskyltöntä- nässä käyttövedensiirtimenä käytetään kaksivetoista siirrintä. Peruskyltöntä- nässä lämmitystehontarve on yli 30 kW ja käyttöveden yli 120 kW. Mikäli lämmönsiirtimien tehot olisivat näiden alle, käytettäisiin pientalokyltöntä, joka on hyvin samanlainen kuin peruskyltöntä. (Energiateollisuus ry, 2021, s.30) Kuvassa 15 on esitetty kauko- lämmön peruskyltöntä.



Kuva 15. Peruskyltöntä (Energiateollisuus ry, 2021, s.33)

2.5.2 Välisyöttökyltöntä

Välisyöttökyltöntä on peruskyltöntä tehokkaampi tapa, koska lämmitys- tai ilmanvaihtosiirtimen kaukolämpöveden paluulämpötila on hyödynnettävissä käyttövesisiirtimessä jäähtymän parantamiseksi. Välisyötössä lämmityssiirtimessä jäähtynyttä kaukolämpövedettä pyritään jäädyttämään lisää johtamalla se vielä käyttövedensiirtimelle luovuttamaan lämpöä. Välisyöttökyltöntä on esitetty kuvassa 16. Kyltöntä voidaan käyttää, kun käyttöveden teho on yli 120kW ja lämmitys- tai ilmanvaihtosiirtimeltä palaavan kaukolämpöveden lämpötila on yli 45 °C. Lisäksi kyltöntä voidaan käyttää, kun käyttöveden teho on yli 300kW ja lämmitys- tai ilmanvaihtosiirtimeltä palaavan kaukolämpöveden lämpötila on 0...45 °C. Välisyöttökyltöntän hyödynnettävyyttä tulisi selvittää lisäksi aina, kun lämmintä käyttövedettä käytetään ajallisesti pitkään esimerkiksi kylpylöissä tai teollisuusprosesseissa. (Energiateollisuus ry, 2021, s.31)

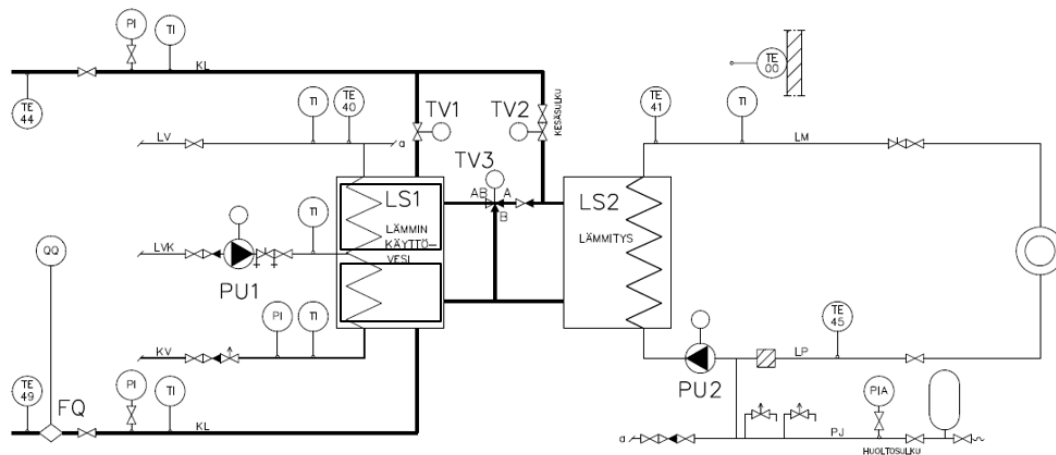


Kuva 16. Välisyöttökyltöntä. (Energiateollisuus ry, 2021, s.35)

2.5.3 Väliottokytkenä

Väliottokytkenä on periaatteeltaan samanlainen ratkaisu kuin välisyöttökytkenä, mutta hieman paranneltu versio. Väliottokytkenän lämmönjakokeskukseen on kehitetty HögforsGST Oy. Väliottokytkenän tavoitteena on entisestään hyödyntää kaukolämpöveden energiaa mahdollisimman tehokkaasti kierrättämällä kaukolämpövesi käyttövesisiirtimen kautta lämmityssiirtimeen esilämmittämällä sitä, minkä jälkeen se vielä palaa käyttövesisiirtimeen. (HögforsGST Oy, 2020a) Käyttöveden kulutuksen kasvaessa käyttöveden siirtimeltä lähtevä kaukolämpövesi palaa esilämmittämään käyttövettä ja näin ollen se ei enää jatka lämmityksen siirtimeen jäähtymään lisää. Tässä tilanteessa kytkennän toiminta ei eroa juurikaan peruskytkennässä. Suurin hyöty kytkennästä saadaan siis, kun käyttöveden kulutus on nolla ja lämmitetään lämpimän käyttöveden kiertoa. Kytkentää on esitetty kuvassa 17 sekä liitteessä 1 on kuva etäkäytössä olevasta väliottokytkenästä.

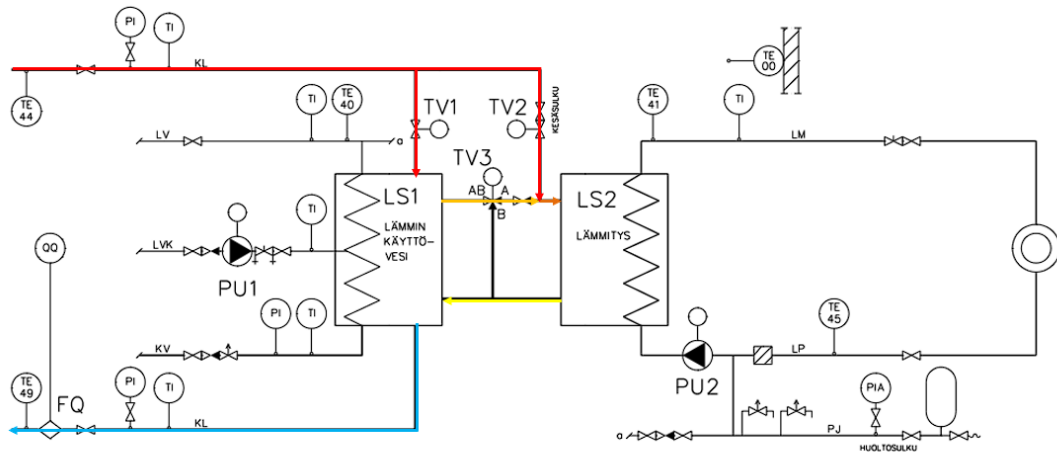
Väliottokytkenässä käyttövettä lämmitetään käytännössä kahdessa eri vaiheessa. Jakamalla käyttöveden siirrin kahteen osaan ylempään ja alempaan voidaan ajatella, että ylempi osa kattaa lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt ja alempi osa kulutukseen menevän lämpöenergian. (AFRY Finland Oy, 2020, s.7) Kun rakennuksessa kuluu käyttövettä molempien osien kautta, siirtyy lämpöenergiaa käyttöveteen. Kulutuksen ollessa nolla lämpöenergiaa siirtyy vain kiertojohdon lämpöhäviöiden kattamiseen. Yläosassa jäähtynyt kaukolämpövesi hyödynnetään lämmityspuolella. Lämmitystarpeen kasvaessa rakennusautomaatio tunnistaa kasvaneen energiantarpeen ja syöttää suoraan kaukolämpöväettä lämmityssiirtimelle, jolloin myös toimitusvarmuus pysyy ennallaan.



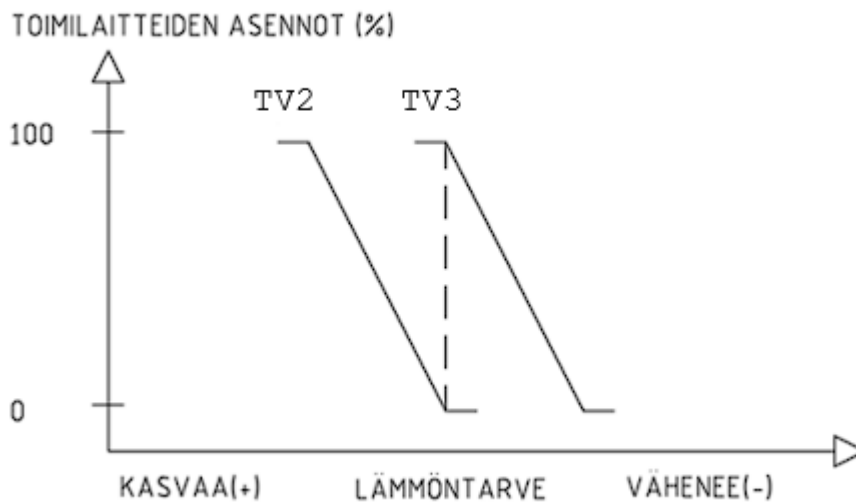
Kuva 17. Kaukolämmön väliottokytkenä

Oleellinen osa väliottokytkenä on Högforsin Fiksu-ohjausjärjestelmä, koska väliottokytkenän kolmitieventtiiliä sekä lämmityksen säätöventtiiliä pystytään säätämään sen avulla. Säätöventtiilien oikea mitoitus todettiin tärkeäksi lämmönjakokeskuksen toiminnan kannalta varsinkin, kun tavoitteena oli käyttää kaukolämpöveden energiaa mahdollisimman tehokkaasti. Tämän takia väliottokytkenä vaatii toimiakseen Fiksu-ohjausjärjestelmän, jotta järjestelmä säätyy oikealla tavalla. Fiksu on lämmitysjärjestelmien etäohjausta ja energiasäästöä varten kehitetty ohjausjärjestelmä. Se on selainpohjainen, jolloin se ei ole pelkästään sisäinen järjestelmä, vaan se pystyy jakamaan tietoa rajapintojen kautta eri toimijoille kuten energialaitoksille (HögforsGST Oy, 2020b).

Kuvassa 18 on esitetty väliottokytkenä toimintaa päälle kytkettynä. Kun väliottokytkenä on päällä kolmitieventtiili (TV3) päästää käyttövedensiirtimen kautta (LS1) lämpöenergiaa luovuttanutta kaukolämpövedettä lämmityksen säätöventtiililtä (TV2) tulevaan vesivirtaan ja sitä kautta lämmitysjärjestelmän siirtimeen (LS2). Lämmityksen säätöventtiili (TV2) säätyy sekä rakennuksen tehontarpeen mukaan että sen mukaan, kuinka paljon tehoa saadaan kolmitieventtiilin kautta tulevasta kaukolämpövesivirrasta. Kolmitieventtiili sekä lämmityksen säätöventtiili säätävät kuvan 19 mukaisesti siten että, kolmitieventtiilin ollessa täysin auki A suuntaan avautuu myös lämmityssiirtimen säätöventtiili. Lämmityksen siirtimestä lähtevä kaukolämpövesi palaa käyttövedensiirtimelle vielä esilämmittämään sitä.

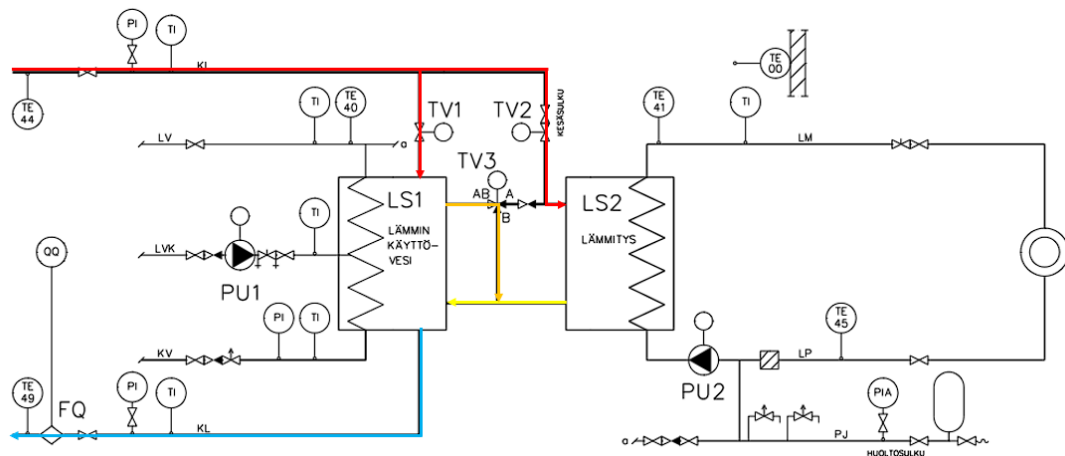


Kuva 18. Väliottokytkenä päällä.



Kuva 19. Välioton kolmitieventtiilin ja lämmitysverkoston säätöventtiilin toimintaperiaate.

Kuvassa 20 on esitetty väliottokytkenän toimintaa sen ollessa pois päältä, jolloin toimii se samalla periaatteella kuin välisyöttökytkenä. Kun lämmityksen tarvetta ei ole tai käyttövedettä kulutetaan, kolmitieventtiili päästää vettä vain B-suuntaan. Käyttöveden siirtimeltä tuleva kaukolämpövesi yhdistyy lämmityksen siirtimeltä palaavaan vesivirtaan ja palaa käyttöveden siirtimelle esilämmittämään käyttövedettä. Kun rakennuksella ei ole lämmityksen tarvetta, loppuu väliottokytkenän hyöty.



Kuva 20. Väliottokytkenä pois päältä.

2.6 Kaukolämmön lisäpalvelut

Pori Energia tarjoaa Porin alueella Olo-nimikkeistä palvelua taloyhtiöille ja liikekiinteistölle, joille se lupaa säästöä kiinteähintaisella lämmityskulutuslaskutuksella. Palvelussa kiinteistön lämmönjakolaitteisto siirtyy Pori Energian vastuulle ja sen toimintaa sekä kiinteistön olosuhteita valvotaan etäyhteyden avulla 24/7. Kiinteistön optimoinnista syntyvistä investoinneista sekä kuluista vastaa Pori Energia eikä tuote sisällä palvelumaksua, jolloin asiakas maksaa vain energiasta. Palveluun sisältyy myös lämmönjakolaitteiston huolto- ja päivystyspalvelu.

Kun kiinteistö liittyy Pori Energia Olo-palveluun, siirtyy lämmönjakokeskus Pori Energian vastuulle. Pori Energialla on tällöin oikeus toteuttaa sellaiset kiinteistön energian käytön optimointiin sekä energiatehokkuuden parantamiseen liittyvät toimet, jotka laskelmien mukaan osoittautuvat kannattaviksi. Yleisimpänä ratkaisuna kiinteistöön asennetaan mittaustietoon perustuva lämmityksen säädin sekä etä- ja olosuhdevalvonta. Huoneistoihin asennetaan riittävä määrä anturointia luotettavan lämmityksen säädön varmistamiseksi. (Pori Energia Oy, 2022) Palveluiden merkitys on tänä päivänä suuressa roolissa kilpailukyvyn kannalta. Palveluiden kehittäminen parantaa kilpailukykyä ja luo uusia innovaatioita, jolloin se tuottaa lisäarvoa asiakkaalle sekä tarjoajalle.

Tällä hetkellä kaukolämmönalajakokeskus on taloyhtiön omaisuutta, jolloin se vastaa myös sen ylläpidosta; ylläpidon laatu on kuitenkin vaihtelevaa. Ajatuksena on ollut malli, jossa kaukolämpöä toimittava yritys ostaisi markkina-alueensa alajakokeskukset. Tällöin niiden käyttö- ja ylläpito olisi kaukolämpöyrityksen vastuulla. Opinnäytetyön kannalta Olo-palvelu on merkittävässä asemassa, koska sen avulla lämmönjakokeskus siirtyy Pori Energian vastuulle. Tällöin kaukolämpöyhtiö voi tehdä erilaisia energiatehokkuustoimia, jotka se kokee kannattaviksi. Koska työssä tarkasteltava väliottokytkeä ei vähennä lämmitysenergia tarvetta, eikä jäähtymän ollessa taloyhtiölle merkittävä parametri, se tuskin päätyisi kyseiseen kytkentään laiteuusinnan yhteydessä. Mikäli perusmaksun perusteena olisi laskutustehon sijasta laskutusvesivirta, saisi taloyhtiö siitä rahan arvoista etua, koska kaukolämpöveden jäähtymän kasvaessa tilavuusvirta pienenee. Kuitenkin vesivirran ollessa maksuperusteena asettaa se asiakaita epätasa-arvoiseen asemaan, koska kaukolämpöverkon ääripäissä kaukolämmön menoveden lämpötila lämpöhäviöiden seurauksena voi vaihdella suuresti.

3 KAUKOLÄMMÖN JÄÄHTYMÄ

Kaukolämmön kytkentätavan valinnalla on suuri merkitys, koska se vaikuttaa kaukolämmön paluulämpötilaan. Koska tulolämpötila on sidottu ulkoilman lämpötilaan, vaikuttaa se suoraan jäähtymään, mikä vaikuttaa koko kaukolämpöjärjestelmän toimintaan. Keskimäärin jäähtymä on kesällä noin 15–30 °C ja talvisin 50–70 °C, hetkittäin jopa 80 °C. (Lahtinen, 2021)

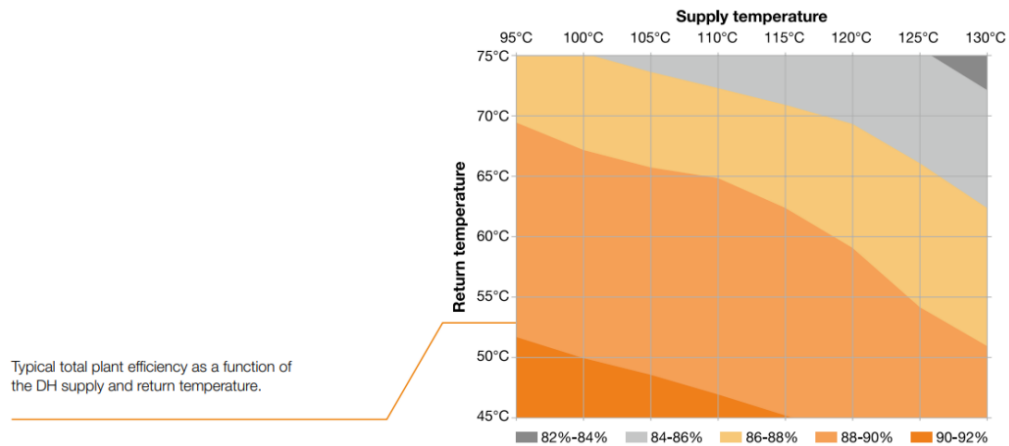
Kaukolämmön jäähtymään asiakaslaitteistossa vaikuttaa oleellisesti toisiopuolen piirien lämpötilatasot. Huono jäähtymä voi johtua siitä, että kaukolämmön tulolämpötila on laskenut lämpöhäviöiden seurauksena tai asiakaslaitteiden kunto on laskenut. Yleinen syy huonoon jäähtymään on asiakkaan epäkunnossa olevat laitteet, kuten ovat säästöventtiilin jumiin jääminen ja lämmönsiirtimen tukkeutuminen tai sen vuotaminen. (Martikainen, 2021, s.15)

Kaukolämpöveden huono jäähtyminen asiakaslaitteissa vähentää kaukolämpöverkon energiasiirtopotentiaalia, jolloin pumppauskustannukset kasvavat. CHP-laitoksessa sähkön tuotantomäärä riippuu kaukolämmön paluuveden lämpötilasta. Mikäli paluuveden lämpötila laitokselle tultaessa on liian korkea, täytyy sitä alentaa, jolloin lämpöenergiaa menee hukkaan. Lisäksi erilaisten lämmöntalteenottolaitteiden toimivuus ja hyötysuhde kärsii korkeista paluu lämpötiloista.

3.1 Kaukolämmöntuotanto

Kaukolämmönkiertoveden jäähtymän parantaminen on merkittävää lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksilla, koska paluulämpötilan alentamisella saadaan lisättyä CHP-laitoksesta saatavan sähkön määrää. Paluuveden jäähdyttämisellä saadaan hyötyä turbiinin vastapaineen alentumisella, jolloin höyry paisuu enemmän turbiinissa. Kaukolämmön paluuveden lämpötilan aleneminen 1 °C:n verran tarkoittaisi 0,5 €/MWh kokonaisyötyä riippuen voimalaitoksen käyttöarvoista. (Pöyry Finland Oy, 2010, s.8) Tällöin kaukolämmön vuosittaisen tuotannon ollessa 300 GWh tarkoittaisi se 150 k€ vuotuisia säästöjä.

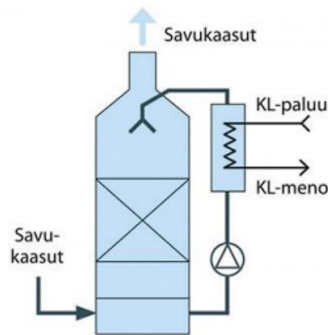
Kuvasta 21 nähdään kaukolämpöveden jäähtymän vaikutusta CHP-laitoksen hyötysuhteeseen. Mikäli jäähtymää saataisiin parannettua 10 °C:lla, tarkoittaisi se noin 1 % kasvua hyötysuhteessa. Vuotuisen kaukolämmön tuotannon ollessa 300 GWh vastaisi se noin 3 GWh, joka vastaa viiden keskikokoisen kerrostalon vuotuista lämpöenergian tarvetta. Energian hinnan ollessa noin 100 €/MWh tarkoittaisi se 300 k€ vuotuisia säästöjä. Näin ollen 1 °C:n paluulämpötilan aleneminen tarkoittaisi 30 k€ vuotuisissa säästöissä. Tämä eroaa merkittävästi edellä esitetystä arviosta, jonka mukaan 1 °C paluulämpötilan alenemissa tarkoittaisi 150 k€. Syy tälle on todennäköisesti laskentatapojen ero sekä käytetyt kaukolämpöveden tulolämpötilatasot. Tarkasteltaessa tuotannon kannalta vuosittaista säästöä paluulämpötilan suhteen tulisi tehdä tarkempi arvio Porin kaukolämpöverkon kannalta.



Kuva 21. Kaukolämmön tuotannon meno- ja paluulämpötilojen vaikutus hyötysuhteeseen CHP-laitoksissa. (Wärtsilä Oy, 2020)

Erilaisten hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuudet lisääntyvät kaukolämpöverkon paluulämpötilan alentuessa, koska hukkalämmöt ovat useasti matalalämpötilaisia verrattuna kaukolämpöverkon toiminta lämpötiloihin. Paluueden lämpötilan laskiessa voidaan suurempi määrä matalalämpöistä energiaa varastoida kaukolämpöverkkoon. Jäähdytymän parantuessa myös erilaisten kaukolämpöakkujen varastointikapasiteetti kasvaa, koska sen on suoraan verrannollinen kaukolämmön tulo- ja paluulämpötilojen erotukseen eli jäähdytymään. Mikäli kaukolämpöverkon paluulämpötila laskisi 10 °C:lla kaukolämpöakun varastointikyky kasvaisi noin 20 %.

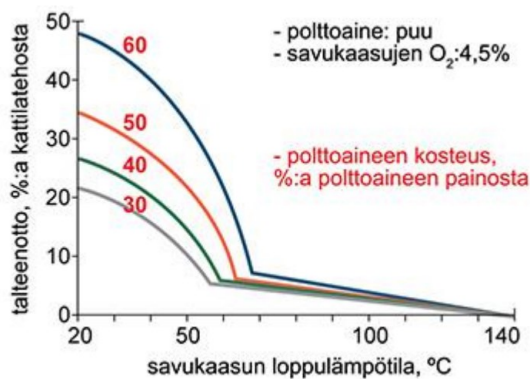
Tärkeä osa energiatehokasta kaukolämmöntuotantoa on savukaasupesuri. Se on alun perin kehitetty hiukkaspäästöjen vähentämiseksi. Pian kuitenkin huomattiin, että sen avulla voidaan ottaa talteen savukaasujen ylijäämälämpöä. (Järvenreuna & Nummila, 2014, s. 2) Savukaasupesurista voidaan käyttää myös nimitystä lämmöntalteenottope- suri. Kuvassa 22 on yksinkertaistettu malli kuvaamaan savukaasupesurin toimintaa. Savukaasupesurissa olevan lämmönsiirtimen läpi pumpataan savukaasuista lauhtu- nutta vettä, josta lämpöenergia siirtyy kaukolämmön menoveteen. Lämmönsiirtimessä jäähtynyt lauhdevesi palaa pesurille laskemaan savukaasujen lämpötilaa, jolloin savu- kaasuissa oleva vesi lauhtuu.



Kuva 22. Savukaasupesurin toimintaperiaate (Järvenreuna & Nummila, 2014, s. 2)

Savukaasuista talteen saatava lämpöenergia on suoraan verrannollinen kaukolämmön paluuveden lämpötilaan. Kaukolämmön paluuveden lämpötilaa alentamalla laskee myös pesurilta lähtevän veden lämpötila. Tällöin suurempi osa savukaasujen kosteudesta lauhtuu, jolloin siitä vapautuu enemmän lämpöenergiaa kaukolämmön menoveden lämmittämiseen. Talteen otettava lämpöenergia savukaasuista riippuu polttoaineen kosteuspitoisuudesta. (Pöyry, 2010, s. 7)

Kuvasta 23 huomataan, että savukaasuista talteen otettavan lämpöenergian määrän osuus kattilatehosta kasvaa polttoaineen kosteuden ja savukaasun loppulämpötilan kasvaessa. Polttoaineen kosteuspitoisuuden ollessa 50 % ja paluuveden lämpötilan ollessa 50 °C sekä olettaen nesteiden lämpötilojen pysyvän lämmönsiirtimessä lähes samana, savukaasuista talteen otettavan lämpöenergian osuus kattilatehosta olisi noin 22 %. Biopolttokattilalaitoksen tehon ollessa 100 MW savukaasuista saataisiin talteen noin 22 MW ”ilmaista energiaa”. Mikäli kaukolämmön paluulämpötila tippuisi 50 °C:sta 40 °C:een, saataisiin lämmöntalteenoton kautta noin 5 % enemmän hyötyä.



Kuva 23. Savukaasujen loppulämpötilan vaikutus lämmöntalteenoton osuuteen kattilatehosta. (Condens heat recovery Oy, 2016)

3.2 Kaukolämmön pumppaustarve

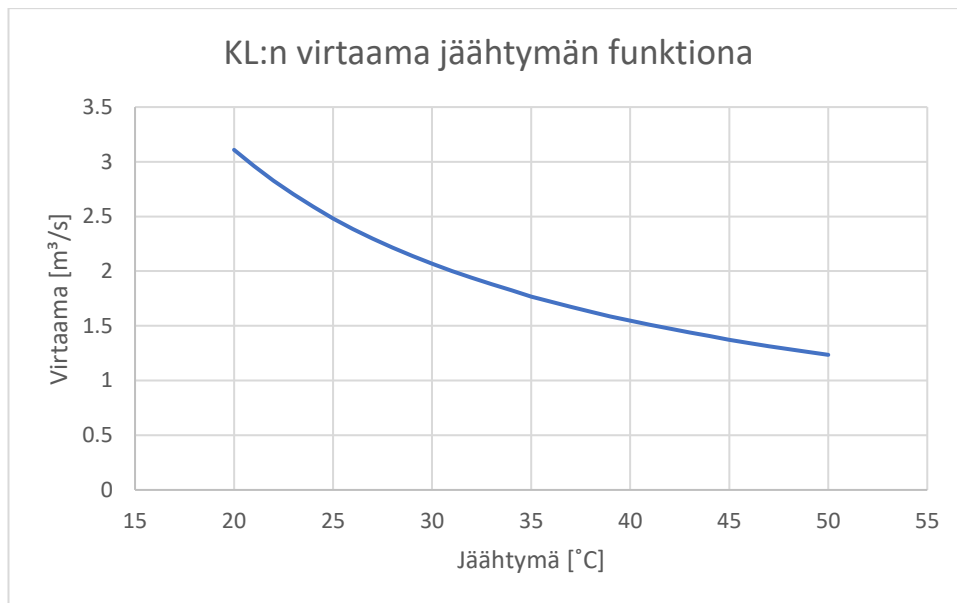
Kaukolämmön kiertoveden pumppauksessa käytetään pääasiassa keskipakopumppuja. Pumput valitaan tarvittavan virtaaman ja verkoston painohäviöiden mukaan. Pumpujen ohjaus tapahtuu taajuusmuuttajilla, joille ohjataan verkoston mittaustietoja paine-eroista ja virtaamasta. Pumppujen kierrosnopeutta säädetään asiakkaiden tarpeen mukaan sähkön kulutuksen minimoimiseksi. Pumppaus tapahtuu lämmöntuotantolaitoksilta ja välipumppaamoista. Kaikkea pumppausta ei kannata tehdä voimalaitokselta käsin, vaan osa hoidetaan välipumppaamoilla soveltuvissa kohdissa. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 44 ja 45)

Kaukolämpöverkossa painehäviö riippuu huomattavasti meno- ja paluuveden lämpötilaerosta eli jäähtymästä, koska suurin vaikuttava tekijä putkistojen painehäviöiden kannalta on veden virtausnopeus. Kaavalla 1 pystytään laskemaan kaukolämpöveden jäähtymän muutoksen vaikutus tilavuusvirran tarpeeseen.

$$\phi = q_v \rho c_p \Delta T \quad (1)$$

ϕ	lämpöteho [W]
ρ	veden tiheys [kg/m ³]
q_v	tilavuusvirta [m ³ /s]
c_p	ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]
ΔT	lämpötilaero [K]

Kuvaajassa 1 on esitetty kaukolämpöveden jäähtymän vaikutusta tarvittavaan vesivirtaan. Jäähtymän laskiessa 40°C:sta 25°C:een kasvaa tarvittava virtaama arvosta 1,5 m³/s arvoon 2,5 m³/s tarkoittaen lähes 70 % nousua virtamaassa, jotta tarvittava tehontarve saadaan aikaan. Muutos kasvattaa huomattavasti sähköenergian kulutusta kasvavan pumppaustarpeen takia.



Kuvaaja 1. Kaukolämmön virtaama jäähdytymän funktiona.

Pumppaukseen tarvittava sähköteho riippuu vesivirrasta ja se voidaan laskea affiniteettisääntöjen avulla. Kaavan 2 mukaisesti pumppaukseen tarvittava sähköteho muuttuu tilavuusvirran kuutiolla. Jäähdytymän parantuessa edelleen 15 °C:lla ja tilavuusvirran pienessä 40 %, tällöin pumppaukseen tarvittava sähköteho laskee lähes 80 %.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{q_{v1}}{q_{v2}} \right)^3 \quad (2)$$

P sähköteho [W]

q_v tilavuusvirta [m^3/s]

Kaukolämpöverkon perussuunnittelu perustuu yleensä lyhyentähtäyksen suunnitteluun, jolloin korjaukset kohdistuvat vaurioituneisiin osiin. Pitkätähtäyksen suunnittelu johtaa helposti siihen, että korjataan verkon toimivia osia. (Koskelainen ym., 2006, s. 359) Kaukolämpöverkon ollessa kaukolämpöjärjestelmän kallein osa on sen kunnossapito tärkeää. Kaukolämmön kiertoveden jäähdytymän kasvamisen todettiin vaikuttavan merkittävästi tarvittavaan vesivirtaan. Putkikoon pysyessä samana ja virtaaman laskiessa laskee kaukolämpöveden virtausnopeus. Virtausnopeuksen laskiessa putkistossa tapahtuva eroosion ja korroosion määrä vähenee ja näin pidentäen kaukolämpöverkoston käyttöikä.

3.3 Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt

Kaukolämpöjohtojen maaperään johtuvien lämpöhäviöiden määrittämiseksi on otettava huomioon monta asiaa, koska kaukolämpöjohtojen eri rakenteet ja materiaalit vaikuttavat laskentaan. Kuitenkin laskentaa voidaan yksinkertaistaa, koska huomattavan suuri osa kaukolämpöjohdoista on nykypäivänä kiinnivaahdotettuja. Oletetaan että noin 80 % kaukolämpölinjoista koostuu 2Mpuk-kaukolämpöelementeistä, joten laskeamisen rajaaminen tähän rakennetyyppiin on tämän työn kannalta mielekästä.

Eniten kaukolämpöverkon lämpöhäviöihin vaikuttaa johtojen eristyspaksuus, eristeiden lämmönjohtavuus sekä lämpötilatasot. Kokonaisuutta tarkastellessa ei kaukolämpöjohtojen peittosyvyydellä tai maan lämmönjohtavuudella ole suurta merkitystä. Eristepaksuuden pienetessä 10 %, kasvavat lämpöhäviöt noin 8,5 %. Peittosyvyyden pieneneminen 10 % aiheuttaa noin 0,25 %:n kasvun lämpöhäviöissä. (Anttonen, 2011, s.26)

Kaukolämpöjohtojen lämpöhäviöiden määrittämisessä käytettiin Energiateollisuus ry:n 2006 julkaisemassa Kaukolämmönkäsi kirjassa esitettyä laskentatapaa. Koska kaukolämmön meno- ja paluuputket ovat yleensä symmetriset $K_1 = K_{1m} = K_{1p}$ ja $K_2 = K_{2m} = K_{2p}$, saadaan kokonaislämpöhäviöt laskettua kaavalla 3. (Energiateollisuus ry, 2006, s.203–208)

$$\Phi_{kok} = 2(K_1 - K_2) \left[\frac{T_m + T_p}{2} - T_g \right] \quad (3)$$

Φ_{kok}	lämpöhäviö [W]
K	kaukolämpöputken lämmönläpäisykerroin [W/K]
T_m	kaukolämmön meno lämpötila [K]
T_p	kaukolämmön paluu lämpötila [K]
T_g	maaperän lämpötila [K]

Tarkasteltaessa kaukolämmön paluulämpötilan muutosta lämpöhäviöiden kannalta voidaan olettaa lämmönläpäisy lukujen pysyvän lähes samana. Kaava 4 voidaan käyttää muuttuvien lämpötilojen suhteena, joka kuvaa verkostohäviöiden kasvamista tai pienenemistä. Esimerkiksi jos meno- ja paluulämpötilat olisivat jossakin lähtötilanteessa 100/60 °C ja muuttuneessa 100/50 °C ja jos maan lämpötila pysyisi samana 1 °C, laskennan mukaan kaukolämpöverkoston maahan johtuvat lämpöhäviöt vähenisivät noin 6 %.

$$\frac{\phi_{häv_1}}{\phi_{häv_2}} = \frac{T_{m1} + T_{p1} - 2T_g}{T_{m2} + T_{p2} - 2T_g} \quad (4)$$

$\phi_{häv}$ lämpöhäviöiden suhteellinen osuus

Mikäli tunnetaan tarkasteltavan kaukolämpöverkon lämpöhäviöiden suuruus vuodessa, voidaan eri lämpötilatasojen muutoksen vaikutusta tarkastella yksinkertaisesti. Huomioitavaa on kaava ei ota huomioon esimerkiksi lämpötilatasojen vaikutusta eristeen lämmönjohtavuuskykyyn. (Anttonen, 2011, s.34) Kaukolämpöverkoston lämpöhäviöt voidaan nyt laskea myös yhtälön 5 avulla.

$$\phi_{häv_2} = \phi_{häv_1} \left(\frac{\frac{T_{m2} - T_{p2} - T_g}{2}}{\frac{T_{m1} - T_{p1} - T_g}{2}} \right) \quad (5)$$

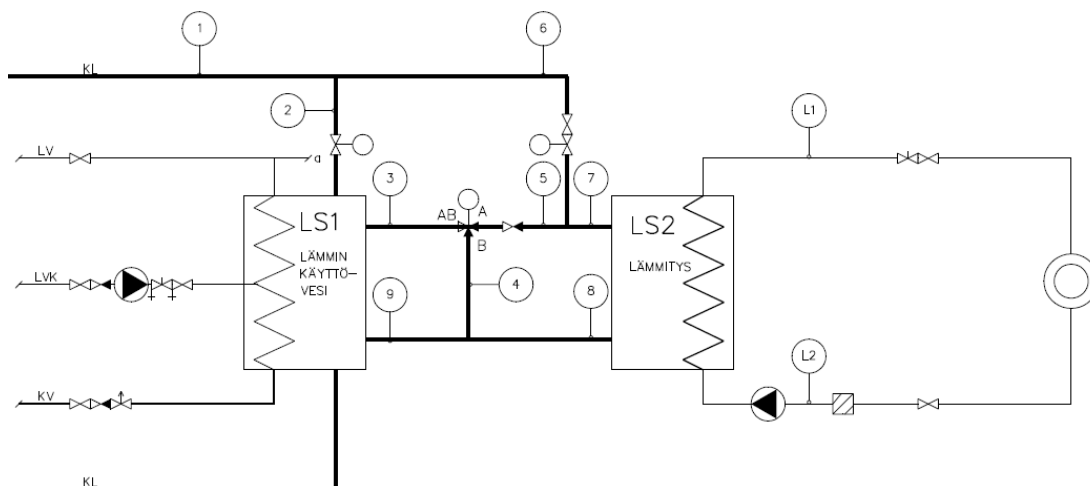
Kaukolämmön tuotannon ollessa vuodessa noin 300 GWh ja verkostohäviöiden ollessa keskimäärin 8 % tuotannon osuudesta saadaan kaavalla 5 laskettua verkostohäviöt eri verkon lämpötiloilla. Tarkasteltaessa paluulämpötilan vaikutusta voidaan valita kaukolämmön meno lämpötilaksi 85 °C ja maan lämpötilaksi 1 °C. Kaukolämmön paluulämpötilan laskiessa 50 °C:sta 40 °C:een laskevat kaukolämpöverkoston lämpöhäviöt häviöt noin 5,6 GWh vuodessa. Tämä vastaa 18,4 GWh verkostohäviöitä, joka on enää noin 6 % kaukolämmön tuotannosta.

4 VÄLIOTTOKYTKENNÄN LASKENNALLINEN HYÖTY

Väliottokytkenän hyötyä määrittäessä verrataan sitä peruskytkennällä saavutettaviin kaukolämpöveden paluulämpötiloihin. Laskennassa oletetaan käyttöveden kulutuksen olevan nolla ja lämpöenergiaa kuluu näin vain lämpimänveden kiertojohdon lämpöhäviöihin. Väliottokytkenä sisältää myös välisyöttökytkennän, mutta tarkastellessa välioton tuomaa hyötyä ei sitä ole mielekästä ottaa mukaan tarkasteluun.

4.1 Laskentapisteet

Jotta kytkentätavan hyötyä voidaan tutkia, tarvitaan järjestelmästä tietoa sen toimintaan perustuvista kriittisistä pisteistä. Kuvaan 24 on merkitty laskentapisteitä kuvaamaan kaukolämpöveden tilaa. Peruskytkennällä varustettu alajakokeskus kierrättää kaukolämpövettä lämpimänkäyttövedensiirtimessä pisteiden; 1, 2, 3, 4 ja 9 kautta ja lämmityksen siirtimessä pisteiden; 1, 6, 7, 8 ja 9 kautta. Väliottokytkenällä kaukolämpövesi kiertää käyttöveden- sekä lämmityksensiirtimessä pisteiden; 1, 2, 3, 5, 7, 8 ja 9 kautta. Mikäli välioton kautta saatava lämpöenergia ylittää lämmityksen tarpeen, virtaa kaukolämpövesi myös pisteen 4 kautta, ja kun lämmityksen tarvetta ei ole, virtaa se täysin lämmityksen siirtimen ohi. Tällöin kytkentä ei poikkea peruskytkennästä. Kun välioton kautta saatava lämpöenergia ei riitä rakennuksen tehontarpeen kattamiseen virtaa kuumaa kaukolämpövettä myös pisteen 6 kautta. Todellisessa tilanteessa, kun käyttöveden kulutusta olisi jatkaisi kaukolämpövesi edelleen käyttövedensiirtimelle esilämmittämään vettä ja lisäten edelleen jäähtymistä. Pisteet L1 ja L2 kuvaavat lämmitysverkoston lämpötilatasoja.



Kuva 24. Laskentapisteen lämmönjakokeskuksessa.

4.2 Lähtöarvojen määrittäminen

Kytkeäntöjen avulla saavutettava kaukolämmön jäähtymä ja niiden paluulämpötilat määräytyvät pääasiassa rakennuksen toisiolämpötilojen mukaan. Näistä sekä muista kaukolämmön mitoitusarvoista määrä tällä hetkellä voimassa oleva K1/2021 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet julkaisu. Toisiolämpötiloista määrätään erikseen uudis- sekä olemassa oleviin rakennuksiin. Uudisrakennuksissa suositellaan meno/paluu- toisiolämpötiloiksi 45/30 °C ja korkeintaan ne saavat olla 60/30 °C. Olemassa oleviin rakennuksiin suositellaan 70/40 °C ja tarvittaessa korkeampaa meno- lämpötilaa.

Hyötyä määrittäessä onkin mielekäästä tarkastella kahta eri toisiolämpötiloilla toimivaa järjestelmää saman kokoluokan rakennuksissa. Toisiolämpötilat 70/40 °C ovat yleisiä olemassa olevissa rakennuksissa sekä uudisrakennuksissa suositeltu 45/30 °C. Lisäksi toisiolämpötilojen ollessa 45/30 °C voidaan laskentaa hyödyntää lämmönjakotavan ollessa lattialämmitys, koska paluueden mitoituslämpötila on sama.

Rakennuksen tehontarpeet olemassa olevalle rakennukselle ja uudisrakennukselle pyrittiin määrittämään niin, että ne vastaisivat keskikokoisen kerrostalon tehontarpeita. Tässä hyödynnettiin energiateollisuuden ilmoittamia tyyppitaloja kaukolämmön hintatilastoissa. Kuvasta 4 tyyppillisen kerrostalon käyttöveden lämmityksen tuntinen tehontarve on 69 kW. Tuntinen tehontarve on laskettu LVI-suunnittelijan laskemasta

mitoitustehosta. Taulukossa 1 on ilmoitettu tuntisten tehojen osuudet käyttövesisiirtimen mitoitustehosta. Sen mukaan tyypillisen kerrostalon, jossa on 80 asuinhuoneistoa, on käyttövedensiirtimen mitoitusteho 345 kW. Lämmityksen lämmönsiirtimen teho saadaan suoraan taulukosta 2, jonka mukaan lämmityksen ja ilmanvaihdonsiirtimien mitoittavat tehot olisivat yhteensä 160 kW. Arvoa voidaan hyödyntää olemassa olevan rakennuksen kohdalla, koska voidaan olettaa, että arvo on laskettu niin että sitä voidaan käyttää, vaikka koneellista ilmanvaihtoa ei olisikaan. Uudisrakennuksissa tehontarpeet ovat huomattavasti pienemmät, näin ollen voitaisiin olettaa sen olevan noin 60 kW luokkaa. Olemassa olevaa rakennusta sekä uudisrakennusta nimitettiin laskennassa esimerkkitaloiksi I ja II. Laskennassa käytettävät lämmitystehon tarpeet ovat siis talolle I 160 kW ja talolle II 60 kW. Käyttövedensiirtimen teho on molemmissa tapauksissa sama.

Taulukko 1. Asuinrakennuksien käyttöveden tuntisen tehon arviointi. (Energiateollisuus ry, 2014, s.13)

asuntojen lkm	osuus käyttövesisiirtimen mitoitustehosta
1	10 %
2...5	15 %
6...100	20 %
101...	25 %

Taulukko 2. Energiateollisuuden ilmoittamat tyyppitalot kaukolämmön hintatilastoissa. (Energiateollisuus ry, 2011)

Tyyppirakennukset	asuntojen lkm	Tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen käytettävä energia MWh/vuosi	Mitoittavat arvot			lämmitys + IV tarvitsema ki- vesivirta m ³ /h	tuntista käyttövesitehoa vastaava vesivirta m ³ /h	tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava tuntinen vesivirta m ³ /h
			tilojen + ilmanvaihdon lämmityksen tehon tarve kW	käyttöveden lämmityksen tuntinen tehontarve kW	tuntinen tehontarve (tilojen lämmitys+iv + käyttövesi) kW			
pientalo	1	18	5	5	10	0,06	0,05	0,15
rivitalo/pienkerrostalo	15	150	40	29	70	0,50	0,28	0,8
kerrostalo	80	600	160	69	230	2,02	0,68	2,8

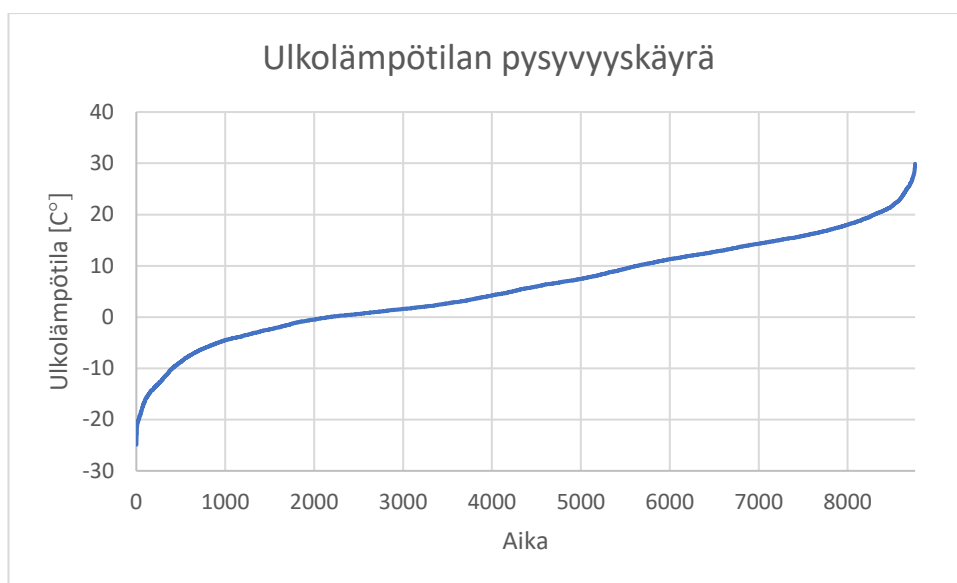
Kaukolämmön tulolämpötila on noin 115 °C mitoittavassa ulkolämpötilassa ja se laskee lineaarisesti 70 °C:een, kun ulkolämpötila on noin 5–10 °C. Laskennassa päädyttiin käyttämään 5 °C:een ulkolämpötilaa. Säävyöhykkeessä 1 mitoittava ulkolämpötila on -26 °C. Mitoittava lämpötila perustuu aiempien vuosien maksimi lämpötiloihin, joita on hyvin harvoin.

Tilanteessa, jossa käyttöveden kulutus on nolla ja kytkentätavan ollessa mikä tahansa voi kaukolämpövesi jäähtyä parhaimmillaan lähelle lämpimän kiertoveden paluulämpötilaa riippuen siirtimen asteisuudesta. Lämmin käyttövesi suositellaan pitämään 58 °C:ssa legionella-bakteerin kasvun estämiseksi. Lämpimänveden kiertojohton avulla pyritään estämään lämpimän käyttöveden lämpötilan lasku ja huolehditaan, ettei lämpimän veden odotusaika vesikalusteelta muodostu liian pitkäksi. Lämpimänkäyttöveden kiertovesijohton mitoitusperusteena on 3 °C:n lämpötilaero, jolloin kiertojohton paluulämpötila noin 55 °C:sta. Laskennassa oletetaan siirtimen asteisuuden olevan tässä lämpötilassa yhden asteen verran, jolloin jäähtyneen kaukolämpöveden lämpötila olisi 56 °C. Huomioitavaa on myös, että jos kiinteistössä olisi kulutusta, kaukolämpövesi jäähtyisi enemmän, koska tonttijohtosta tulevan veden lämpötila on noin 5–10 °C.

Jotta välioton hyötyä voidaan laskea, on lämpimänveden kierron lämpöhäviön määrittäminen oleellinen tekijä. Koska lämpöhäviön suuruus riippuu putken eristyksestä sekä rakennuksen energiatehokkuudesta voidaan olettaa että kierron lämpöhäviö pysyy samassa suhteessa rakennuksen lämmitystarpeen kanssa. Yleisesti kiertojohtot mitoitetaan 10 W/m lämpöhäviöille, mutta tämä tuskin pitää paikkaansa vanhemmassa rakennuksessa. Voidaan ajatella, että keskimäärin käyttövesiverkon lämpöhäviöt ovat noin 10 % rakennuksen lämmitystehon tarpeesta. Tämä tarkoittaisi valituissa kohteissa talolle I 16 kW ja talolle II vastaavasti 6 kW lämpöhäviöitä.

Aiemmin mainittiin lämmityksensiirtimen mitoitettavan 3 °C:een asteisuudella. Näin ollen laskennassa oletetaan myös lämmityksensiirtimien asteisuuden olevan 3 °C. Asteisuuden oletetaan muuttuvan ulkolämpötilan mukaisesti niin, että lämpötilaero kaukolämpöveden ja lämmitysverkoston välillä on mitoittavassa ulkolämpötilassa 3 °C ja lämmityskauden lopussa 1 °C. Lämmityskauden loppu määritellään yleensä 17 °C:een. Lämmityskaudella tarkoitetaan aikaa, jolloin rakennukset tarvitsevat lämpöenergiaa sisälämpötilan ylläpitämiseksi asetusarvossaan. Lämmityksen toisiopuolen menolämpötilan ja paluulämpötilan oletetaan laskevan lineaarisesti oleskeluvyöhykkeen lämpötilaan 21 °C, jolloin meno ja paluulämpötilat lämmityskauden lopulla ovat 26 °C ja 23 °C.

Ilmatieteen laitos kehitti vuonna 2020 nykyistä ilmastoa vastaavan testivuoden, jonka avulla voidaan arvioida rakennuksen energiantarvetta. Suomi on jaettu neljään (I- IV) lämpötilavyöhykkeeseen. Sääasemia on Vantaalla, Jokioisissa, Jyväskylässä sekä So-dankylässä (Ilmatieteen laitos, 2020). Laskennassa on hyödynnetty Vantaan 2020 testivuoden lämpötila dataa. Kuvaajasta 2 huomataan, että yli -10 °C :een lämpötiloja vuodessa kertyy hyvin vähän. Ulkolämpötila pysyykin noin 5000 tuntia vuodessa -10 °C :een ja $+10\text{ °C}$:een välillä. Tämä on otollista väliottokytkennästä saatavan hyödyn kannalta. Eniten vuodessa kertyy tunteja 1 °C asteen tuntumaan.



Kuvaaja 2. Ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä säävyöhykkeessä I Vantaalla testivuonna 2020.

4.3 Laskentatapa

Määritettyjen lähtötietojen pohjalta pystyttiin laskentaa lähteä suorittamaan. Laskennassa käytettiin apuna Excel-ohjelmaa. Väliottokytkennän hyötyä tarkasteltaessa on tavoitteena laskea kaukolämmön kiertoveden paluulämpötila. Kuitenkin kaukolämpövesi voi kiertää useamman kerran eri lämmönsiirtimissä luovuttaen lämpöä toisipuolen eri tarpeisiin, kuten kappaleessa 4.1 on esitetty. Näin ollen joudutaan selvittämään esitettyjen pisteiden lämpötilat. Esimerkiksi pisteiden 1 ja 2 lämpötilat tunnetaan, koska laskennassa oletetaan kaukolämmön menoveden laskevan lineaarisesti ulkolämpötilan noustessa. Väliottokytkennän kannalta merkittävän pisteen 7 lämpötila voidaan laskea, kun tunnetaan pisteissä 5 ja 6 kaukolämmön kiertoveden teho, lämpötila sekä

tilavuusvirta. Kun kaikkien pisteiden lämpötilat on selvitetty, lasketaan pisteiden lämpötilat jokaiselle ulkolämpötilalle -26 °C :n ja 17 °C :n välille 1 °C :n tarkkuudella. Näistä on muodostettu taulukot eri toisiolämpötiloille, joiden avulla on muodostettu tuloksissa esitetyt kuvaajat. Taulukossa 3 on esitetty osa laskentataulukon sarakkeista, siten että kaukolämmön kiertoveden lämpötiloja eri laskentapisteissä on 6 °C :n ulkolämpötilan välein.

Kaukolämmön kiertoveden lämpötilat eri laskentapisteissä on laskettu massa- ja energiataseiden sekä kaavan 1 avulla. Laskennassa on käytetty veden tiheytenä $973,13\text{ kg/m}^3$ ja ominaislämpökapasiteettina $4,195\text{ kJ/kgK}$. Veden ominaisuudet on otettu laskennassa käytettävien lämpötilojen keskiarvosta. Ulkolämpötila tietona on käytetty ilmatieteenlaitoksen energialaskennan testivuotta 2020 säävyöhykkeessä I.

Taulukko 3. Kaukolämmön kiertoveden lämpötiloja laskentapisteissä, toisiolämpötiloilla $70/40\text{ °C}$ sekä ulkolämpötiloilla 6 °C välein.

Toisiolämpötilat 70/40								
Ulkolämpötila/ Laskentapiste	-26	-20	-14	-8	-2	4	10	16
L1	70	64	57	51	45	39	32	26
L2	40	38	35	33	30	28	25	23
EI VÄLIOTTOKYTKENTÄÄ								
1	115	106	98	89	80	71	70	70
2	115	106	98	89	80	71	70	70
3	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ	16	16	16	16	16	16	16	16
qv	0.07	0.08	0.09	0.12	0.16	0.25	0.28	0.28
4	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ	4	5	7	10	15	26	31	34
qv	0.07	0.08	0.09	0.12	0.16	0.25	0.28	0.28
5	x	x	x	x	x	x	x	x
6	115	106	98	89	80	71	70	70
Φ	160	138	115	93	71	48	26	4
qv	0.54	0.51	0.48	0.43	0.37	0.29	0.15	0.02
7	115	106	98	89	80	71	70	70
8	43	41	38	36	33	31	28	26
qv	0.54	0.51	0.48	0.43	0.37	0.29	0.15	0.02
9	44	43	41	40	40	43	46	54
VÄLIOTTOKYTKENTÄ								
1	115	106	98	89	80	71	70	70
2	115	106	98	89	80	71	70	70
3	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ	16	16	16	16	16	16	16	16
qv	0.07	0.08	0.09	0.12	0.16	0.25	0.28	0.28
4	x	x	x	x	x	x	56	56
Φ	x	x	x	x	x	x	8	32
qv	x	x	x	x	x	x	0.07	0.26
5	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ	4	5	7	10	15	26	31	34
qv	0.07	0.08	0.09	0.12	0.16	0.25	0.28	0.28
6	115	106	98	89	80	71	70	70
Φ	156	133	108	83	56	22	0	0
qv	0.53	0.49	0.45	0.38	0.29	0.14	0.00	0.00
7	108	99	90	81	72	61	56	56
Φ	160	138	115	93	71	48	26	4
qv	0.60	0.57	0.54	0.50	0.45	0.39	0.23	0.03
8	43	41	38	36	33	31	28	26
9	43	41	38	36	33	31	35	53

Nro	Lämpötila	[°C]
Φ	Teho	[kW]
qv	Virtaama	[dm ³ /s]

Kun laskentapisteessä ei virtaa kaukolämpövedettä on sitä kuvattu merkillä x taulukossa 3. Esimerkiksi kun väliottokytkenä ei ole käytössä, ei pisteen 5 kautta virtaa kaukolämpövedettä. Samoin kun väliottokytkenän ollessa päällä ei matalimmilla ulkolämpötiloilla pisteen 4 kautta virtaa kaukolämpövedettä. Vasta kun välioton kautta tuleva lämpöenergia pisteessä 5 ylittää rakennuksen lämpöenergiatarpeen, virtaa kaukolämpövesi laskentapisteen 4 kautta.

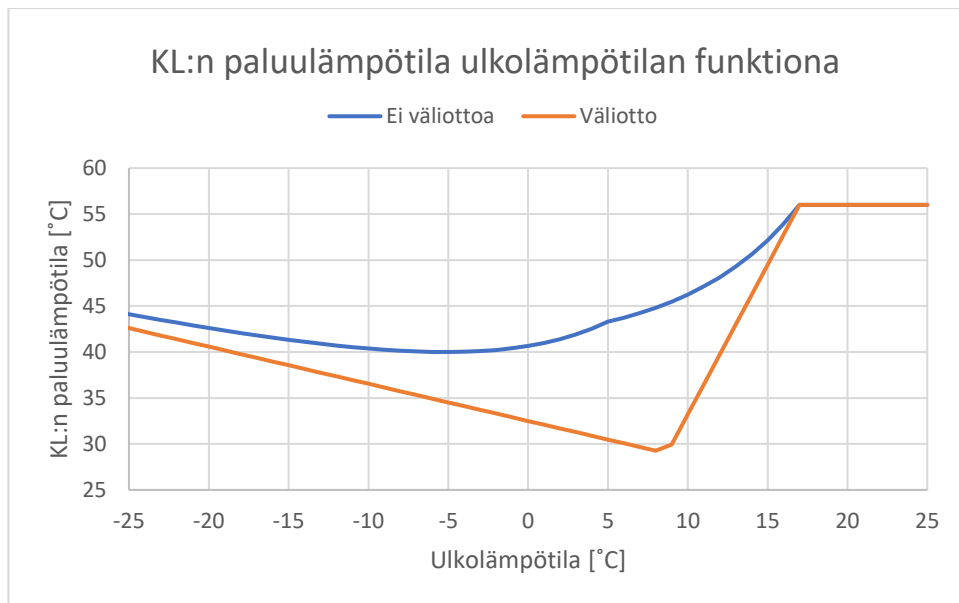
Laskentojen tulokset taulukoissa on esitetty pisteestä 9, minkä jälkeen kaukolämmön kiertovesi palaa vielä käyttövedensiirtimelle. Käyttövedenkulutuksen aikaan kaukolämpövesi jatkaa jäähtymistä välisyöttökytkenän ansiosta, mutta tätä ei tässä opinäytetyössä tutkittu. Liitteessä 2, 3 ja 4 on laskentaa esitetty taulukon muodossa myös muilla työssä käytettävillä toisiolämpötilatasoilla. Liitteissä esitetyt taulukot kuvaavat osaa laskentataulukoista 3 °C:n ulkolämpötilan välein.

4.4 Laskennan tulokset ja päätelmät

Väliottokytkenän laskennallinen hyöty paranee ulkolämpötilan laskiessa, koska lämpimän kiertovesiverkon ja lämmitysverkoston paluuveden lämpötila ero kasvaa. Suurin hyöty väliottokytkenällä saadaan noin 8 °C:n ulkolämpötilassa. Ulkolämpötilan noustessa yli 8 °C:n alkaa väliottokytkenän kautta saatava lämpöenergia ylittämään rakennuksessa tarvittavan lämmitystehon määrän, jolloin kolmitieventtiili alkaa päästämään osaa vesivirrasta suoraan takaisin käyttövedensiirtimelle.

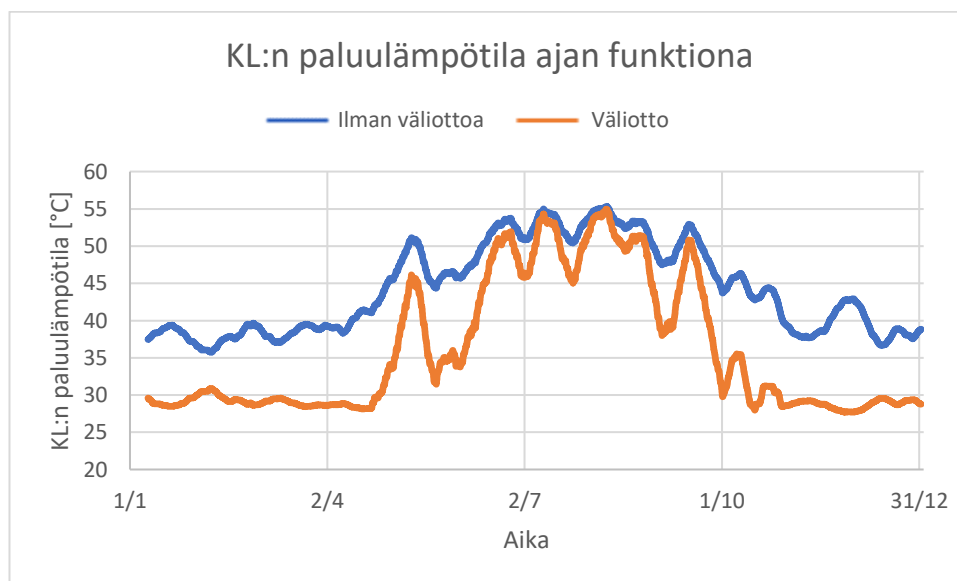
4.4.1 Talo I

Väliottokytkenän olleessa päällä/pois on kaukolämmön paluulämpötiloista muodostettu kuvaaja 3 eri ulkolämpötiloilla. Keskimäärin vuodessa eniten tunteja on noin 1 °C:een tuntumassa, milloin väliottokytkenällä kaukolämmön paluuvesi on noin 8,9 °C alhaisemmalla tasolla. Välioton hyödyn ollessa suurimmillaan on kaukolämmön paluulämpötila väliottokytkenällä noin 15,5 °C paremmalla tasolla. Vuodessa kertyy noin 5000 tuntia ±10 °C:n ulkolämpötilan väliin. Kaukolämmön jäähtymä on keskimäärin tällöin 9,7 °C paremmalla tasolla väliottokytkenän avulla.



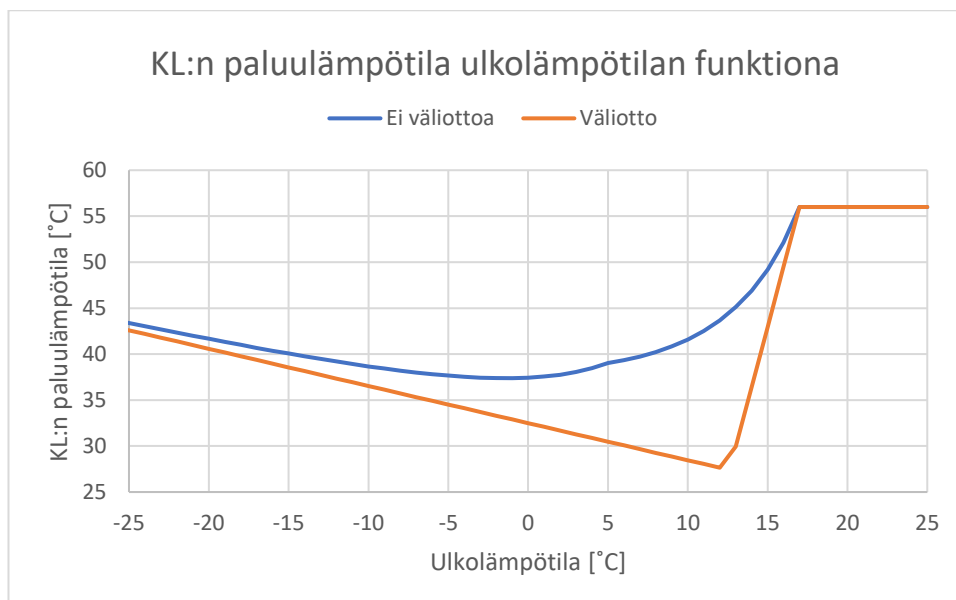
Kuvaaja 3. Kaukolämmön paluulämpötila laskettuna väliotolla ja ilman talossa I, toisiolämpötiloilla 70/40 °C.

Tarkasteltaessa välioton hyötyä vuoden ajanjaksolla ja käyttämällä Ilmatieteen laitoksen testivuotta 2020 lämpövyöhykkeessä I on muodostettu liukuvan keskiarvon kuvaaja 4. Kaukolämmön paluulämpötila on keskimäärin noin 7,1 °C matalammalla kuin peruskytkenällä. Jos tarkastellaan lämmityskautena saatavaa hyötyä, alenee kaukolämmön paluulämpötila noin 8,1 °C:lla.



Kuvaaja 4. Kaukolämmön paluueden lämpötila väliotolla ja ilman vuoden yli tarkasteltuna talossa I, toisiolämpötiloilla 70/40 °C.

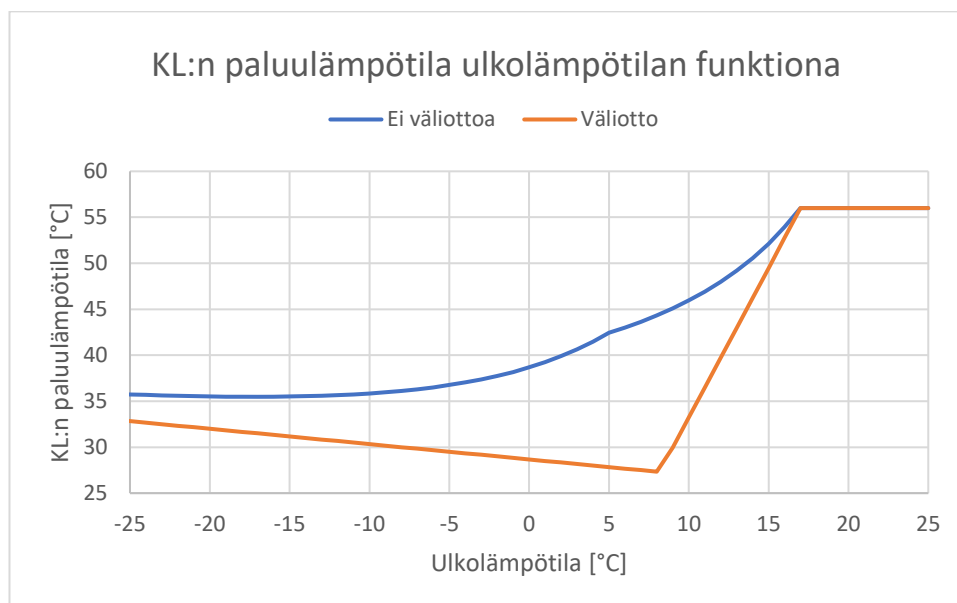
Laskennassa oletettiin lämpimän käyttöveden kiertojohton lämpöhäviöiden olevan 10 % rakennuksen lämmitystehontarpeesta. Mielenkiintoista on myös tutkia miten lämpimän käyttöveden kiertojohton lämpöhäviön suhde rakennuksen tehontarpeeseen vaikuttaa väliottokytken hyötyyn. Kuvaaja 5 on muodostettu samalla tavalla kuin kuvaaja 3, mutta lämpöhäviöt ovat laskeneet 5 %:n talon I lämmitystehontarpeesta eli 8 kW:n. Kuvaajasta 5 huomataan välioton suurimman hyödyn pisteen siirtyneen 12 °C:een ulkolämpötilaan. Kaukolämmön paluulämpötila on tällöin noin 27,6 °C eli 1,7 °C matalammalla kuin 10 % kiertojohton lämpöhäviöillä. Väliottokytken hyödyn ollessa suurimmillaan kaukolämmön paluulämpötila on noin 16,1 °C matalammalla tasolla. Vuoden keskimääräisessä 1 °C:een lämpötilassa hyöty jäähtymässä on noin 5,5 °C. Vaikka välioton hyödyn huippu kasvoi, merkittävin vuosittaiseen hyötyyn vaikuttava tekijä on kahden funktion kuvaajan väliin jäävän alan suuruus. Välioton hyödyn huipun siirtyminen on mielenkiintoista. Kuvaajasta voidaan päätellä, että lämpimän käyttöveden kiertojohton lämpöhäviöiden suuruus vaikuttaa välioton hyödyn huipun pisteeseen. Näin ollen voidaan olettaa mitä suuremmat lämpimän käyttöveden kierto-häviöt ovat sitä lähemmäksi välioton hyöty huipun piste lähenee vuoden keskimääräistä lämpötilaa. Mitä lähemmäksi tätä lämpötilaa päästään sitä suurempaa vuosittaista hyötyä väliottokytkenästä saadaan.



Kuvaaja 5. Kaukolämmön paluuvien lämpötila laskettuna väliotolla ja ilman talossa I, toisiolämpötiloilla 70/40 sekä muutetulla 5 % lämpöhäviöillä.

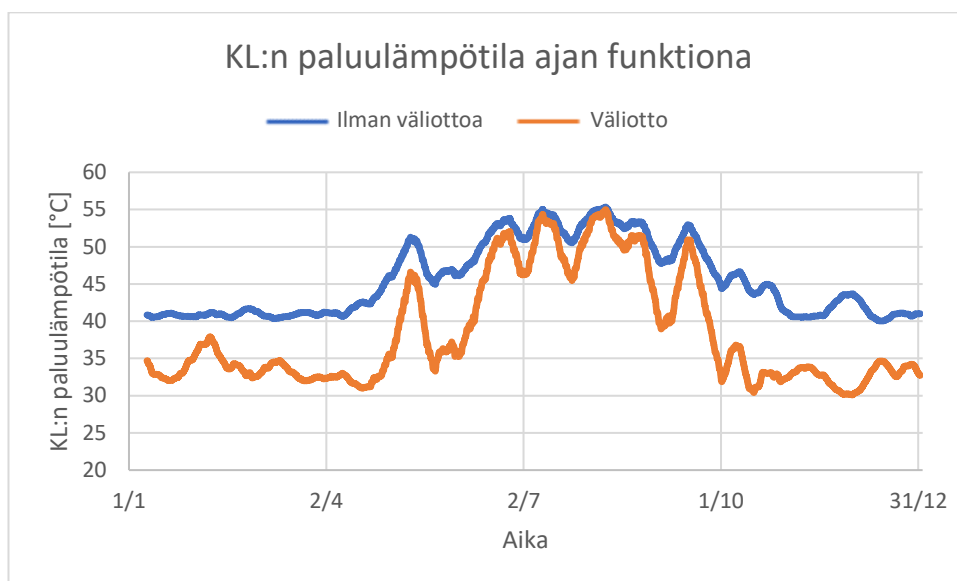
4.4.2 Talo II

Kaukolämmön paluulämpötiloista on muodostettu kuvaaja 6 eri ulkolämpötiloilla väliottokytkennän ollessa päällä sekä pois. Vuodessa tunteja kertyy eniten 1 °C:een, jolloin väliottokytkennällä saadaan kaukolämmön paluulämpötilaa alennettua 10,7 °C:lla. Väliottokytkennän hyödyn ollessa suurimmillaan saadaan kaukolämmön paluulämpötila jäähtymään alajakokeskuksessa 16,9 °C enemmän kuin peruskytkennällä. Vuodessa ulkolämpötila pysyy ± 10 °C:n välissä noin 5000 tunnin ajan. Tällöin väliottokytkennän hyöty on keskimäärin 11,4 °C parempi peruskytkentään verrattuna. Vaikka lämpimänkiertovesiverkon lämpöhäviöt ovat suuremmat talossa I on lämpötilaero paluulämpötilan kesken lämpimänkiertovesiverkoston ja lämmitysverkoston välillä merkitykseltään suurempi väliottokytkennän hyödyn kannalta.



Kuvaaja 6. Kaukolämmön paluulämpötila laskettuna väliotolla ja ilman talossa II, toisiolämpötiloilla 45/30 °C.

Kuvaajasta 7 nähdään ettei kesäisin väliotosta saada juurikaan hyötyä, kuten laskennat osoittivat. Kaukolämmön paluulämpötila on keskimäärin 8,3 °C alhaisemmalla tasolla kuin peruskytkennällä. Jos tarkastellaan lämmityskautena saatavaa hyötyä, laskee kaukolämmön paluulämpötila noin 9,4 °C:lla. Matalimpia lämpötiloja vuodessa hyvin vähän, joten lämmityskaudella väliottokytkennällä päästään lähes tasaisesti alempiin kaukolämmön paluulämpötiloihin. Alhaisemmilla toisiolämpötiloilla tasoilla jäähtymä on noin 1 °C:een parempi.



Kuvaaja 7. Kaukolämmön paluuveden lämpötila väliotolla ja ilman vuoden yli tarkasteltuna talossa II, toisiolämpötiloilla 45/30 °C.

Laskennallisella menetelmällä kaukolämmön jäähtymän todettiin paranevan vuoden yli tarkasteltuna talossa I keskimäärin 7,1 °C:lla ja talossa II 8,3 °C:lla. Lämmityskauden aikana jäähtymä talossa I parani keskimäärin 8,1 °C:lla ja talossa II 9,4 °C:lla. Keskimäärin talojen I ja II jäähtymä paransi vuoden yli tarkasteltuna 7,7 °C:lla. Laskentatapa ei ota huomioon käyttöveden kulutusta, joten on se lopputuloksissa huomioitava. Väliottokytkentää voidaan hyödyntää, kun käyttövedellä ei ole kulutusta tai se on pientä. Kerrostalossa voidaan olettaa lämmintä käyttövettä kuluvan valtaosan aikaa vuorokaudessa. Kuitenkin lämpimän käyttöveden säätöventtiili ei ole koko tätä aikaa täysin auki. Lämpimän käyttöveden kulutuksen ollessa pientä voidaan väliottokytkentää käyttää, koska lämmityksen siirtimeltä palaavaa kaukolämpövedettä pystytään hyödyntämään käyttövedensiirtimessä käyttöveden esilämmittämiseen. Tämän perusteella arvioitiin tunteja, kun väliottokytkentää ei voida hyödyntää olevan noin 20 % vuorokaudesta eli noin 5 tuntia. Tällöin jäähtymä eri toisiolämpötilojen kesken paransi keskimäärin vuodessa 6,2 °C:lla. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan 80/60 °C toisiolämpötiloilla mitoitettua kohdetta 1. Kuitenkin todettiin lämmitysverkoston säätökäyrän vastaavan toisiolämpötiloja 70/40 °C ja huomattiin automaatiojärjestelmän tekevän huomattavan määrän leikkauksia energiankäytön tehostamiseksi. Voidaankin todeta, kun vanhan rakennuksen lämmönjakokeskus uusitaan, pystytään toisiolämpötilatasoja laskemaan ja näin parantaen järjestelmän tehokkuutta sekä

väliottokytkennästä saatavaa hyötyä. Jatkossa voidaan käyttää väliottokytkennän kautta saatavan hyödyn arvona 6 °C.

4.5 Mitatun ja laskennallisen jäähtymän vertailu

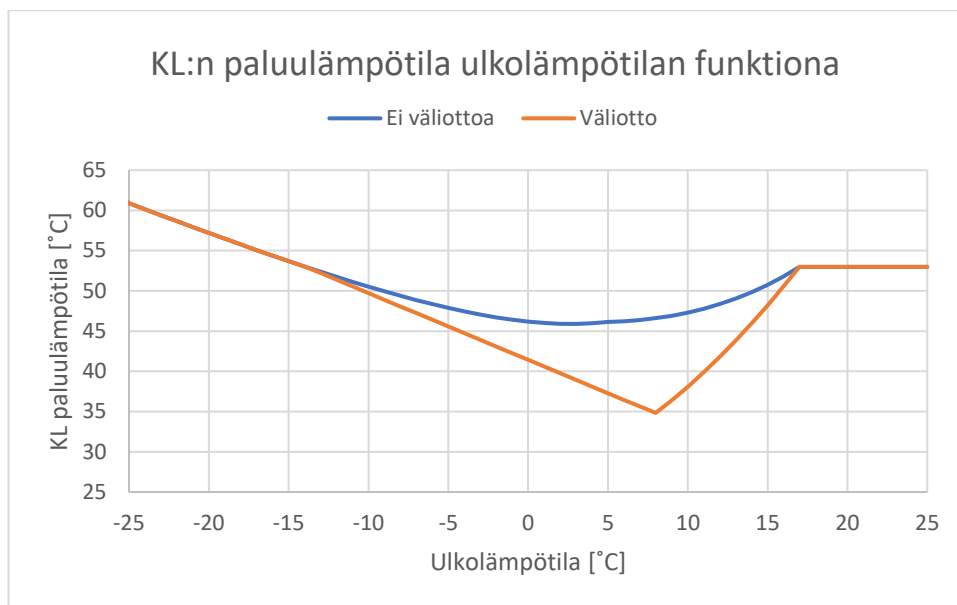
Laskennalliseen hyödyn laskentaan lisättiin olemassa oleva kohde 1, joka on kytketty väliottokytkennällä. Näin saadaan kuvaa mikä on laskennallisen ja todellisen mitatun jäähtymän paranemisen ero väliottokytkennällä. Huomioitavaa on, että mitatussa datassa on mukana käyttöveden kulutusta, jolloin kaukolämpövesi pystyy jäähtymään käyttövedensiirtimessä enemmän.

Laskennassa käytetyt arvot ovat muuten samat, mutta rakennuksen tehontarpeet ja toisiopuolen mitoituslämpötilat muuttuvat. Kohteessa käyttövedensiirtimen teho on 260 kW ja lämmityksen 280 kW. Näin ollen 10 % häviöillä lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö on 28 kW. Lämpimänveden kiertojohdot mitoitettiin aiemmin 5 °C lämpötila erolla. Kyseisessä kohteessa 1 mitattu lämpötilaero kiertojohdossa oli 6 °C, jolloin kiertojohdon paluuvesi on 52 °C. Lämmityspiirin toisiolämpötilat ovat 80/60 °C.

Voidaankin heti päätellä, että koska patteriverkoston paluulämpötila on korkeampi kuin lämpimänveden kiertojohdon paluulämpötila, ei väliottokytkentää voida hyödyntää matalimmilla ulkolämpötiloilla. Kun ulkolämpötila nousee niin, että lämmitysverkoston paluulämpötila laskee säätökäyrän mukaisesti alle 53 °C, voidaan välioton kolmitieventtiili avata. Kuvaajan 8 mukaan patteriverkoston paluulämpötila laskee alle 53 °C:een noin -13 °C:een ulkolämpötilassa. Vaikka patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat korkeat, saadaan väliotosta hyötyä myös vanhoissa rakennuksissa, koska niissä voidaan olettaa olevan huomattavasti suuremmat lämpimän käyttövedenkiertojohdon lämpöhäviöt.

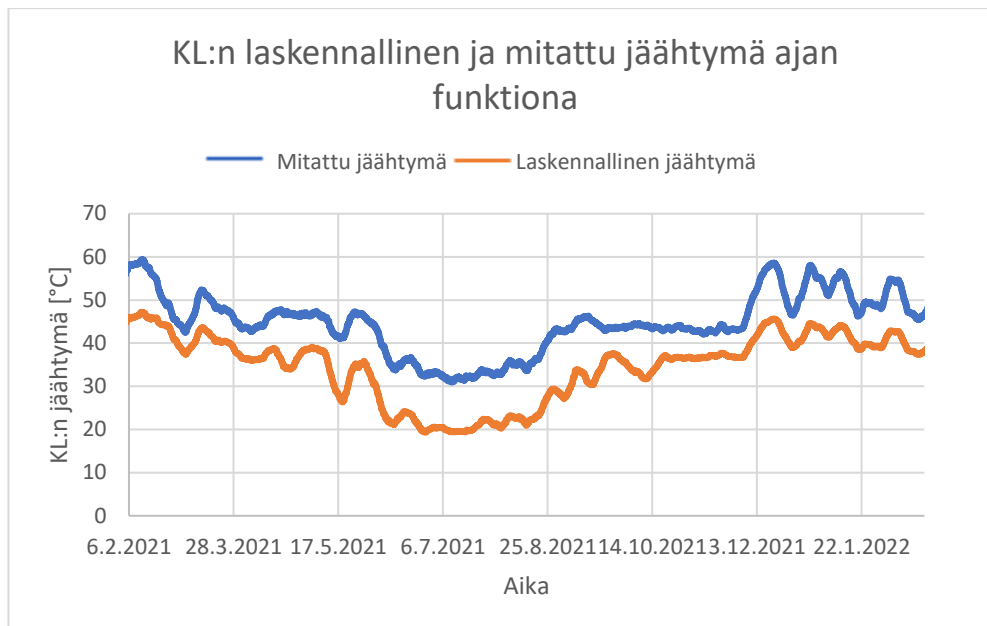
Tarkasteltaessa välioton hyötyä kohteessa 1 vuoden ajanjaksolla ja käyttämällä ilmatieteenlaitoksen testivuotta 2020 lämpövyöhykkeessä I on kaukolämmön paluulämpötila keskimäärin noin 4,9 °C matalammalla tasolla kuin peruskytkennällä. Jos

tarkastellaan lämmityskautena saatavaa hyötyä, laskee kaukolämmön paluulämpötila noin 5,6 °C:lla. Vuodessa eniten tunteja on 1 °C:ssa, jolloin väliottokytkennällä saatava hyöty jäähtymässä on noin 5,4 °C. Välioton hyödyn ollessa suurimmillaan on kaukolämmön jäähtymä noin 11,8 °C suurempi kuin peruskytkennällä.



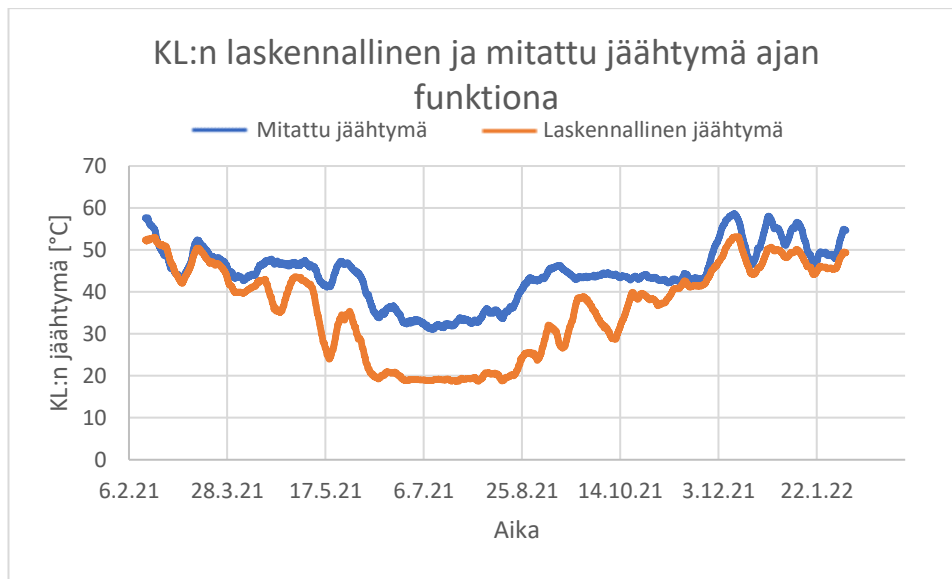
Kuvaaja 8. Kaukolämmön paluulämpötila laskettuna väliotolla ja ilman kohteessa 1, toisiolämpötiloilla 80/60 °C.

Kuvaajassa 9 on esitetty kohteen 1 laskennallisen ja mitatun jäähtymän eroa todellisessa rakennuksessa noin vuoden ajanjaksolla. Tarkasteltu ajanjakso oli 6.2.2021-5.2.2022. Kuvaajasta nähdään kuinka paljon enemmän kaukolämmön jäähtymä kasvaa käyttövedenkulutuksen seurauksesta. Käyttöveden kulutuksesta saatava keskimääräinen jäähtymän paraneminen vuoden ajanjaksolla oli keskimäärin noin 10,2 °C. Huomataan, että keskimääräiseen tuntidataan perustuvat laskennallisen ja mitatun jäähtymän kuvaajat mukailevat toisiaan. Voidaan olettaa, että keskimäärin kerrostalossa veden kulutus pysyy päivittäin lähes samana, mikä selittää suhteellisen tasaisen lämpötilaeron mitatun ja laskennallisen jäähtymän kuvaajassa.



Kuvaaja 9. Kaukolämmön paluulämpötila, jossa laskennallinen ja mitattu jäähtymä kohteesta 1, toisiolämpötiloilla 80/60 °C.

Koska kohteessa 1 toisiolämpötilat ovat korkeat, on säätökäyrää muutettu ja Fiksu-ohjausjärjestelmä tekee erilaisia leikkauksia, jotta järjestelmä toimisi energiatehokkaammin. Kuvaaja 10 on pyritty tekemään ottamalla huomioon säätökäyrän muutos, jolloin lämmitysverkoston toisiolämpötiloiksi saatiin 65/35 °C. Nähdään että lämmityskaudella laskennallinen jäähtymä on lähes mitatun jäähtymän tasolla. Voidaan päätellä, että matalammilla ulkolämpötiloilla ero jäähtymässä tulisi olla enemmän kuin kuvaajassa 9, koska säätökäyrä todennäköisesti palautetaan vastaamaan toisiolämpötiloja 80/60 °C, jotta lämmönluovutustehot pattereissa riittää. Keväisin ja syksyisin voidaan tehdä suurempia säätökäyrän muutoksia sekä leikkauksia. Huomataan että käyttöveden kulutuksesta aiheutuva kaukolämpöveden jäähtymä on merkittävä varsinkin lämmityskauden ulkopuolella.



Kuvaaja 10. Kaukolämmön mitattu ja laskennallinen jäähtymä kohteessa I, toisiolämpötiloilla 65/35 °C.

Kuvaajista 9 ja 10 huomataan automaatiojärjestelmän vaikutuksen olevan kaukolämpöveden jäähtymään kannalta merkittävä. Aiemmin todettiin lämmönjakokeskuksen etähallinnan mahdollistavan esimerkiksi lämmitysverkoston säätökäyrän muuttamisen ilman paikan päälle menemistä. Lisäksi etähallinta alustan, kuten talotohtorin avulla pystytään siihen liittämään esimerkiksi erilaisia IoT-antureita, mittamaan huoneistojen lämpötilatasoja. Lämmitysverkoston lämpötilatasoja alentamalla sekä huoneistojen lämpötiloja tarkkailemalla saadaan järjestelmästä energiatehokkaampi. Erilaisten leikkausten sekä säätökäyrän muutosten avulla myös väliottokytkenästä saatava hyöty kasvaa. KytKentätävän, automaation sekä etähallinnan avulla kaukolämmön alajako-keskuksista saadaan mahdollisimman tehokkaita.

5 MITTAUKSET

Opinnäytetyön mittaukset osion tavoitteena on selvittää kytKentätävän vaikutusta kaukolämmön kiertoveden jäähtymään keräämällä raakadataa valituista muuttujista ja käyttämällä laskennallisia ja tilastollisia menetelmiä niiden analysointiin. Valituista muuttujista pystyttiin tekemään kuvaajia, jolloin tulosten analysointi on helpompaa.

5.1 Lähtötiedot ja data

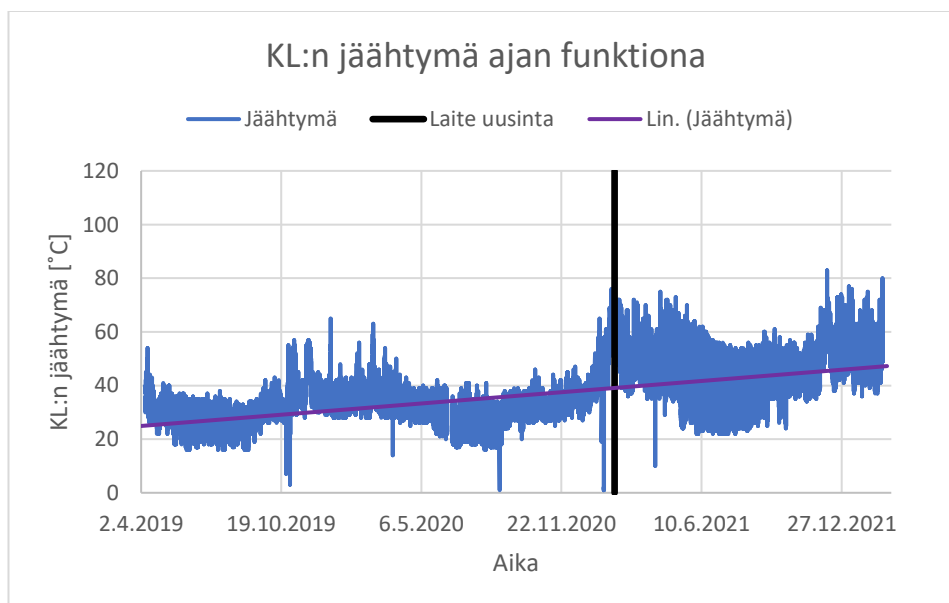
Kohteiden mittausdataa kerättiin Pori Energialla käytössä olevasta inWorksHeat-ohjelmasta. InWorks on Solteq:n valmistama tuote asiakastietojen hallintaan sekä laskuttamiseen energia- ja vesihuoltoyhtiöissä. Väliottokytkennällä varustetussa kohteessa dataa saatiin myös Högforsin Fiksu-ohjausjärjestelmästä. Molemmat järjestelmät tallentavat antureiden tiedot ja ne voitiin viedä Exceliin. Exceliin kerätty mittausdata oli tuntidataa eli jokaisen tunnin aikana kertyvää keskiarvoa. Tuntidataa tarkasteltiin 2.4.2019-23.2.2021 ajanjaksolta eli lähes kolmen vuoden ajalta.

Mitattaviksi suureiksi valittiin kaukolämmön tulo- ja paluulämpötilat sekä vesivirta. Kaukolämmön tulolämpötila valittiin mahdollisten lämpötilaerojen muodostumisen takia, koska rakennukset sijaitseva eri kohdissa kaukolämpöverkkoa. Kaukolämmön paluulämpötila on merkittävin muuttuja kaukolämpöverkon kannalta sekä se on jäähtymän määrittämisen kannalta oleellinen tieto. Kaukolämmön vesivirta otettiin mukaan tarkkailuun, jotta pystytään näkemään jäähtymän vaikutus myös sen kannalta sekä vesivirran avulla pystytään määrittämään rakennuksen tuntiset tehontarpeet. Kuvaajat on muodostettu valittujen suureiden tuntidataa sekä ajanjaksoa käyttäen. Kuvaajiin on merkitty laiteusinnan ajankohta, jolloin lämmönjakokeskuksessa on tehty uudistuksia, kuten esimerkiksi uusittu koko lämmönjakokeskus tai pelkkä automaatiojärjestelmä.

Kohteita tarkasteluun valikoitui mukaan kolme, joista yksi on varustettu työssä tarkastelun kohteena olevalla väliottokytkennällä ja muut välisyöttökytkennällä. Koska väliottokytkentä sisältää välisyöttökytkennän on mielenkiintoista tarkastella myös näiden kytkentätapojen eroa. Kohteessa 1 on vanha putkilämmönvaihdin, joka vaihdettiin uuteen väliottokytkennällä varustettuun lämmönjakokeskukseen. Kohteessa 2 teknisen käyttöikänsä päähän tullut välisyöttökytkennällä varustettu alajakokeskus uusittiin käyttämällä aiempaa kytkentätapaa. Kohteessa 3 uusittiin automaatiojärjestelmä, mutta vanhaa välisyöttökytkennällä varustettua alajakokeskusta ei tässä yhteydessä uusittu.

5.2 Kohde 1: Väliottokytkenä

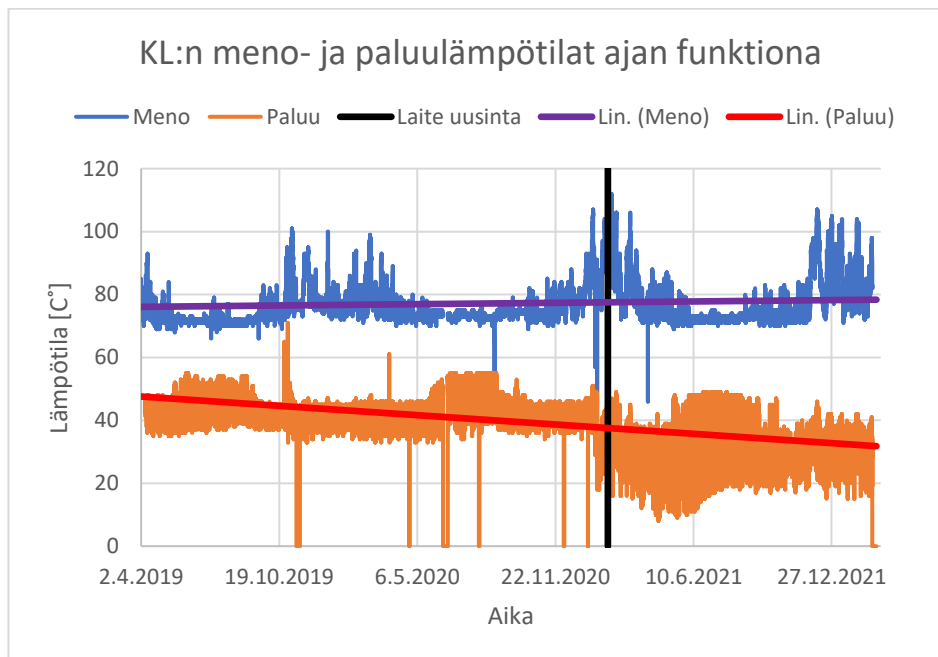
Kuvaajasta 11 on nähtävissä selkeä kaukolämpöveden jäähtymän kasvaminen. Uuden alajakokeskuksen asennettiin 6.2.2021, jonka vaikutus näkyy selkeästi jäähtymän paranemisena. Kuvaajasta on nähtävillä myös jäähtymän vaihtelevuuden kasvaminen, joka johtuu väliottokytkenän toiminnasta, koska välillä kaukolämpövettä hyödynnetään hetkellisesti hyvin tehokkaasti, kun siihen lisätään päälle käyttöveden kulutuksesta tuleva lisä jäähtymä. Ennen väliottokytkenää kaukolämmön jäähtymä oli keskimäärin 31,1 °C:een tasolla. Väliottokytkenän asentamisen jälkeen jäähtymä oli keskimäärin 44,6 °C:een tasolla. Keskimäärin vuodessa jäähtymä parani 13,4 °C. Laskennallinen jäähtymä kohteessa 1 kasvoi vain noin 5,5 °C:lla. Voidaankin päätellä, että vanhan putkilämmönvaihtimen vaihtamisesta nykyaikaiseen lämmönjakokeskukseen on merkittävä vaikutus. Lisäksi Fiksu-ohjausjärjestelmä tekee erilaisia leikkauksia sekä säätökäyrän muutoksia, jotka toisiolämpötiloja alentamalla vaikuttavat merkittävästi väliottokytkenän hyötyyn.



Kuvaaja 11. Kohteen 1 kaukolämmön jäähtymä mittausjakson aikana.

Tarkastellessa kaukolämpöveden meno- ja paluulämpötiloja kuvaajasta 12, huomataan selkeästi paluu lämpötilan lasku sekä ettei menolämpötilassa ole näkyvissä merkittävää muutosta. Tämä tarkoittaisi rakennuksen energiantarpeen nousua tai laskua, joka vääristäisi tulosten hyödynnettävyyttä. Kaukolämmön paluulämpötila ennen väliottokytkenää oli vuodessa keskimäärin 43,4 °C. Väliottokytkenän asennuksen jälkeen

paluulämpötila oli 33,7 °C. Kaukolämmön paluuveden laski siis noin 9,7 °C. Kaukolämmön tulolämpötila nousi keskimäärin 1,8 °C:lla. Kaukolämmön kannalta paluulämpötila on merkittävämmässä roolissa kuin jäähtymä, joten väliottokytkennästä saatava hyödyntarkastelu on mielekästä keskittää siihen. Kaukolämmön vesivirta ennen väliottokytkentää oli keskimäärin noin 1,32 m³/h:ssa ja jälkeen noin 0,94 m³/h:ssa eli tarvittava vesivirta lämmönjakokeskuksen läpi laski noin 0,38 m³/h eli lähes 30 %.

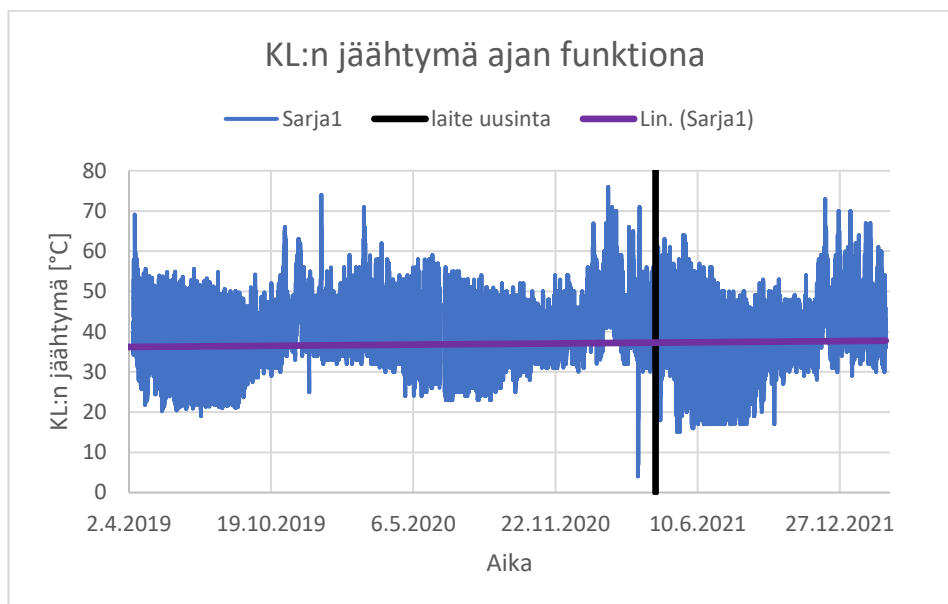


Kuvaaja 12. Kohteen 1 kaukolämmön meno- ja paluulämpötilat mittaus ajanjaksolla.

5.3 Kohde 2: Välisyöttökytkentä

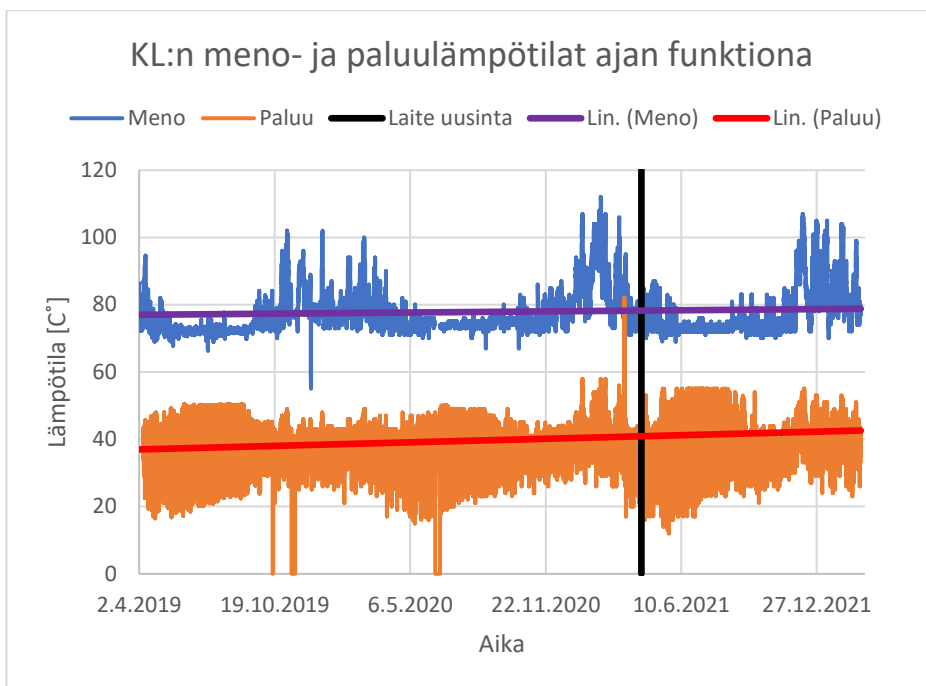
Kohteessa 2 jäähtymää tarkasteltiin noin kolmen vuoden ajanjaksolla samoin kuin kohteessa 1. Kohteessa 2 uusittiin alajakokeskus 12.4.2021, joka on lähes samaan aikaan kuin taloyhtiössä 1. Kuitenkin kohteessa 2 asennettiin välisyöttökytkennällä varustettu alajakokeskus. Kohteeseen vaihdettiin uusi alajakokeskus, koska aiempi oli tullut teknisen käyttöikänsä päähän. Pelkästään uusimalla alajakokeskus voidaan saada jäähtymä paranemaan huomattavasti, varsinkin jos kohteessa on hyvin vanha lämmönjakokeskus, milloin toimintaolosuhteet ovat voineet muuttua merkittävästi tai sen lämmönsiirtimet ovat likaantuneet. Kuitenkaan uusimisella ei saatu niin merkittävää muutosta jäähtymän kannalta kuin kohteessa 1 kuten kuvaajasta 13 nähdään. Jäähtymä on ollut korkeammalla tasolla, mutta sen on käynyt myös huomattavasti matalammalla.

Tämä voi johtua kovista pakkasista ja pitkästä helle jaksosta kesällä. Kaukolämmön jäähtymä oli tarkastelu ajanjaksolla pysynyt keskimäärin samana noin 36,9 °C:ssa.



Kuvaaja 13. Kohteen 2 kaukolämmön jäähtymä mitatulla ajanjaksolla.

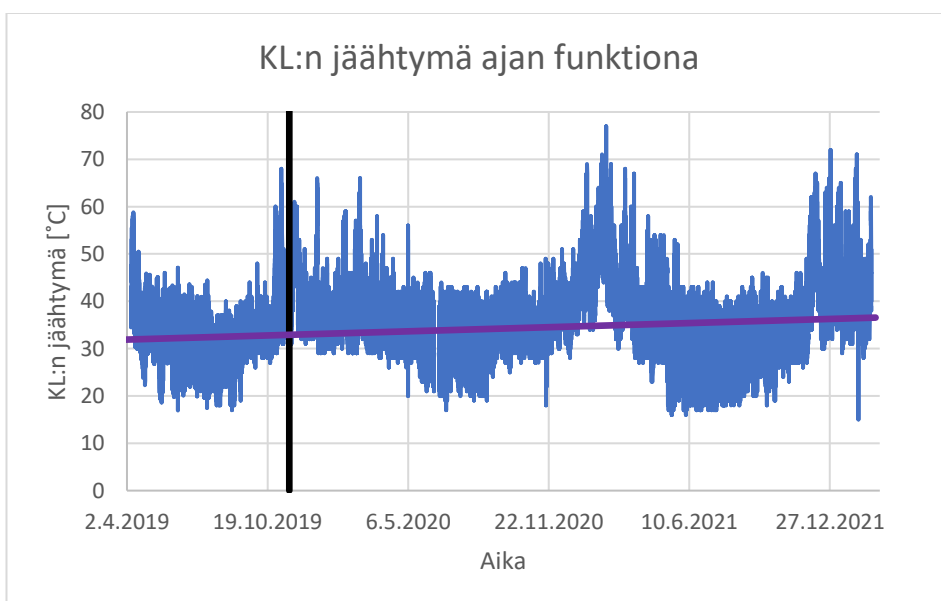
Kuvaajasta 14 nähdään että kaukolämmön paluulämpötila on laskenut mitatulla ajanjaksolla ja lisäksi tulolämpötila on noussut. Kun kohteeseen asennetaan uusi lämmönjakokeskus voisi ajatella, että sen tehokkuus käyttää kaukolämpövedessä olevaa energiaa paranisi. Kaukolämmön paluuvesi oli noussut keskimäärin 41,8 °C:sta 44,3 °C:een. Kaukolämmön tulolämpötila oli noussut noin 1,5 °C:lla alajakokeskuksen uusimisen jälkeen. Kohteessa 2 kaukolämmön vesivirta ennen lämmönjakokeskuksen uusimista oli keskimäärin noin 1,10 m³/h:ssa ja jälkeen 1,14 m³/h:ssa. Tarvittava kaukolämmön vesivirta alajakokeskuksen läpi kasvoi noin 0,04 m³/h:ssa. Kuten aiemmin todettiin ei vesivirrankaan kasvu kerro siitä, että uusi lämmönjakokeskus toimi huommin kuin vanha, vaan rakennuksen lämpöenergiatarve on todennäköisesti vain kasvanut mitatulla ajanjaksolla.



Kuvaaja 14. Kohteen 2 kaukolämmön meno- ja paluulämpötilat mitatulla ajanjaksolla.

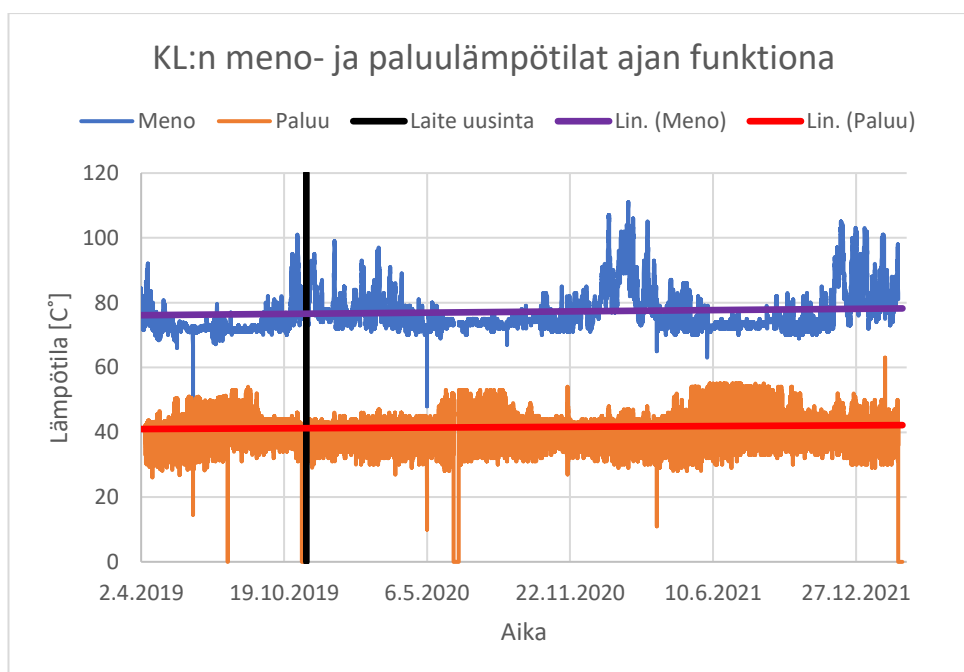
5.4 Kohde 3: Välisyöttökylä

Kohde 3 liitettiin Olo-palveluun 19.11.2020. Kohteessa uusittiin automaatiojärjestelmä, mutta lämmönjakokeskusta ei uusittu. Kuvaajasta 15 huomataan jäähtymän huippujen nousseen noin 10 °C:lla. Kaukolämpöveden jäähtymä ennen muutos töitä oli keskimäärin 31,2 °C:ssa ja se oli noussut 3,8 °C:lla.



Kuvaaja 15. Kohteen 3 kaukolämmön jäähtymä mitatulla ajanjaksolla.

Kuvaajasta 16 nähdään kohteen 3 kaukolämmön meno- ja paluulämpötiloja mitatulla ajanjaksolla. Olo-palveluun liittymisen jälkeen kaukolämmön tulolämpötila oli noussut keskimäärin 1,0 °C:lla. Kaukolämmön paluulämpötila nousi keskimäärin 0,6 °C:lla 41,4 °C:sta. Jäähdytys huippujen nousu selittyy kaukolämmön menolämpötilan kuvaajasta, josta nousu edelliseen vuoteen verrattuna on samaa luokkaa. Keskimääräisesti kaukolämmön vesivirta ennen automaatiojärjestelmän uusimista oli 1,47 m³/h:ssa ja jälkeen se oli 1,55 m³/h:ssa. Vesivirta siis nousi noin 0,08 m³/h:ssa.

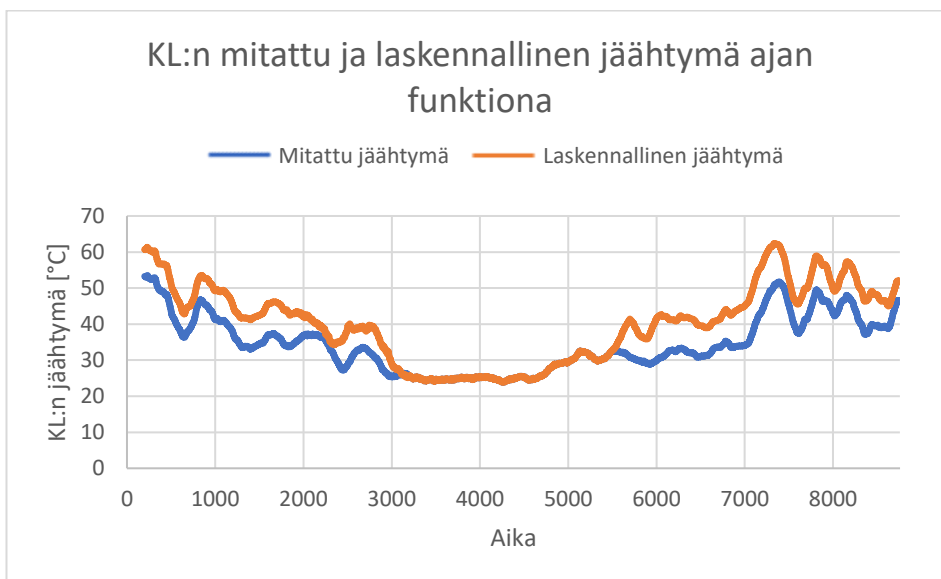


Kuvaaja 16. Kohteen 3 kaukolämmön meno- ja paluulämpötilat mitatulla ajanjaksolla.

Mielekästä on tarkastella, mikäli kohteeseen 3 asennettaisiin väliottokytkenällä varusteltu alajakokeskus ja miten laskennallista jäähdytystä voidaan hyödyntää jäähdytysparanemisen arvioimisessa. Aiemmin kun tarkasteltiin laskennallisen jäähdytysparanemisen ja mitatun jäähdytysparanemisen eroa saatiin, että ero keskimäärin vuoden aikana on 10,2 °C. Tuon eron oletetaan pääasiassa muodostuvan käyttöveden kulutuksesta. Huomioitavaa on, että käyttöveden kulutuksen erot huoneistokohtaisesti voivat heitellä suuresti. Eron kuitenkin voisi kuvitella tasoittuvan, kun tarkastellaan kulutusta kerrostalossa kokonaisuutena, milloin enää huoneistojen määrä vaikuttaisi asiaan. Laskennassa oletetaan, että tämä käyttöveden kulutuksesta syntyvä ero pysyy lähes samana. Näin voidaan muodostaa kuvaaja, jossa on peruskytkennällä mitattu jäähdytysparanemisen sekä laskennallinen

jäähtymä 70/40 °C järjestelmällä, johon on lisätty odotettu käyttöveden kulutuksesta syntyvä jäähtymän osuus. Kuvaaja 15 on muodostettu ilmatieteenlaitoksen testivuoden 2020 ulkolämpötiloille.

Kuvaajassa 17 nähdään kaukolämpöveden jäähtymän parantuvan kesäajan ulkopuolella, koska on oletettu, ettei tällöin väliotosta ole merkittävää hyötyä. Laskelman mukaan jäähtymä parantuisi vuoden ajanjaksolla noin 5,7 °C. Lämmityskautena kaukolämmön jäähtymä parantuisi 7,9 °C. Käytetty toisiolämpötilat aiempien laskentojen perusteella antaisivat hyötyä väliottokytkennällä keskimäärin 7 °C, joten tulokset ovat jossain määrin hyödynnettäviä.



Kuvaaja 17. Kaukolämmön mitattu ja laskennallinen jäähtymä toisiolämpötiloilla 70/40 °C kohteessa 3.

Kaukolämmön vesivirta oli kohteessa 1 ennen väliottokytkentää 1,32 m³/h:ssa ja jälkeen se oli laskenut 0,94 m³/h:ssa. Kohteessa 2 vesivirta oli pysynyt keskimäärin 1,12 m³/h:ssa. Kohteessa 3 keskimääräinen vesivirta oli noussut 1,47 m³/h:ssa 1,55 m³/h:ssa. Lisäksi kaukolämmön paluulämpötila oli kohteessa 1 väliottokytkennän asennuksen jälkeen keskimäärin 33,7 °C:ssa. Kohteessa 2 kaukolämmön paluulämpötila oli keskimäärin 44,3 °C:ssa ja kohteessa 3 paluulämpötila 42,0 °C:ssa. Kaukolämmön paluulämpötila on keskimääräisesti 9,5 °C alhaisemmalla tasolla väliotolla varustetussa kohteessa 1 kuin kohteessa 2 ja 3, joissa on välisyöttökytkentä. Lisäksi kokoluokaltaan kohde 1 on kohteen 2 ja 3 välissä. Kaukolämmön menoveden lämpötila oli

kaikissa kohteissa pysynyt lähes samana. Kaukolämmön tulolämpötilan muutoksista johtuen kohteessa 1 kaukolämmön jäähtymä on keskimäärin 8,6 °C parempi kuin kohteessa 2 ja 3.

Mitatuilla menetelmillä saavutetuista tuloksista on nähtävissä, että ne ovat yhdenmuukaisia laskennallisesti saatuihin tuloksiin verrattuna. Laskennallisesti kaukolämmön jäähtymä todettiin paranevan väliottokytkenällä vuodessa keskimäärin 6 °C. Kuitenkin kaukolämmön jäähtymä mitatuin menetelmin oli väliottokytkenällä keskimäärin 8,6 °C parempi muihin verrattuna. Kohteessa 1 lämmönjakokeskus oli ennen väliottokytkentää käyttöikänsä päässä, varsinkin vanhan putkilämmönvaihtimien kannalta. Näin ollen lämmönjakokeskuksen muiden osien voidaan olettaa vaikuttaneen jäähtymän paranemiseen. Tämä otettaessa huomioon päästään todennäköisesti hyvin lähelle laskennallisesti todetun jäähtymän paranemisen tasoa.

6 VÄLIOTTOKYTKENNÄN KANNATTAVUUS

Väliottokytken avulla saatava hyöty kaukolämmön jäähtymässä oli laskennallisesti eri toisiolämpötilojen kesken vuodessa keskimäärin noin 8 °C, jos käyttövedellä ei ole kulutusta tai sen ollessa pientä. Käyttöveden kulutusta arvioitiin olevan viisi tuntia vuorokaudessa, ja näin jäähtymä parantuisi vuodessa keskimäärin 6 °C. Mikäli jäähtymä kaukolämpöjärjestelmässä paranisi 6 °C, olisi se merkittävä asia kaukolämmön tuotannon, lämmöntalteenottolaitteiden, lämpöhäviöiden ja pumppauksen kannalta. Lisäksi todettiin, että erilaisten lämpöakkujen varastointi kyky paranee sekä matalalämpöisten hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuudet paranevat.

6.1 Kokonaishyöty

Kaukolämmön jäähtymän parantumisen vaikutusta tuotannon kannalta voidaan tarkastella tekemällä laskelma, kun tiedetään että koko kaukolämpöverkon paluulämpötilan laskiessa noin 1 °C tarkoittaa se noin 100 k€ vuotista säästöä tuotannon kannalta.

Hyödyn tuotannon kannalta oletetaan sisältävän savukaasupesurista saatavan lämpöenergian määrä, koska se on nykyään oleellinen osa kaukolämmön tuotantoa.

Investointikustannuksen määrittäminen perustui tarjouspyyntöihin kaukolämpöryityksen toimesta. Peruskytkennällä varustetun alajakokeskuksen hinta kohteessa 1 olisi ollut 7 350 € ja väliottokytkenällä hintaa tuli 11 750 €. Huomioitavaa kannattavuuden laskelmissa on, että väliottokytkenän investointikustannukset olisivat noin 60 % peruskytkennällä varustettua alajakokeskusta suurempia. Tämä toteutui Porin kaukolämpöverkossa olevassa kohteessa 1, kun taas Högforsin arvio kustannusten lisääntymisestä on vain 10 %. Lisäksi osa väliottokytkenällisen alajakokeskuksen hinnasta koostuu Fiksu-ohjausjärjestelmästä, jota peruskytkennällisessä alajakokeskuksessa ei ollut.

Jos oletetaan, että kaukolämpöön liitetyjä rakennuksia on noin 500 kpl, joissa väliottokytkeä voidaan hyödyntää ja jokaiseen uusittaisiin peruskytkennällä varustettu alajakokeskus, jossa on vain minimalistinen automaatio, tulisi investoinnille hintaa noin 3 675 k€. Mikäli rakennuksiin asennettaisiin väliottokytkenällinen sekä Fiksu-ohjausjärjestelmällä varustettu alajakokeskus tulisi investoinnille hintaa noin 5 875 k€. Jokaiseen kaukolämpöön liitettyssä kohteessa ei väliottokytkeä ole kannattavaa hyödyntää. Koko verkon kannalta jäähtymä parantuisi 6 °C, jos jokaiseen kohteeseen asennettaisiin väliotto. Koska Porin kaukolämpöverkossa arvioitiin olevan noin 500 suuremman kokoluokan kohdetta, joihin väliottokytkeä voisi olla kannattavaa asentaa, laskettiin jäähtymän paranemisen olevan noin 3 °C:n luokkaa. Jäähtymän paranemisen ollessa 3 °C saadaan siitä rahallista hyötyä 300 k€/a ja investoinnin ollessa 2,2 miljoonaa, tarkoittaen noin 7,3 vuoden suoraa takaisinmaksuaikaa pelkästään tuotannon kannalta.

Toinen merkittävä tekijä kaukolämpöjärjestelmän hyödyn kannalta on tarkastella kaukolämpöverkon lämpöhäviöitä. Kaukolämmön tuotannon ollessa 600 GWh vuodessa sekä kaukolämpöverkon lämpöhäviöiden ollessa 8 % luokkaa kokonaistuotannosta vastaisi se noin 48 GWh verkostohäviöitä. Kaavan 5 mukaan saadaan laskettua mitä paluulämpötilan laskeminen 3 °C:lla vaikuttaa lämpöhäviöihin. Kaukolämmön menoveden lämpötilan ollessa edelleen 85 °C sekä maan lämpötilan 1 °C ja paluulämpötilan laskiessa 45 °C:sta 42 °C:een laskee verkostohäviöt noin 3,5 GWh:lla, mikä vastaa

noin 0,6 % osuutta kaukolämmön tuotannosta. Kaukolämmön verollisen hinnan aritmeettinen keskiarvo oli 82,3 €/MWh vuonna 2019 (Energiateollisuus ry, 2020c, s.6). Jos oletetaan kaukolämmön tuotannon kustannusten olevan puolet tästä summasta, tarkoittaisi se noin 144 k€ säästöä vuodessa.

Kolmas merkittävä tekijä kaukolämpöjärjestelmässä on kaukolämpöverkon pumppauksen tarve. Pumppausenergian osuus kaukolämmön tuotannosta oli vuonna 2019 noin 0,74 % sen ilmoittaneissa kaukolämpö yhtiöissä (Energiateollisuus ry, 2020a, s.4). Kaukolämmön tuotannon ollessa Porin alueella noin 600 GWh vuodessa olisi tällöin vuotuinen pumppausenergian tarve noin 4,44 GWh. Kaavan 1 mukaan kaukolämmön jäähtymän kasvaessa 40 °C:sta 43 °C:een tarvittava virtaama laskee noin 7 %. Tämä tarkoittaa kaavan 2 mukaan tarvittavan pumppaustehon laskevan noin 0,9 GWh, mikä vastaa noin 0,15 % osuutta kaukolämmön kokonaistuotannosta. Sähkön hinnan ollessa noin 100 €/MWh vastaisi se noin 90 k€ säästöjä vuodessa.

Neljäntenä tekijänä tarkastellaan, miten jäähtymä vaikuttaa mahdollisiin kaukolämpöverkon investointikustannuksiin. Kuten aiemmin todettiin vaikuttaa kaukolämmön paluveden lämpötilan aleneminen myös kaukolämpöakun varastointi- ja purkukykyyn. Tarkastellussa voidaan mitoitaa akku yksinkertaisesti Porin kaukolämpöverkolle. Kaukolämpöakku mitoitetaan yleensä vastaamaan 10–15 % verkon huipputehontarpeesta. Optimaalinen kaukolämpöakun purku-aika on noin 2–4 tuntia. (Jaakko Kaaranka, 2013, s11) Kaavaa 1 apuna käyttäen saadaan laskettua kaukolämpöakun vesitilavuus muuttamalla siinä tilavuusvirta tilavuudeksi, jolloin kaava 1 saa muodon. Kaavaa 1 muuttamalla saadaan sen avulla laskettua kaukolämpöakun vesitilavuus. Porin kaukolämpöverkon vuosittaisen tuotannon ollessa 600 GWh voidaan akku tarkastelun vuoksi mitoitaa 150 MWh kapasiteetilla.

$$V_{vesi} = \frac{Q}{c_p \Delta T} \quad (6)$$

V_{vesi} tilavuus [m³]

Q lämpöenergia [J]

c_p ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]

ρ tiheys [kg/m³]

ΔT lämpötilaero [K]

Kaukolämpöakku on kannattavaa varata, kun kaukolämpöveden jäähtymä on yli 30 °C. Jos oletetaan jäähtymän olevan 40 °C saadaan kaukolämpöakun vesitilavuudeksi kaavaa 6 käyttämällä noin 3 250 m³. Koska kaukolämpöakun yläraja määräytyy paisuntatilan ja höyrypatjan vaatimasta tilavuudesta voidaan olettaa varaukseen käytettävän tilavuuden olevan noin 95 % varaajan tilavuudesta. Varaajan koko olisi tällöin noin 3 420 m³. Jos kaukolämmön jäähtymä parantuisi 3 °C akun koko laskisi 3 180 m³, joka näkyisi investointikustannuksissa. Huipputehon tarpeen ollessa 250 MW ja akun varaustehon ollessa 15 % sekä akun koon ollessa 3 420 m³ saadaan kaavalla 1 laskettua akun purku-aika. Akun purkuajaksi tulee tällöin noin 4,2 tuntia. Kaukolämpöverkon jäähtymä parantuessa 3 °C ja akun koon ollessa 3 180 m³ tulee akun purkuajaksi samoin 4,2 tuntia. Kaukolämpöakun investointikustannukset riippuvat huomattavasti sen sijoituspaikasta, mutta eri lähteiden mukaan keskimäärin akun hinta olisi noin 325 €/m³. (Raatikainen, 2015, s.21) Tämä tarkoittaisi pelkästään akun investointi kustannuksissa noin 78 k€ säästöä.

Kaukolämpöverkon jäähtymän parantuessa 3 °C vastaisi se tuotannon, lämpöhäviöiden sekä pumppauskustannuksissa noin 534 k€ vuotuisia säästöjä koko kaukolämpöjärjestelmän kannalta.

6.2 Investointi ja takaisinmaksu laskelma

Kaukolämmön jäähtymän parantuessa 3 °C saadaan vuosittaista säästöä laskelmien mukaan noin 534 k€. Investointikustannuksien ollessa 2,2 miljoonaa euroa on suora takaisinmaksuaika noin 4,1 vuotta. Investoinnit ovat yritykselle tuotannontekijöitä tulevaisuuden tulojen saamiseksi ja ne sisältävät riskejä ja epävarmuustekijöitä. Investointilaskemien on tarkoitus mahdollisimman tarkasti varmistaa tietojen ja arvioiden pohjalta tehtävät oikeat investointipäätökset. Koska voidaan olettaa, että rahan arvo on tulevaisuudessa korkeampi korkojen takia, voidaan investointi diskontata. Tämän työn investointilaskemissa päädyttiin käyttämään annuiteettimenetelmää. Siinä investointi jaetaan vuotuisiin tasaeriin, jotka sisältävät sen hetkisen korkokannan.

$$Tasaerä = \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} A \quad (7)$$

A investointi summa
 i korko kanta
 n korkojaksojen määrä

Kaavan 7 mukaan korkokannan ollessa 5 % olisi vuosittainen kustannus 5 vuoden laskenta-ajalla noin 508 000 €. Investointi ajatellaan kannattavana, kun tuotto on suurempaa kuin annuiteetti.

Taulukkoon 4 on koottu investoinnin annuiteetteja eri korkokannoilla sekä takaisinmaksuajoilla. Korkokannan ollessa 6 % sekä takaisinmaksuajan 5 vuotta on annuiteetti 522 272 €. Näin ollen takaisinmaksuajan ylittäessä 4,9 vuotta olisi väliottokytkenästä saatava rahallinen hyöty tuotantolaitoksen kannalta suurempi kuin annuiteetti. Tuoton ollessa korkeampi kuin annuiteetin ei investointia voida aina pitää kannattavana, koska takaisinmaksu aika voi nousta pitkäksi, jolloin investoinnin kokonaiskustannukset kasvavat.

Taulukko 4. Investoinnin annuiteetteja eri korkokannoilla ja takaisinmaksuajoilla.

Takaisinmaksuaika /korkokanta	5	10	15
2 %	466 748 €	244 918 €	171 216 €
4 %	494 180 €	271 240 €	197 870 €
6 %	522 272 €	298 910 €	226 518 €
8 %	551 004 €	327 865 €	257 025 €
10 %	580 354 €	358 040 €	289 242 €
12 %	610 301 €	389 365 €	323 013 €

6.3 Toimenpide-ehdotukset

Opinnäytetyön yhdeksi tulokseksi saatiin, että väliottokytkenästä olisi kannattavaa hyödyntää tai ainakin tutkia lisää. Kuitenkin kaukolämmön alajakokeskuksen teknisen käyttöiän ollessa noin 20 vuotta tapahtuu laitteiden uusinta hitaasti. Lisäksi asiakkaan ei ole kannattavaa hankkia väliottokytkenällä varustettua alajakokeskusta ilman mitään kannustimia. Tämän takia kaukolämpöyritysten lisäpalvelujen kuten Pori Energia

Olo, tulisi pyrkiä mahdollistamaan väliottokytkenällisten alajakokeskusten asennus. Tämän opinnäytetyön pohjalta Pori Energia voi tehdä tarkempia investointilaskelmia sekä tarkastella, miten kannattavaa väliottokytkentää olisi asentaa Olo-palvelun kautta. Tällä hetkellä Pori Energialla on yksi kaukolämmön alajakokeskus kytketty käyttämällä väliottokytkentää. Lisäämällä väliotolla kytkettyjä kohteita ja seuraamalla niiden kehitystä saadaan varmempaa kuvaa väliottokytkenän hyödyistä erilaisissa kohteissa. Laskelmien perusteella väliottokytkentää voi suositella asennettavan aluksi suuremman kokoluokan asuinrakennuksiin, jolloin niistä saadaan suurempi hyöty. Väliottokytkentää olisi kannattavaa myös asentaa erityyppisiin kohteisiin kuten uudisrakennuksiin, joissa toisiopuolen lämpötilat ovat matalammat sekä vanhempiin rakennuksiin, jossa käyttövedenkiertojohdon häviöt ovat korkeammalla tasolla. Tällöin saadaan laajempaa ja tarkempaa kuvaa väliottokytkenän hyödystä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia väliottokytkenän vaikutusta kaukolämmön jäähtymään sekä sen vaikutusta koko kaukolämpöjärjestelmään. Väliottokytkenän vaikutusta tarkasteltiin laskennallisesti, jonka mukaan kaukolämpöveden jäähtymä paransi eri toisiolämpötiloilla asiakaslaitteistossa keskimäärin 8 °C vuodessa, kun käyttöveden kulutusta ei ole. Käyttöveden kulutusta arvioitiin olevan viiden tunnin ajan vuorokaudessa, jolloin kaukolämmön jäähtymä vuodessa kasvoi keskimäärin 6 °C. Laskennan mukaan väliottokytkenän hyödyn nähtiin olevan korkeimmillaan lämmityskauden alussa ja lopussa, jolloin välioton kautta saatava lämpöenergia pystytään käyttämään kattamaan suuren osan rakennuksen lämmitystehontarpeesta. Merkittävämmäksi tekijäksi väliottokytkenän kautta saatavaan hyötyyn muodostui rakennukseen mitoitettut toisiolämpötilatasot. Toiseksi merkittäväksi tekijäksi todettiin lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt. Varsinkin lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöiden suhde rakennuksen lämpöhäviöihin huomattiin olevan hyvinkin merkittävä.

Väliottokytkenän hyötyä tutkittiin myös mitattuun dataan pohjautuvien menetelmin. Työn tuloksista selvisi, että kaukolämmön jäähtymä väliottokytkenällä varustetussa

kohteessa oli keskimäärin noin 9 °C paremmalla tasolla kuin kahdessa muussa kohteessa, jotka on varustettu välisyöttökytkennällä. Huomattiin myös, ettei uusimalla alajakokeskusta aiempaa kytkentätapaa käyttäen ollut juurikaan vaikutusta kaukolämpöveden jäähtymään.

Kaukolämmityksen pyrkiessä energiakäytön tehostamiseen, tarkasteltiin työssä myös jäähtymän vaikutusta koko kaukolämpöjärjestelmän toimintaan. Jäähtymän parantamisen todettiin vaikuttavan merkittävästi kaukolämmön tuotantoon, lämpöhäviöihin ja pumppauskustannuksiin, jolloin koko kaukolämpöjärjestelmän hyötysuhde paranee. Asentamalla väliottokytkentä asuinrakennuksiin, joista sen avulla saataisiin vielä kannattavaa hyötyä, arvioitiin Porin kaukolämpöverkon kohdalla paluulämpötilan alenevan 3 °C kokoverkon osalta. Tämän arvion pohjalta tehtiin laskentaa, miten paljon jäähtymän paraneminen vaikutti Porin kaukolämmön tuotannon, lämpöhäviöiden sekä pumppauskustannuksien kautta saataviin vuotuisiin säästöihin. Investointilaskelmista suoraksi takaisinmaksuajaksi saatiin noin 4 vuotta.

Väliottokytkennän laskennallista hyötyä määrittäessä pyrittiin lähtötiedot valitsemaan keskikokoista kerrostaloa vastaaviksi, jotta tuloksia saataisiin mahdollisemman hyvin hyödynnettyä. Kuitenkin lähtötiedoissa jouduttiin tekemään arvioita lämmityksenssiirtimen tehosta ja lämpimänkäyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöistä olemassa olevalle rakennukselle sekä uudisrakennukselle. Näin ollen tulokset ovat hyödynnettävissä vain lähes saman kokoluokan rakennuksissa. Varmasti isoin epävarmuustekijä laskennassa on lämpimänkäyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön määrittäminen, jonka oletettiin olevan 10 % luokkaa asuinrakennuksissa. Työssä tarkasteltiin myös, miten paljon väliottokytkennästä on hyötyä vanhemmassa rakennuksessa, jossa on toisioverkon lämpötilat ovat huomattavasti korkeammalla. Koska vanhemmassa rakennuksessa tehontarpeet ovat suuremmat, laskennan mukaan lämpimänkäyttöveden kiertoverkon lämpöhäviöt nousevat. Mikäli lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt olisivat vain 5 % todettiin sen vaikuttavan merkittävästi kaukolämpöveden vuoden keskimääräiseen jäähtymään.

Mitattuun dataan pohjautuvassa menetelmässä pyrittiin samoin rakennukset valitsemaan siten, että ne olisivat mahdollisimman samantyyppisiä keskenään. Kuitenkin tämä osoittautui haastavaksi ja täysin toivottuihin valintoihin ei päästy. Käytännössä

tämä on hankalaa, koska kahden lähes identtisen rakennuksen lämmitysenergian tarpeet voivat erota. Rakennuksia voidaan ohjata hyvin eri tavalla muuttaen esimerkiksi säättökäyrien asetusarvoja, mikä vaikuttaa merkittävästi väliottokytken kautta saatavaan hyötyyn. Lisäksi valituissa kohteissa on voitu tehdä energiatehokkuustoimia, jotka myös vaikuttavat tulosten hyödynnettävyyteen. Väliottokytkenällä varustetussa kohteessa lämmönjakokeskuksessa oli ennen putkilämmönsiirrin, joten merkittävä osa jäähtymän paranemista voidaan olettaa johtuneen lämmönsiirtimien päivittämisestä. Tämän takia päädyttiin tarkastelemaan, miten paljon paremmalla tasolla kaukolämmön jäähtymä oli muihin kohteisiin verrattuna. Mittauksiin olisi ollut kannattavaa ottaa mukaan lämmitysverkon toisiolämpötilat niiden ollessa merkittävät väliottokytken hyödyn kannalta.

Tällä hetkellä lämmönjakokeskuksien ollessa lämmönostajan omistuksessa eikä kaukolämpöyhtiöllä ole kannustimia jäähtymän parantamiseksi, ei väliottokytkenä saada useaan kohteeseen asennettua. Kuitenkin lisäpalveluiden kautta kuten Pori Energian Olo-palvelu, jossa lämmönjakolaitteisto siirtyy kaukolämpöyhtiön vastuulle, mahdollistaen lämmönjakokeskuksen muutostyöt. Työssä päästiin lopputuloksiin, joiden mukaan väliottokytkenällä varustetun alajakokeskuksen asentaminen olisi kannattavaa. Kuitenkin vuosittaisten säästöjen laskenta perustui arvoihin kaukolämmön sekä sähkön hinnasta. Lisäksi investointikustannuksien määrä perustui tarjouspyyntöihin. Peruskytkenälliseen alajakokeskukseen olisi tullut perinteisempi automaatio, kun taas väliottokytkenälliseen tuli Fiksu-ohjausjärjestelmä. Tällöin osa hintaerosta alajakokeskuksien välillä syntyy automaatiojärjestelmästä. Kaukolämpöyhtiön kannalta tarkempien investointilaskemien tekemistä esimerkiksi Olo-palvelun kannalta on suositeltavaa.

Opinnäytetyössä päästin tavoitteisiin. Tuloksista selvisi väliottokytken vaikuttavan merkittävästi kaukolämpöjärjestelmän toimintaan sekä sen kannattavuuteen, joten jatkotutkimuksia sekä toimenpiteitä voi suositella. Väliottokytkenästä tulisi saada lisää käyttökokemusta erilaisissa kiinteistöissä. Tällä hetkellä väliottokytkenällä varustettuja alajakokeskuksia on vain yksi Porin kaukolämpöverkon alueella. Tärkeää olisi saada enemmän mittaustuloksia väliottokytkenällisistä lämmönjakokeskuksista erityyppisistä kohteista. Tällöin saadaan laajempaa sekä tarkempaa kuvaa väliottokytken hyödyistä.

LÄHTEET

Aalto, O. (2019). REST-arkkitehtuurin hyödyntäminen web-rajapinnan kehittämisessä, Satakunnan ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166723/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6_Olli_Aalto.pdf?sequence=2&isAllowed=y

AFRY Finland Oy. (2020). VäliottokytKentä ja kaukolämmön paluulämpötila. https://hogforskst.com/sites/default/files/imce/files/V%C3%A4liottokyt-kent%C3%A4_loppuraportti.pdf

Anttonen, K. (2011). Kaukolämpöverkon paluuveden hyödyntäminen lämmityksessä, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/73946/Diplomity%C3%B6%2C%20Kari%20Anttonen%202011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chebudie, A., Rotondi, D. & Minerva, R. (2014). Towards a definition of the Internet of Things (IoT). PDF-dokumentti. Päivitetty 27.5.2015. Haettu 9.4.2022 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/317588072_Towards_a_definition_of_the_Internet_of_Things_IoT

Condens heat recovery Oy. (2016). Savukaasun puhdistus ja lämmöntalteenotto. Viitattu 18.4.2022. <https://www.condens.fi/fi/savukaasun-puhdistus-ja-lto>

Danfoss. (2022). SONDEX Fishbone-levyt. Haettu 6.4.2022 osoitteesta <https://www.danfoss.com/fi-fi/products/dhs/heat-exchangers/brazed-heat-exchangers/fishbone-plates/>

Energiateollisuus ry. (2011). Kaukolämmön hintatilasto-tyyppitalot. https://energia.fi/files/1196/Kaukolammon_hintatilasto_tyyppitalomaarittelyt.pdf

Energiateollisuus ry. (2014). Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Suositus K15/2014. https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf

Energiateollisuus ry. (2017). Lämmönjakokeskusten kytkennät. https://energia.fi/files/2172/Tiedote_Lammonjakokeskuskytkennat_20171213.pdf

Energiateollisuus ry. (2020a). Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2019. https://energia.fi/files/5327/Kayttotaloudelliset_tunnusluvut_2019.pdf

Energiateollisuus ry. (2020b). Kaukolämpötilasto 2019. https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf

Energiateollisuus ry. (2020c). Kaukolämmön ABC. Haettu 4.3.2022 osoitteesta <https://www.kenve.fi/kaukolammonabc/index.html#/article/1/page/1>

Energiateollisuus ry. (2021). Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. K1/2021. https://energia.fi/files/6412/Julkaistu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_%28pdf%29.pdf

Energiateollisuus ry. (2022). Energiavuosi 2021. https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2021_v1.4_FINAL.pdf

Enermix Oy. (2022). Talotohtori 2.0. Haettu 8.3.2022 osoitteesta <https://www.talotohtori.fi/>

HögforsGST Oy. (2020a). HögforsGST:n väliottokytkentä mullistaa kaukolämmön energiatehokkuuden. Haettu 8.3.2022 osoitteesta <https://hogforsgst.com/fi/ajankoh-taista/hogforsgstn-valiottokytkenta-mullistaa-kaukolammon-energiatehokkuuden>

HögforsGST Oy. (2020b). Fiksu säästää energiaa - näin toimii moderni älyohjausjärjestelmä. Haettu 4.4.2022 osoitteesta <https://hogforsgst.com/fi/ajankohtaista/fiksu-saastaa-energiaa-nain-toimii-moderni-alyohjausjarjestelma>

Ilmatieteen laitos. (2020). Rakennusten energialaskennan ilmastolliset testivuodet. Haettu 9.4.2022 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakennusten-energi-alaskennan-testivuosi>

Järvenreuna, J. & Nummila, M. 2014. Nykyaikainen savukaasupesuri. Haettu 24.3.2022 osoitteesta http://www.caligoindustria.com/lehdisto/Caligo_Savukaasupesuri.pdf

Kaaranka, J. (2013). Kaukolämpöakun mitoitus ja investoinnin kannattavuus Seinäjoen Energialle, Seinäjoen ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/65535/Kaaranka_Jaakko.pdf?sequence=1

Kivioja, T. (2019). Rakennusautomaatiojärjestelmät [luentomateriaali]. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Kivioja, T. (2020). Säätoventtiilit [luentomateriaali]. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. (2006). Kaukolämmön käsikirja. Energiategollisuus ry.

Lahtinen, M. (2021). Kaukolämmön perusmaksun muodostukseen vaikuttaa kaukolämmön jäähtymä. Haettu 18.4.2022 osoitteesta https://www.wattinen.fi/blogi/miksi-taloyhtion-kannattaa-kiinnostua-kaukolamponsa-jaahtymasta?hs_amp=true

LVI 12-10126, lämmitysverkoston säätoventtiilien mitoitus. (1989). Rakennustietosäätiö. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2012-10126?page=1>

Martikainen, K. (2021). Kaukolämpöverkon huonot jäädyttäjät, Metropolia ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/506546/Martikainen_Kati.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Motiva Oy. (2022). Kaukolämpö. Haettu 17.4.2022 osoitteesta https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo

Mäkelä, V-M. & Tuunanen, J. (2015). Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/97138>

Ouman Oy. (2022). Ouman Ouflex A. Haettu 20.4.2022 osoitteesta <https://ouman.fi/tuote/ouman-ouflex-a/>

Pori Energia Oy. (2022). Pori Energia Olo. Haettu 2.3.2022 osoitteesta <https://www.porienergia.fi/lampo/kaukolampoa-taloyhtiaille-ja-yrityksille/porienergiaolo>

Pöyry Finland Oy. (2010). Kaukolämpöjärjestelmän paluueden hyväksikäyttö kiinteistöjen lämmityksessä. <https://docplayer.fi/1158112-Energiateollisuus-ry.html>

Raatikainen, S. (2015). Kaukolämpöakkuinvestoinnin teknistaloudellinen selvitys, Savonia-ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88089/Kaukolampoakkuinvestoinnin%20teknis-taloudellinen%20selvitys.pdf?sequence=1>

Saari, J. (2010). Heat exchanger dimensioning. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4086/saari_heat_exchanger_dimensioning.pdf

Sirén, P. (2021). Lämmönsiirtimet [luentomateriaali]. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Seppänen, T. (2021). Energiatehokkuuden seurantajärjestelmä Jyväskylän ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/497434/Opinnaytetyo_Seppanen_Tuomas.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Tampereen yliopisto. (2022). Taloyhtiökohtainen mukavuuslämpötilatarkastelu, KIEMI-hanke.

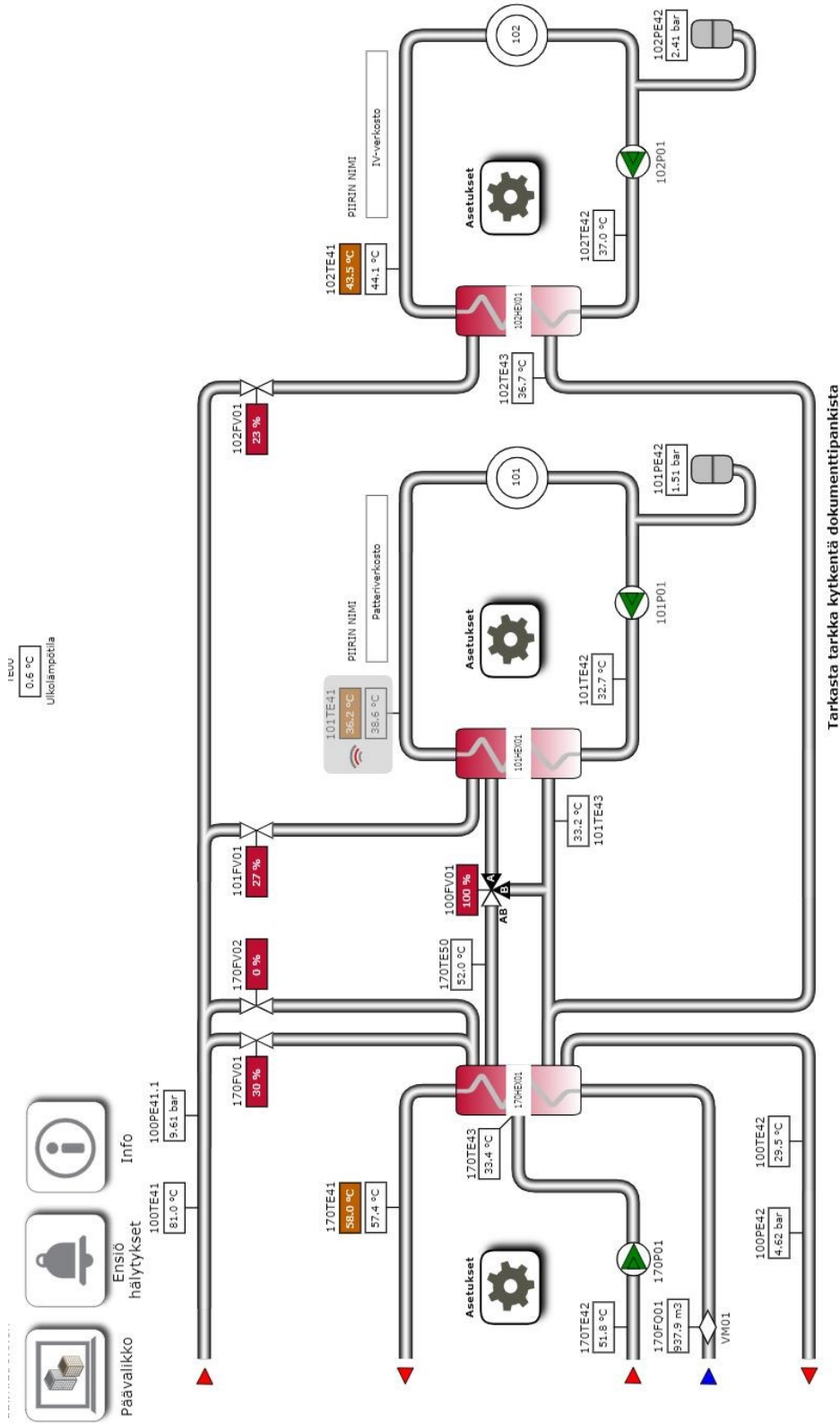
Tree Web Solutions. (2021). Fundamentals of REST API. Haettu 15.3.2022 osoitteesta <https://treewebsolutions.com/articles/fundamentals-of-rest-api-68>

Uhlbeck, O. (2017). Energiatohokkuuspalvelut kaukolämpöasiakkaille, Satakunnan ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/129940/Olli_Uhlbeck.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Virtanen, A. (2012). Automaatiojärjestelmän käyttöliittymä, Turun ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/52555/Virtanen_Aleksi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Värjä, P. & Mikkola J-M. (1999). Uusi kiinteistöautomaatio: Automaatio ja säätötekniikka. Elimäki: Korian kirjapaino Ky.

Wärtsilä Oy. (2020). Flexible combined heat and power & trigeneration solutions. <https://www.wartsila.com/energy/learn-more/downloads/brochure/combined-heat-and-power-trigeneration-solutions>



Toisiolämpötilat 45/30															
Ulkolämpötila/ Mittauspiste	-26	-23	-20	-17	-14	-11	-8	-5	-2	1	4	7	10	13	16
L1	45	44	42	41	40	38	37	36	34	33	31	30	29	27	26
L2	30	30	29	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23
EIVÄLIOTTOKYTKENTÄÄ															
1	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
2	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
3	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Ø	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
qv	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Ø	2	3	3	3	4	4	5	6	7	8	11	12	12	13	13
qv	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
Ø	60	56	52	47	43	39	35	31	27	22	18	14	10	6	1
qv	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.10	0.08	0.06	0.03	0.01
7	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
8	33	33	32	32	31	31	30	30	29	29	28	28	27	27	26
qv	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.10	0.08	0.06	0.03	0.01
9	36	36	36	35	36	36	36	37	38	39	41	44	46	49	54
VÄLIOTTOKYTKENTÄ															
1	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
2	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
3	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Ø	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
qv	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ø	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
qv	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Ø	2	3	3	3	4	4	5	6	7	8	11	12	12	13	13
qv	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
6	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
Ø	58	53	49	44	40	35	30	25	20	14	7	2	0	0	0
qv	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11	0.09	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
7	108	103	99	94	89	85	80	76	71	66	61	57	56	56	56
Ø	60	56	52	47	43	39	35	31	27	22	18	14	10	6	1
qv	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.12	0.08	0.05	0.01
8	33	33	32	32	31	31	30	30	29	29	28	28	27	27	26
9	33	33	32	32	31	31	30	30	29	29	28	28	33	43	53

Nro	Lämpötila [°C]
Ø	Teho [kW]
qv	Virtaama [dm ³ /s]

Toisioämpöpötit 70/40																
Ulkolämpötila / Mittauspiste		-26	-23	-20	-17	-14	-11	-8	-5	-2	1	4	7	10	13	16
L1		70	67	64	61	57	54	51	48	45	42	39	36	32	29	26
L2		40	39	38	36	35	34	33	32	30	29	28	27	25	24	23
EI VÄLIOTTOKYTKENTÄÄ																
1		115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
2		115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
3		56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
qv		0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.20	0.25	0.28	0.28	0.28	0.28
4		56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ		4	4	5	6	7	8	10	12	15	19	26	30	31	33	34
qv		0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.20	0.25	0.28	0.28	0.28	0.28
5		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6		115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
Φ		160	149	138	127	115	104	93	82	71	60	48	37	26	15	4
qv		0.54	0.53	0.51	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.37	0.33	0.29	0.23	0.15	0.09	0.02
7		115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
Φ		43	42	41	39	38	37	36	35	33	32	31	30	28	27	26
qv		0.54	0.53	0.51	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.37	0.33	0.29	0.23	0.15	0.09	0.02
9		44	43	43	42	41	41	40	40	40	41	43	44	46	49	54
VÄLIOTTOKYTKENTÄ																
1		115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
2		115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
3		56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
qv		0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.20	0.25	0.28	0.28	0.28	0.28
4		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Φ		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
qv		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5		56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Φ		4	4	5	6	7	8	10	12	15	19	26	30	31	33	34
qv		0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.20	0.25	0.28	0.28	0.28	0.28
6		115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
Φ		156	145	133	121	108	96	83	70	56	40	22	7	0	0	0
qv		0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.42	0.38	0.34	0.29	0.23	0.14	0.04	0.00	0.00	0.00
7		108	104	99	95	90	86	81	76	72	67	61	58	56	56	56
Φ		160	149	138	127	115	104	93	82	71	60	48	37	26	15	4
qv		0.60	0.59	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.45	0.42	0.39	0.32	0.23	0.13	0.03
8		43	42	41	39	38	37	36	35	33	32	31	30	28	27	26
9		43	42	41	39	38	37	36	35	33	32	31	30	28	27	26

Nro	Lämpötila [°C]
Φ	Teho [kW]
qv	Virtaama [dm³/s]

Toisiolämpötilat 80/60															
Ulkolämpötila/ Mittauspiste	-26	-23	-20	-17	-14	-11	-8	-5	-2	1	4	7	10	13	16
L1	80	76	72	69	65	61	57	54	50	46	42	39	35	31	27
L2	60	58	55	53	50	48	45	43	40	38	35	33	30	28	25
EIVÄLIOTTOKYTKENTÄÄ															
1	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
2	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
3	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Φ	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
qv	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.19	0.22	0.25	0.30	0.37	0.40	0.40	0.40	0.40
4	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Φ	-5	-4	-3	-1	0	2	4	7	10	15	23	29	33	37	41
qv	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.19	0.22	0.25	0.30	0.37	0.40	0.40	0.40	0.40
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
Φ	150	149	138	127	115	104	93	82	71	60	48	37	26	15	4
qv	0.71	0.73	0.70	0.67	0.63	0.60	0.56	0.51	0.47	0.41	0.36	0.27	0.17	0.09	0.02
7	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
8	63	61	58	56	53	51	48	46	43	41	38	36	33	31	28
qv	0.71	0.73	0.70	0.67	0.63	0.60	0.56	0.51	0.47	0.41	0.36	0.27	0.17	0.09	0.02
9	62	59	57	55	53	51	49	48	47	46	46	46	47	49	52
VÄLIOTTOKYTKENTÄ															
1	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
2	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
3	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Φ	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
qv	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.19	0.22	0.25	0.30	0.37	0.40	0.40	0.40	0.40
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Φ	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
qv	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Φ	-5	-4	-3	-1	0	2	4	7	10	15	23	29	33	37	41
qv	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.19	0.22	0.25	0.30	0.37	0.40	0.40	0.40	0.40
6	115	111	106	102	98	93	89	85	80	76	71	70	70	70	70
Φ	285	152	140	128	115	102	89	75	60	44	26	9	0	0	0
qv	1.34	0.74	0.71	0.68	0.63	0.59	0.54	0.47	0.40	0.31	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00
7	110	103	98	94	89	84	79	75	70	65	59	55	53	53	53
Φ	280	149	138	127	115	104	93	82	71	60	48	37	26	15	4
qv	1.45	0.86	0.84	0.82	0.79	0.76	0.73	0.69	0.65	0.61	0.56	0.46	0.32	0.16	0.04
8	63	61	58	56	53	51	48	46	43	41	38	36	33	31	28
9	63	59	57	55	53	51	48	46	43	41	38	36	33	31	28

Nro	[°C]
Φ	[kW]
qv	[dm ³ /s]