



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Alexi Sivonen

Kaukojäähdytyksen etäohjattujen virtauksen- säätimien kannattavuuslaskelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

25.10.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Aleksi Sivonen Kaukojäähdytyksen etäohjattujen virtauksensäätimien kannattavuuslaskelma 65 sivua + 4 liitettä 25.10.2020
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	tekninen aluepäällikkö Marko Alén yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Helen Oy:n kaukojäähdytysasiakkailla havaittiin suuria virtausmäärien ylityksiä, jotka johduivat huonosti toimivista asiakaslaitteista. Kun ongelmiin ei perinteisin tavoin löytynyt ratkaisua, lähdettiin ongelmaa ratkomaan erään palveluntarjoajan laitteistolla; etäohjattulla virtauksensäätimellä. Se huolehtii, ettei kaukojäähdytysvirtaama pääse kasvamaan yli sovitun sopimusvesivirtaaman taaten samalla asiakkaalle sopimustehon saannin. Sen toiminta perustuu siihen, että jokaiselle jäähdytyspiirille asetetaan kaukojäähdytysveden paluulämpötilan tavoitearvo, joka pyritään saavuttamaan asiakkaan säätöventtiilillä kaukojäähdytysvirtaamaa rajoittamalla. Tulokset olivat ensiasennuksien jälkeen sen verran lupaavia, että laitteiston asennuksia on jatkettu ja niitä on asennettu jo 23 asiakkaalle, joilla on havaittu huono kaukojäähdytysveden lämpenemä ja suuri kaukojäähdytysveden kulutus. Suuri veden kulutus huomataan usein vasta jälkikäteen. Jos kaukojäähdytysvettä kulutetaan paljon ja sen lämpenemä on huono, ei kaikkea sen potentiaalista jäähdytysenergiaa ole hyödynnetty. Asennukset on kustantanut Helen Oy, vaikka vastuu kaukojäähdytysveden lämpenemästä on asiakkaalla.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, millaisia hyötyjä etäohjattujen virtauksensäätimien asentaminen asiakkaiden kaukojäähdytyslaitteistoon tuo Helen Oy:n kaukojäähdytysverkossa. Ongelmana verkostossa on ollut matala paluulämpötila, joka kasvattaa tarvittavaa kaukojäähdytysvesivirtaa ja pumppauskustannuksia sekä heikentää jäähdytyksen tuotannon ja koko järjestelmän hyötysuhdetta sekä verkoston volyyymiä tietyillä alueilla.</p> <p>Kirjallisuustutkimuksen avulla selvitettiin lisäksi Helenin kaukojäähdytysverkoston sekä asiakaslaitteiden toimintaa sekä käytäntöjä laadunvalvonnasta ja sopimusasioista, joilla on vaikutus kaukojäähdytysveden lämpenemään ja sitä kautta virtaamiin. Asennusten jälkeen kulutusdatasta tutkittiin, miten laitteiston toiminta on vaikuttanut paluuvesien lämpötiloihin ja kaukojäähdytysveden virtaamiin eri asiakkailla. Lisäksi selvitettiin, onko laitteisto toiminut suunnitellulla tavalla. Työn lopputuloksena saatiin näkemys laitteiston toiminnasta, soveltuvimmista kohteista sekä kustannuksista, jotka aiheutuvat liian suurista virtausmääristä ja myymättä jääneestä sopimustehosta. Lisäksi tehtiin ohjeistus siitä, millaisille asiakkailla etäohjattua virtauksensäädintä voidaan tulevaisuudessa tarjota.</p>	
Avainsanat	kaukojäähdytys, etäohjattava virtauksensäädin, lämpenemä

Author Title Number of Pages Date	Aleksi Sivonen Profitability Calculation for Remote-controlled Flow Limiters in District Cooling 65 pages + 4 appendices 25 October 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Marko Alén, Technical Area Manager Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The thesis aimed at establishing what benefits of remote-controlled flow limiters installed in the equipment of customers could bring to the district cooling network with a problem of low return temperature. The limiters were to reduce the required district cooling water flow and pumping costs and increase the efficiency of the system and of cooling production, as well as the network volume in certain areas.</p> <p>The final year project used literature to study the operation of the district cooling network and the customer equipment. Furthermore, the quality control practises and contract issues with an effect on the temperature difference and flow rates of district cooling water were investigated. Limiters were installed and the consumption data was used to examine how the new piece of equipment affected the return water temperatures and the district cooling water flows for different customers. In addition, the operations of the limiters were studied.</p> <p>The thesis resulted in an insight into the operation of the equipment, knowledge of the types of customers to offer the equipment, and about the costs caused by excessive flow volumes and unsold contract power. The thesis offers information about which customers a remote-controlled flow limiter can be offered in the future.</p>	
Keywords	district cooling, remote-controlled flow limiter, temperature difference

Sisällys

Käsitteitä ja määritelmiä

1	Johdanto	1
2	Kaukojäähdytys Helsingissä	9
2.1	Helen Oy:n kaukojäähdytyksen tuotanto	11
2.1.1	Lämpöpumput kaukojäähdytyksen tuotannossa	12
2.1.2	Vapaajäähdytys kaukojäähdytyksen tuotannossa	14
2.1.3	Absorptiojäähdytys kaukojäähdytyksen tuotannossa	14
2.1.4	Kompressorijäähdytys kaukojäähdytyksen tuotannossa	16
2.2	Kaukojäähdytyksen siirto ja varastointi	17
2.2.1	Kaukojäähdytysputket	19
2.2.2	Kaukojäähdytysvesi	20
2.2.3	Kylmäakut	20
3	Kiinteistöjen jäähdytysjärjestelmät	21
3.1	Jäähdytyspalkit	21
3.2	Tuloilman jäähdytys	22
3.3	Puhallinkonvektorijäähdytys	23
3.4	Suutinkonvektorijäähdytys	24
3.5	Lattiaviilennys	25
3.6	Asiakaslaitteet	26
3.6.1	Lämmönsiirtimet	27
3.6.2	Säätölaitteet	30
3.6.3	Pumput	33
3.7	Asiakaslaitteiden laadunvalvonta	33
4	Tutkimuskohteet ja pilotointi	36
4.1	Asiakaslaitteeviat	38
4.2	Etäohjatun virtauksensäätimen toiminnan periaatteet	41
4.3	Ulkolämpötilan vaikutus lämpenemään	46
4.4	Etäohjatun virtauksensäätimen toiminnasta tehtävät johtopäätökset	47
4.5	Toimenpide-ehdotukset	56
4.6	Jatkotutkimusehdotukset	59
5	Yhteenveto	60

Liitteet

Liite 1. Helen Oy:n mittauskeskuksen tarkepiirustus

Liite 2. Etäohjatun virtauksensäätimen kytkentäkaavio

Liite 3. Mittaustulokset

Liite 4. Mittaustulokset graafeina

Käsitteitä ja määritelmiä

absorptio	Liukeneminen kiinteään aineeseen, kaasuun tai nesteeseen.
asiakas	Jäähdytysenergian käyttäjä ja maksaja, joita ovat esimerkiksi asuntoyhtiöt, kiinteistöyhtiöt, yritykset ja julkiset yhteisöt.
comfort-jäähdytys	Mukavuusjäähdytys, eli sisäilman lämpötila pyritään pitämään ihmiselle suotuisana. Ei prosessijäähdytystä.
diffuusiotiivis	Ei päästä kosteutta lävitseen.
EC-moottori	Elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori.
energiamittari	Mittaa asiakkaalle toimitettavan jäähdytysenergian määrän eli asiakkaan kj-laitteiden läpi virtaavan kaukojäähdytysveden määrän. On osa mittauskeskusta. Jäähdytysenergian mittayksikkö on megawattitunti (MWh) ja kaukojäähdytysveden virtaaman mittayksikkönä käytetään m ³ /h.
etäohjattu virtauksensäädin	Laitteisto, jolla voidaan energiatoimittajan energiamittariin yhdistettynä säätää asiakkaan kaukojäähdytyslaitteiston kaukojäähdytysvirtaamaa.
faasimuutos	Tarkoitetaan muutosta nesteen, kaasumaisen ja kiinteän olomuodon välillä.
inhibiitti	Hidastaa kemiallista reaktiota (korroosiota).
jäähdytyskausi	Kuvataan ajanjaksoa, jolloin jäähdytystä käytetään. Alkaa tyypillisesti toukokuussa, kun ulko-

	<p>lämpötila nousee yli kymmenen asteen. Jäähdytyskaudella kiinteistön energiankulutuksen kannalta on olennaista minimoida lämmitysenergian kulutus ja jäähdyttää tarpeenmukaisesti.</p>
jäähdytystarveluku	<p>Yleisesti rakennusten energiankulutuksen normittamisen yhteydessä käyttöön on vakiintunut yksinkertainen indikaattori, joka perustuu vain ulkoilman lämpötilaan.</p>
kaukojäähdytysverkko	<p>Suljettu verkko, jossa jäähdytysenergiaa siirretään veden välityksellä.</p>
kaukojäähdytysvesi	<p>Myyjän kaukojäähdytysverkossa kiertävä vesi.</p>
kj	<p>Kaukojäähdytys</p>
kj-laitteisto	<p>Kj-laitteistolla tarkoitetaan asiakkaan kaukojäähdytyslaitteita, joka pitää sisällään lämmönsiirtimet, pumput, säätöventtiilit ja muut putkiston varusteet.</p>
liittymisjohdot	<p>Asiakasta varten rakennetut jäähdytysputket, joilla asiakas on liitetty kaukojäähdytysverkkoon.</p>
lämpenemä	<p>Lämpötilaero, jonka neste lämpenee toisio- tai ensiöverkossa.</p>
mittauseskus	<p>on myyjän mittauslaitteisto, joka jäähdytysenergian mittauslaitteiden lisäksi sisältää liittymisjohdon sulkuventtiilit ja lianerottimet sekä mahdolliset laitteet virtauksen ja paine-eron rajoittamiseksi. Asiakkaan kj-laitteisto(t) liitetään Helenin mittauskeskukseen.</p>

myyjä	Jäähdytysenergian toimittaja, joka on yleensä energia-, sähkö- ja lämpöyhtiö tai vastaava laitos.
sopimusteho	Asiakkaan käyttöön varattu suurin jäähdytysteho. Tehon mittayksikkönä työssä käytetään kilowattia (kW).
sopimusvesivirta	Asiakkaan käyttöön varattu suurin kaukojäähdytysveden virtaama. Vesivirran yksikkö on m ³ /h.

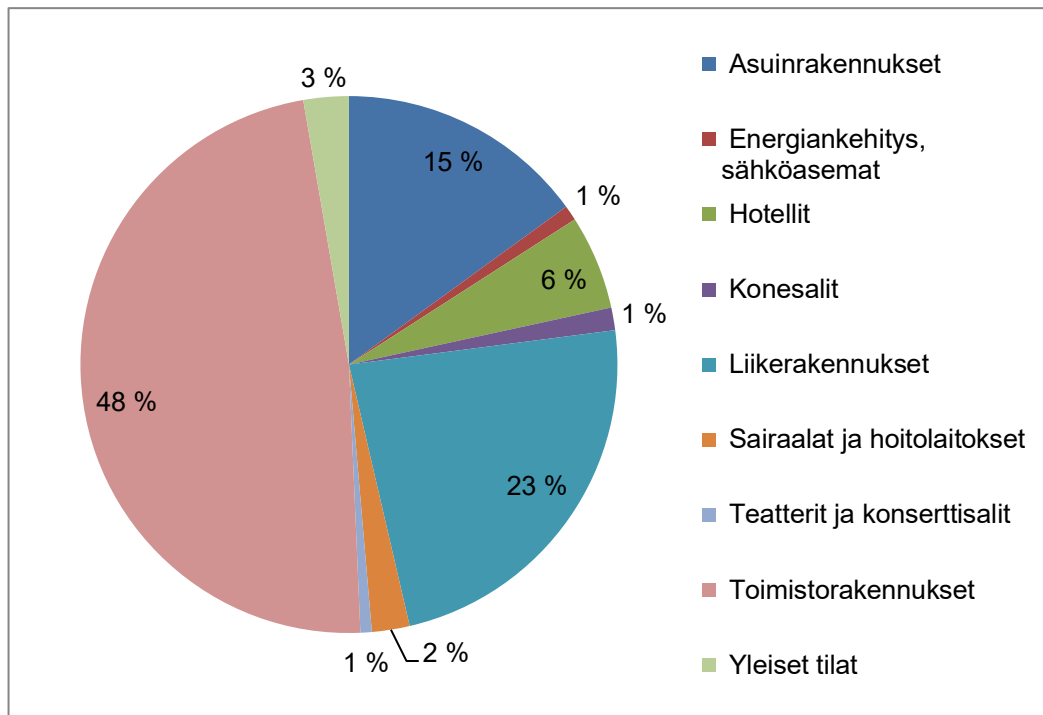
1 Johdanto

Kaukojäähdytyksen suosio kasvaa jatkuvasti, kun ihmiset ovat alkaneet vaatia viilenystä autojen lisäksi myös asuntoihinsa. Jäähdytys parantaa rakennuksen sisätilojen lämpöolosuhteita huomattavasti ja ilman jäähdytystä ei osaa sisäilmaluokista edes voida saavuttaa, ellei sisäisten lämpökuormien ja auringon lämpökuorman poistamiseen ole kiinnitetty jo suunnittelu- ja rakennusvaiheessa erityistä huomiota. Ihmisten työteho on parempi viileämissä tiloissa. Tästä syystä monissa toimistotaloissa on panostettu työtilojen jäähdytykseen. (1.)

Ilmaston lämpenemisen johdosta jäähdytyksen tarve tulee lisääntymään tulevaisuudessa. Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusraportissa 159 ”Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiakulutuksessa”, arvioidaan jäähdytyksen nettotarpeen kasvavan 10–30 % vuoteen 2050 mennessä ja 20–75 % vuoteen 2100 mennessä (2).

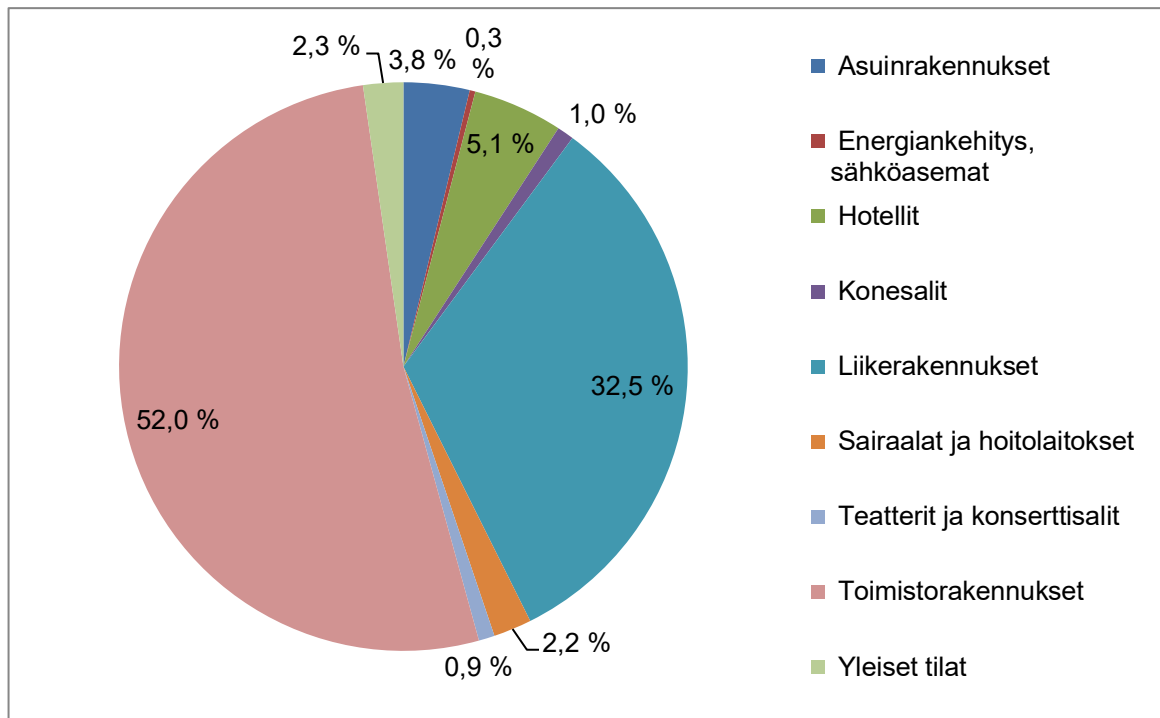
Opinnäytetyö tehdään työnantajalleni Helen Oy:lle, joka on Suomen suurin kaukojäähdytysenergian myyjä. Helen-konsernissa työskentelee hieman yli tuhat työntekijää ja Helen Oy:ssä noin 860 työntekijää. Helen-konserni sisältää emoyhtiö Helen Oy:n lisäksi tytäryhtiöt Helen Sähköverkko Oy:n, Helsingin Energiatunnelit Oy:n ja Oy Mankala Ab:n. Helen Oy:n tuotteisiin kuuluvat kaukojäähdytyksen lisäksi kaukolämpö ja sähkön eri tuotteet sähkösopimuksista sähköautojen latauspisteisiin. (3.) Heleniltä saa myös esimerkiksi lämmönjakokeskuksen uusinnan avaimet käteen -palveluna kiinteällä kuukausimaksulla, ja uusia tuotteita kehitetään koko ajan, jotta yhtiö voi toimia asiakkaiden energiapartnereina toimittaen kokonaisvaltaisia ratkaisuja.

Kaukojäähdytysasiakkaita Helenillä on tällä hetkellä yli 400 kappaletta. Yleisimpiä kaukojäähdytystä käyttäviä rakennuksia ovat toimitilat ja liikerakennukset, kuten kuvasta 1 voi todeta. Tiedot on saatu Helenin asiakastietojärjestelmästä.



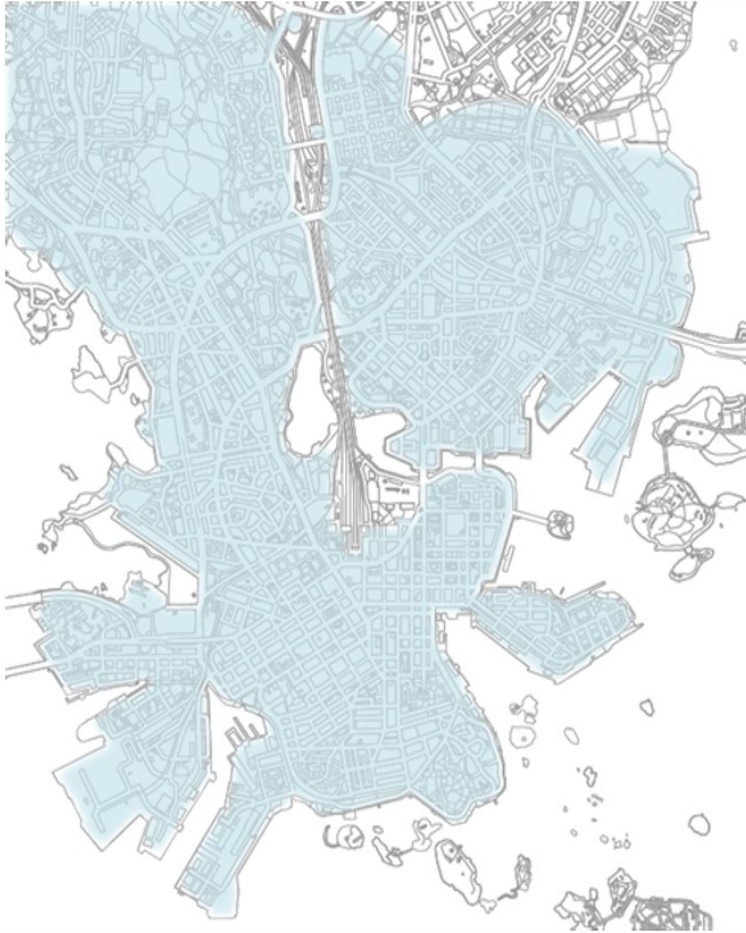
Kuva 1. KJ-asiakkaiden osuudet rakennustyyppin mukaan.

Asuinrakennuksissa kaukojäähdytyksen suosio on kasvussa ja niiden asiakkuuslukumäärä kasvaa vuosittain (4). Sopimustehot niissä ovat verrattain pieniä verrattuna esimerkiksi toimistoihin, kuten kuvista 1 ja 2 voi huomata.



Kuva 2. Kj-asiakkaat rakennustyypeittäin sopimustehon mukaan painotettuna.

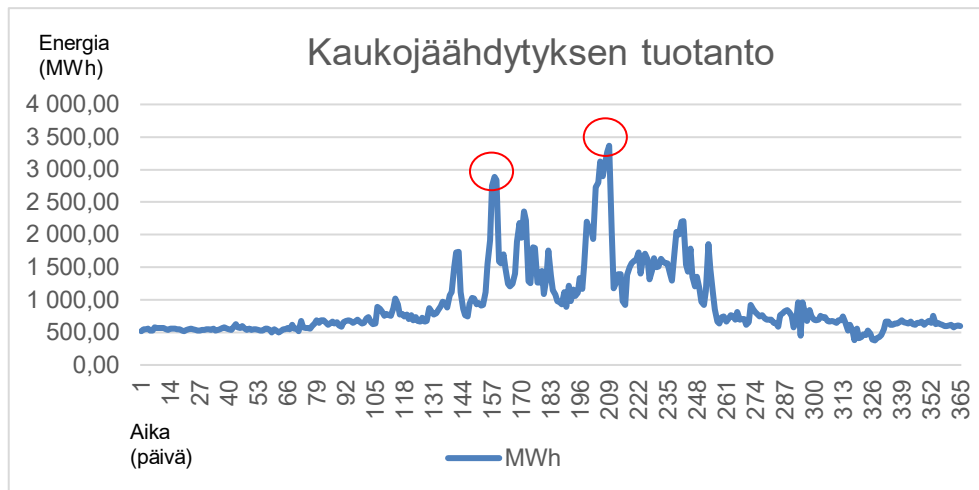
Kaukojäähdytystä on saatavilla tällä hetkellä kantakaupungin alueella, joskin verkko on kovaa vauhtia laajenemassa myös muille alueille. Kuvassa 3 on nähtävissä alue, jossa kaukojäähdytystä on saatavilla tällä hetkellä. Alueelle, jossa ei ole Helenin kaukojäähdytysverkkoa, tarjoaa Helen jäähdytysvaihtoehtona kiinteistöjäähdytys-tuotetta. Kiinteistöjäähdytyksessä Helen investoi lämpöpumppuun, jolla tuotetaan kylmä vesi asiakkaan jäähdytysverkostoon. Ylimääräinen lämpö kerätään kiinteistöstä ja siirretään Helenin tai muun paikallisen lämmöntuottajan kaukolämpöverkkoon uusiutuvaksi kaukolämmöksi. (5.)



Kuva 3. Helsingin kaukojäähdytysverkon saatavuusalue (6).

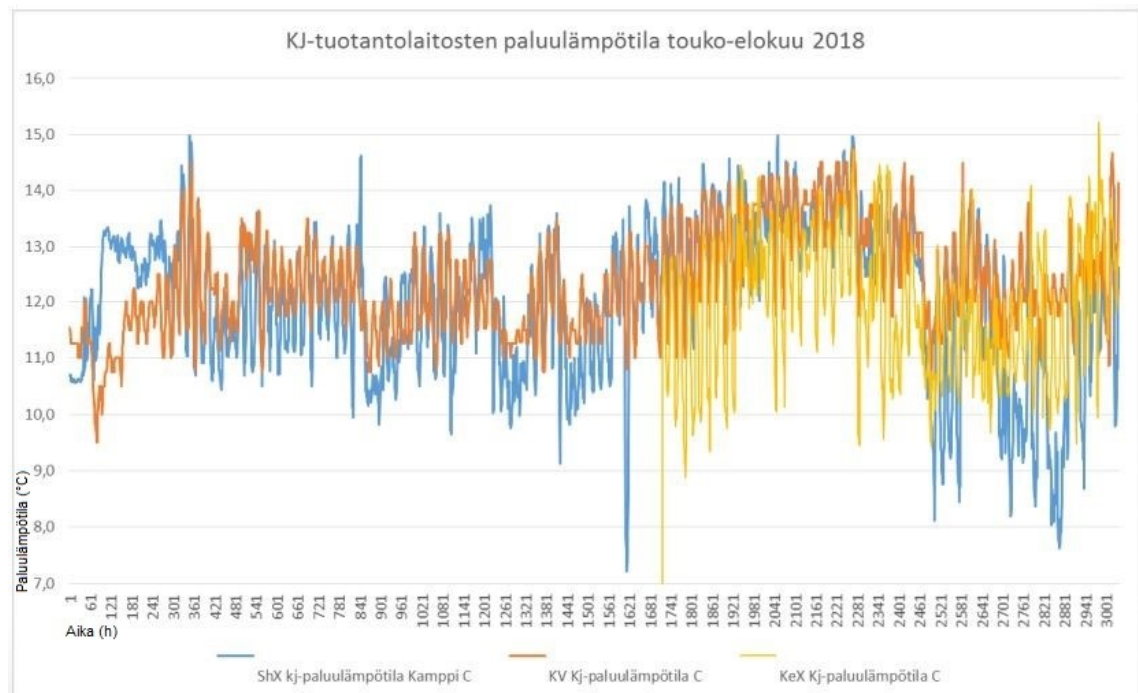
Kaukojäähdytyksen lämpöpumpuilla tuotettua jäähdytysenergiaa on alettu tuottamaan täysin uusiutuvalla sähköllä vuoden 2020 alusta lähtien, jolloin sen hiilijalanjälki laskee arvoon 0 g/kWh. Myös kaukojäähdytysveden pumppaussähkö on tuotettu täysin uusiutuvalla sähköllä. (7.)

Kaukojäähdytyksen energiankulutukseen vaikuttavat pitkät hellejaksot. Suurimmat kulutushuiput ovat kesäisin, kuten kuvasta 4 voi huomata. Jäähdytyksen tarvetta on kuitenkin vuoden ympäri.



Kuva 4. Kaukojäähdytyksen energiantuotanto päivätasolla vuonna 2019. Suurimmat kulutuspiikit olivat 7.6. ja 28.7. Tiedot saatu asiakastietojärjestelmästä.

Helenillä huomattiin kaukojäähdytysverkossa ja sen tuotantolaitoksilla ongelmia kesäisin matalan paluuv veden lämpötilan takia. Kuvassa 5 on esitetty vuoden 2018 toukoelokuun eri kj-tuotantolaitosten paluuvien lämpötilat. Käytännössä yhteenkään tuotantolaitokseen ei palannut mitoituslämpötilojen mukaista vettä. Ongelmia oli lisäksi kaukojäähdytysverkon kapasiteetin riittävyudessa tietyillä alueilla virtausmäärien kasvaessa liian suuriksi. Ongelmien tilapäisratkaisuksi pumppaustehoja jouduttiin lisäämään, jotta jäähdytystä riittäisi kaikille. Syytä tutkiessa huomattiin, että asiakkailla on suuria virtausmäärien ylityksiä. Osalle näistä asiakkaista oli ilmoitettu aikaisemmin toimimattomista kaukojäähdytyksen asiakaslaitteista, joista suuret virtausmäärät ovat johtuneet.



Kuva 5. Helsingin kaukojäähdytystuotantolaitosten tunnitteiset paluulämpötilat jäähdytyskaudella 2018. Tiedot saatu Helenin asiakastietojärjestelmästä.

Jotta kaukojäähdytys pysyy myös tulevaisuudessa kilpailukykyisenä vaihtoehtona kiinteistön jäähdytysratkaisuna, on huolehdittava kaukojäähdytysverkon ja tuotantolaitosten tehokkaasta toiminnasta. Olennaisena osana kaukojäähdytyksen tuotantolaitosten toiminnassa on asiakaslaitteiden toiminta. Jos kaukojäähdytysvesi ei lämpene asiakkaan lämmönsiirtimillä tarpeeksi, joudutaan kj-vettä pumppaamaan turhaan virtaamien kasvaessa. Tämä näkyy kj-verkon kasvavana pumppaussähkön käyttönä ja suoranaistena euromääräisinä kuluina. Tämä virtaama on myös pois verkon kapasiteetista ja liittymämyynnistä, jos nähdään, ettei jostain osasta kj-verkostoa voida myydä enempää tehoa, kun virtaamaa putkessa ei voida enää kasvattaa. Myös lämpöpumppulaitosten hyötysuhde kärsii liian matalasta kj-veden paluulämpötilasta, mikä vaikuttaa koko kaukojäähdytysjärjestelmän tehokkuuteen sekä kannattavuuteen luoden kustannuspaineita kaukojäähdytyksen hintaan. Kj-paluuvedellä tehdään myös uusiutuvaa kaukolämpöä, joten lämpöpumppulaitosten hyötysuhteella on vaikutusta siihen, miten paljon uusiutuvaa kaukolämpöä Helenillä on mahdollista myydä asiakkailleen (8).

Kaukojäähdytyksen tuotantolaitoksilla kamppailtiin tuotannon ongelmien kanssa ja arveltiin, että mahdollisesti hyvinkin kevyillä asennustöillä voitaisiin saada suuret säästöt kaukojäähdytyksen pumppaus- ja tuotantokustannuksissa, koska lämpötilaero verkossa on pieni verrattuna esimerkiksi kaukolämpöön. Olen vain vähän tekemisissä kau-

kojäähdytystuotteen kanssa, mutta päässyt urani aikani Helen Oy:llä seuraamaan sen kehitystä läheltä.

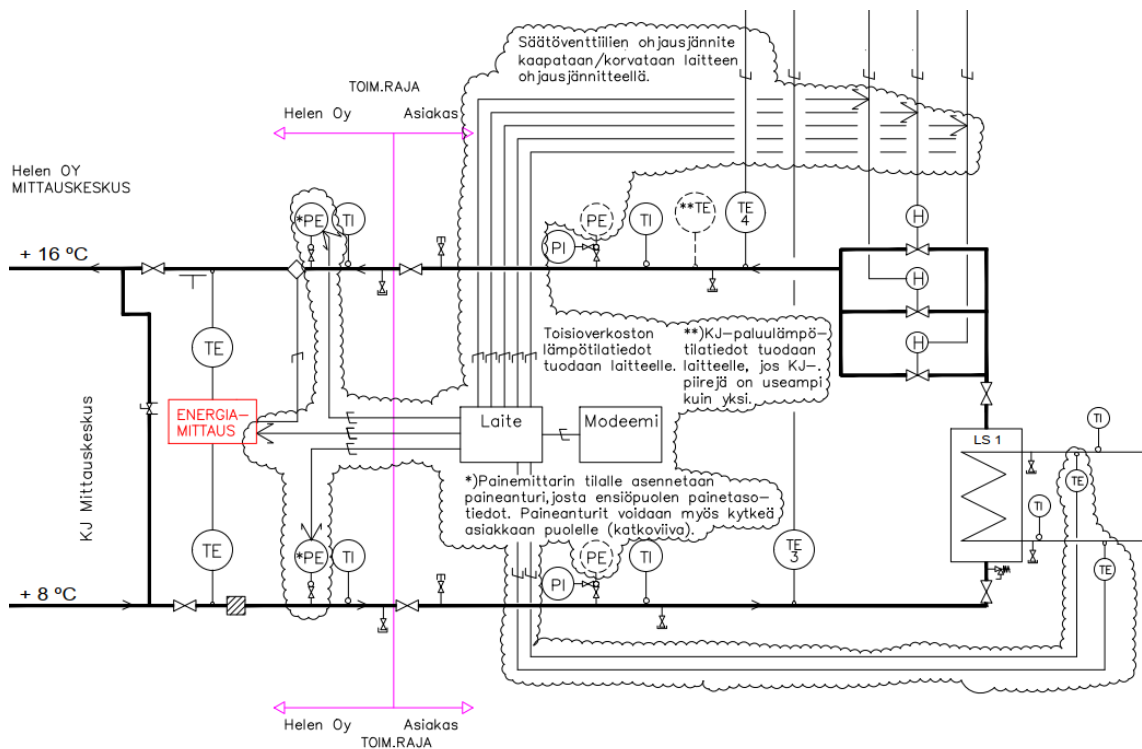
Tämä työ on jatkoa Karoliina Hakalan Helen Oy:lle vuonna 2017 tekemään insinööri-työhön ”Selvitys kaukojäähdytyksen paluulämpötilan rajoittamisen kannattavuudesta Helsingin kaukojäähdytysverkossa”. Hänen työssään toimenpide-ehdotuksina mainittiin kolme toimenpidettä, joista yksi oli rajoitussäätimen asentaminen asiakkaan kj-laitteistoon (9, s. 39). Rajoitussäätöä lähdettiin pilotoimaan yrityksen kanssa, joka on erikoistunut muun muassa kiinteistöjen kaukolämmön energiakulutuksen ja lämmön käytön seurantaan sekä ohjaamiseen. Ajan myötä pilotoitavia kohteita valikoitui kaksitoista kappaletta, ja yhteensä asennuksia on tehty 23 kappaletta.

Työssä on tarkoitus tutkia nykyisen kaukojäähdytysverkoston lisämyyntipotentialia kriittisillä osuuksilla verkostoa etäohjattujen virtauksensäädinten pilottiasennuksien jälkeen. Lisäksi selvitetään, onko niillä merkittäviä vaikutuksia pilottiasiakkaiden kaukojäähdytyksen lämpenemään ja sitä kautta virtaamiin? Voidaanko olettaa, että etäohjattujen virtauksensäätimien asennuksella saadaan pilottikohteiden kanssa samanlaisia tuloksia myös muissa kohteissa ja jatketaanko säädinten tarjoamista asiakkaille? Lisäksi tarkastellaan, millaisille asiakkaille ne ovat Helenin kannalta kannattavia ja millaisia säästöjä on mahdollista saada kj-verkon pumppauskustannusten osalta. Tavoitteena on saada aikaan ohjeistus, minkälaisille asiakkaille etäohjattua virtauksensäädintä tarjotaan asennettaviksi tulevaisuudessa kannattavuuskriteerein määritettynä. Käytössä on dataa jokaisesta kj-asiakkaasta, josta selviää kumulatiivinen energia ja vesimäärä, teho, meno- ja paluulämpötila sekä sopimusvesivirran käyttöaste. Pilottikohteiden osalta tarkastellaan ajanjaksoja ennen ja jälkeen asennuksen vuosilta 2017–2020. Lisäksi on tarkoitus haastatella Helenin kaukojäähdytyspuolen työntekijöitä, jotka ovat olleet pilottiasiakkaiden kanssa tekemisissä, ja laitetoimittajaa, jotta saadaan tietoa, miksi asiakkaiden kaukojäähdytyslaitteet eivät toimi oikein. Tutkitaan myös, mitä ohjeistusta ja millaisia säädöksiä on kaukojäähdytyksen asiakaslaitteiden toiminnasta ja kj-veden lämpenemästä.

Työssä ei ole tarkoitus tutkia esimerkiksi etäohjattujen virtauksensäädinten asennusten vaikutusta tuotantolaitosten toimintaan ja siihen, voidaanko uusia kj-energian tuotannon investointeja mahdollisesti välttää tulevaisuudessa.

Helen on alkanut vasta viime vuosina asentamaan läppäventtiilirajoittimia uusille kj-asiakkaille. Tämä rajoituslaitteisto rakennetaan Helenin mittauskeskukseen, kuten liitteessä 1 on kuvattu. Läppäventtiilin toimilaitte on yhdistetty automatiikkaan, johon tuodaan myös tehotieto kj-mittarilta. Läppäventtiili alkaa kuristamaan kj-virtaamaa, kun sopimustehoarvo ylittyy. Tämän huonona puolena on se, ettei se huomioi lämpenemää eikä sitä kautta virtaamaa mitenkään, ennen kuin sopimusteho on ylitetty. Jos sopimustehoon ei päästä, voi vettä virrata suuria määriä pienellä lämpenemällä, eikä rajoitin puutu siihen mitenkään.

Tässä työssä käsiteltävän etäohjatun virtauksensäätimen kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 6. Sen toiminta poikkeaa rajoittimen toiminnasta monin tavoin. Virtauksen säätö ja erilaiset rajoitustoiminnot tehdään asiakkaan omilla säätöventtiileillä. Mitään ylimääräistä ensiöpuolen kj-putkeen asennettavaa laitetta ei siis tarvita. Tarkemmin etäohjatun virtauksensäätimen toimintaa kuvataan myöhemmin tässä työssä.



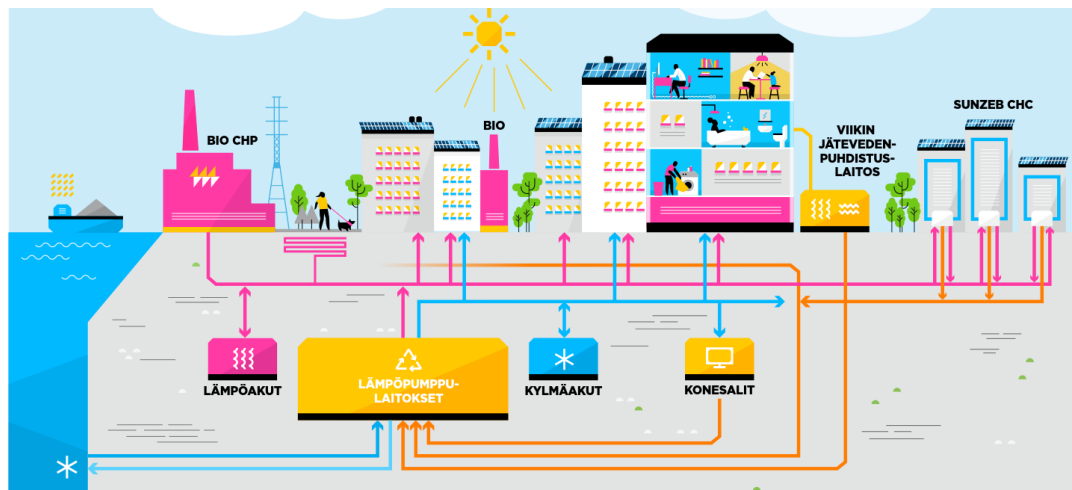
Kuva 6. Etäohjatun virtauksensäätimen kytkentäkaavio.

Laitteeseen tuodaan kiinteistön jäädytysverkkojen meno- ja paluulämpötila-, kaukojäädytyksen paluulämpötila-, kj:n tulo- ja paluupaine- sekä virtaus- ja tehotiedot. Näiden perusteella virtauksensäädin rajoittaa kj-virtaamaa asetettuun arvoon.

2 Kaukojäähdytys Helsingissä

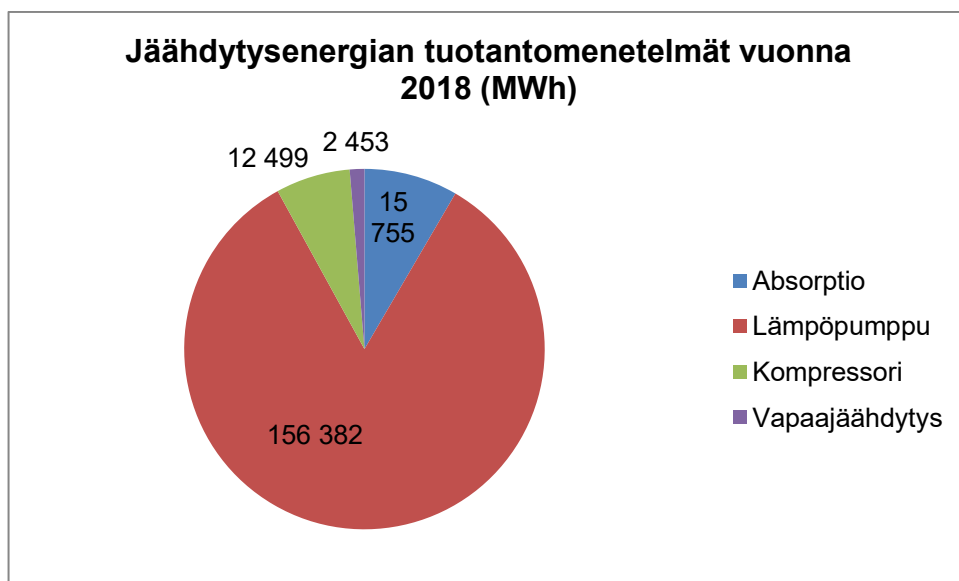
Kaukojäähdytys on kaikentyyppisille rakennuksille soveltuva tilojen jäähdytystapa. Sillä tarkoitetaan keskitetyissä tuotantolaitoksissa tuotettua kylmää vettä, joka jaetaan asiakkaille kaukojäähdytysverkon avulla. Tuotantolaitosten lisäksi vettä pumpataan verkoston eri osissa, jotta paine-erotasot riittävät pitämään veden liikkeellä. (10, s. 529.) Helsingissä kaukojäähdytystä käytetään yleisimmin toimistorakennuksissa, liikekiinteistöissä ja asuinrakennuksissa, kuten kuvasta 1 voi huomata. Tiedot asiakassegmentoinnista on haettu Helenin asiakastietojärjestelmästä.

Helenin varsinainen kaukojäähdytystoiminta alkoi nykymuodossaan Salmisaaressa vuonna 2000, kun voimalaitoksen alueelle rakennettiin 10 MW:n kaukojäähdytyskeskus. Tuotantolaitoksen energiantuotannosta vastasi kaksi 3,5 MW:n absorptiojäähdytyskoneikkoa, jotka toimivat kaukolämmöllä. Lauhuttamiseen käytetään merivettä. Lisäksi kulutushuippuja tasasi 1 000 m³:n jäähdytysvesivarasto, jota pystyttiin lataamaan öisin, kun jäähdytystehon tarve laskee. Nykyisin absorptiojäähdytyskoneita on 10 kappaletta. Salmisaaren kj-tuotantolaitoksella voidaan talvisin tuottaa merivedestä suoraan kaukojäähdytystä verkkoon lämmönsiirtimien avulla. (10, s. 556.) Kaukojäähdytystä tuotetaan Salmisaaren lisäksi Katri Valan sekä pian myös Esplanadin puiston alaisilla lämpöpumppulaitoksilla. Kaukojäähdytystuotantolaitokset ovat osana *maailman parasta kaupunkienergiaa* -konseptia, joka on palkittu maailman tehokkaimpana energiantuotantokonseptina (11), jonka ideaa on esitetty kuvassa 7. Kulmakivinä tässä konseptissa ovat kaukolämmön yhteistuotantolaitokset, joissa tuotetaan lämpöä ja sähköä, sekä lämpöpumppulaitokset, joissa tuotetaan kaukolämpöä ja -jäähdytystä samassa prosessissa. Katri Valan lämpöpumppulaitoksen lämmönlähteenä on kaukojäähdytyksen paluuvesi ja Viikin jäteveden puhdistamolta saapuva mereen virtaava puhdistettu jätevesi. Katri Valan lämpöpumppulaitoksen tuotannosta yli 80 % perustuu energialähteisiin, jotka muuten menisivät hukkaan. (8.) Helenin kaukojäähdytysjärjestelmä on Euroopan kolmanneksi suurin ja laajenee nopeimmin (12).



Kuva 7. Maailman tehokkaimpana palkitun kaupunkienergiäjärjestelmän havainnekuva (11, s. 3).

Energiateollisuuden kaukojäähdytystilaston mukaan Helsingissä tuotettiin vuonna 2018 noin 187 GWh kj-energiaa. Seuraavaksi suurin kj-energian tuottaja oli Turku Energia Oy noin 45 GWh:n energiamäärällä, joten kaukojäähdytysmarkkinat ovat Helsingissä moninkertaiset seuraavaksi suurimpaan verrattuna. Kuvassa 8 on esitetty Helenin kj-energian tuotantomuodot. Ylivoimaisesti eniten kj-energian tuotosta tehtiin lämpöpumpuilla. (13.) Vapaaäähdytystä käytetään vähemmän kuin ennen, koska lämpöpumpuilla saadaan kj-paluuveden lämpöenergia kierrätettyä kaukolämmöksi eikä lämpöä tarvitse ajaa mereen (8).

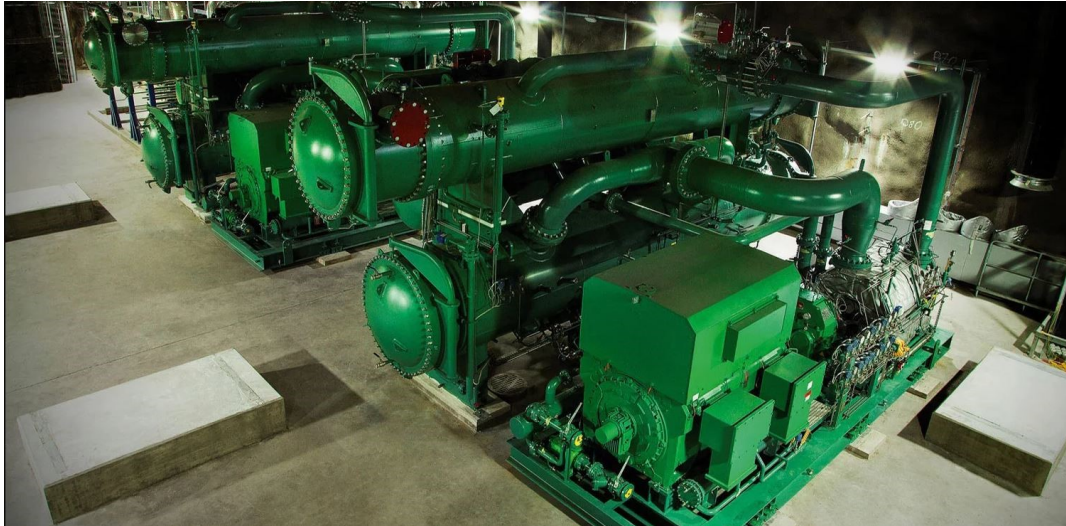


Kuva 8. Helenin kaukojäähdytystuotantomuodot vuonna 2018.

Kaukojäähdytysputkia on Helsingissä maan alla noin 80 kilometriä (13). Kaukojäähdytysvettä siirrellään myös syvemmillä maan alla huoltotunneleissa. Näin toimintavarmuutta voidaan pitää yllä mahdollisesti vuodon sattuessa johonkin kohtaa pintaverkkoa. Uutta verkostoa rakennetaan joka vuosi lisää riippuen kiinteistöjen mielenkiinnosta kaukojäähdytystä kohtaan. Yksittäisiä pieniä asiakkuuksia ei ole välttämättä kustannustehokasta lähteä liittämään kaukojäähdytykseen, koska putkien asentamien katujen alle on suhteellisen kallista. Kaukojäähdytyksen hinnoittelussa ei ole käytössä tariffia, vaan jokainen asiakkuus tarkastellaan erikseen (10, s. 556).

2.1 Helen Oy:n kaukojäähdytyksen tuotanto

Helsingissä kaukojäähdytystä tuotetaan tällä hetkellä kolmessa tuotantolaitoksessa muutamien eri tavoin. Kaukojäähdytysteho näillä kaikilla tuotantomuodoilla on yhteensä 132 MW. (13). Katri Valan lämpöpumppulaitoksessa on toiminnassa viisi lämpöpumppua, jonka yhteistuotantoteho on 70 MW. Laitos on rakennettu vuonna 2006, ja se on maailman suurin kaukojäähdytystä ja -lämpöä tuottava lämpöpumppulaitos. Laitos on louhittu kallioon Katri Valan puiston alle Sörnäisiin. Kuudetta lämpöpumppua ollaan ottamassa tuotantokäyttöön kesällä 2021, jolloin laitoksen jäähdytysteho nousee 82 MW:iin. Samalla lämpöpumppulaitoksella tuotetaan myös uusiutuvaa kaukolämpöä kaukojäähdytysveden paluuedestä sekä Viikin jätevesipuhdistamon puhdistetusta jätevedestä. (14). Esplanadin puiston alle on myös rakennettu lämpöpumppulaitos, joka otettiin käyttöön vuonna 2018. Sen lopullinen suunniteltu jäähdytysteho on 50 MW, josta käytössä on nyt 15 MW. Kuvassa 9 on esitetty Esplanadin lämpöpumppuja. Etualan lämpöpumpussa ylhäällä lieriömäinen kappale on lauhdutin ja alhaalla höyrystin. Lieriöiden vaipassa kiertää kylmäaine ja putkilämmönsiirtimissä kl- ja kj-vesi. Sähkömoottori pyörittää turbokompressoria. (13; 14.)



Kuva 9. Esplanadin keskeneräisen lämpöpumppulaitoksen kaksi lämpöpumppua (15).

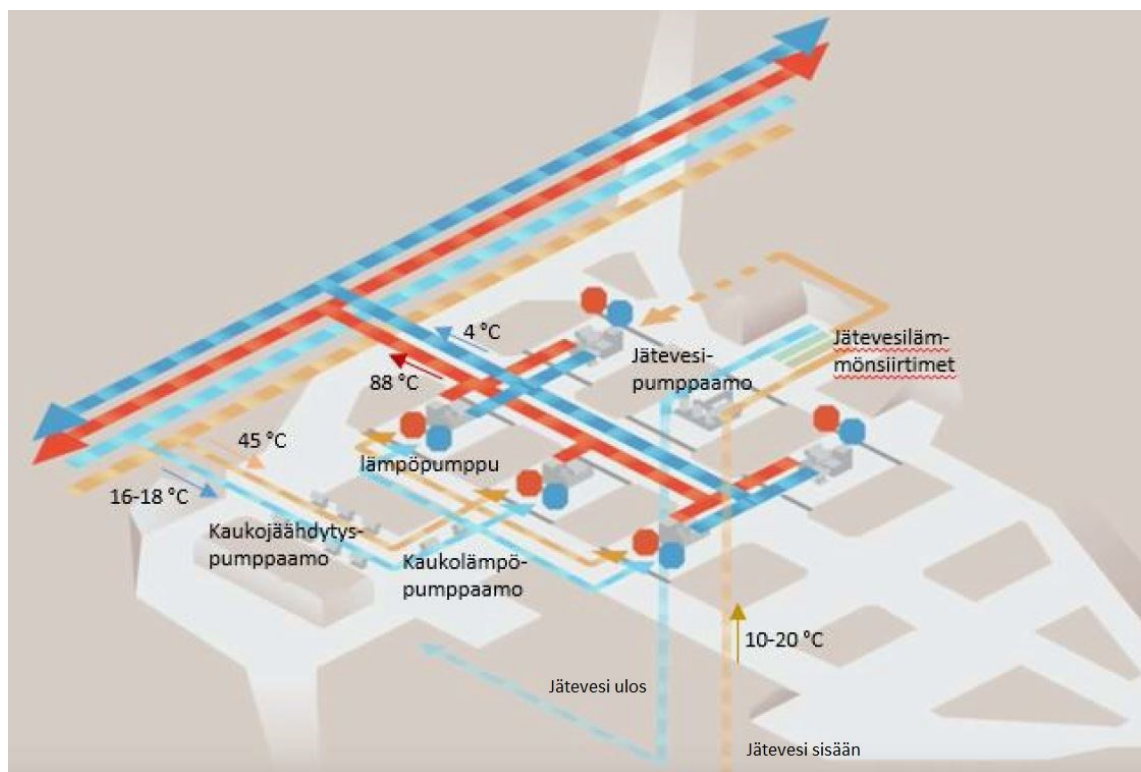
Salmisaassa kaukojäähdytystä tuotetaan absorptiotekniikalla kahdessa jäähdytyskeskuksessa. Tämä tuotantolaitos oli ensimmäinen keskitetty kaukojäähdytyksen tuotantolaitos Helenin kaukojäähdytysverkostossa. (10, s. 556.) Lisäksi kaukojäähdytystä tuotetaan merivesilauhdutteisilla kompressorijäähdyttimillä niin ikään Salmisaaren jäähdytyslaitoksella. Näiden jäähdyttimien yhteisteho on 10 MW. Lisäksi Helenillä on muutama siirrettävä konttijäähdytin, jotka on toteutettu myös kompressorijäähdytystekniikalla. Näiden teho on muuhun tuotantoon verrattuna pieni, vain 2 MW. (13.)

2.1.1 Lämpöpumput kaukojäähdytyksen tuotannossa

Lämpöpumppuun kuuluu neljä pääkomponenttia; paisuntaventtiili, kompressori, höyrystin ja lauhdutin. Järjestelmään kuuluu usein lisäksi esimerkiksi nestevaraajia, jotka taasaavat kompressorin käyntiä, energian tarpeen vaihteluita ja saavat faasimuutoksen tapahtumaan kokonaan lämmönsiirtimessä. (10, s. 539–540.) Lämpöpumppujen toiminta Helenin prosesseissa perustuu kiertoprosessiin, jossa kylmäaine muuttaa olemuotoaan ja tällöin siirtää energiaa kaukolämpöön lauhduttimen avulla ja ottaa sitä kaukojäähdytyksestä höyrystimen avulla. Höyrystimelle saapuva kylmäaine on tullut paisuntaventtiilin kautta, joka on laskenut sen painetta ja samalla lämpötilaa. Kaukojäähdytyksen lähtevän veden lämpötila on noin 4 °C lähtiessään verkostoon. Kaukojäähdytyksen paluvedestä kerätään siis lämpö talteen kylmäaineeseen lämmönsiirtimen kautta. Kylmäaine höyrystyy ja jatkaa matkaansa kompressorille, joka nostaa kylmäaineen painetta, jolloin sen lämpötila nousee. Lauhduttimelle palatessaan kylmäai-

neen olomuoto on kaasumainen. Kylmäaineen lämpötila nostetaan sopivaksi, jotta sillä voidaan tuottaa kaukolämpöverkkoon lämpöä lämmönsiirtimen avulla. Kaukolämpövesi poistuu noin 80–88 °C lämpötilassa kaukolämpöverkostoon. Kaukolämmön paluuvesi siis jäädyttää kylmäaineen, jolloin se muuttuu takaisin nesteeksi. Kylmäaine virtaa sen jälkeen paisuntaventtiilille, jossa kylmäaineen paine äkillisesti laskee johtaen pienen osuuden höyrystymiseen. Tämä pudottaa voimakkaasti kylmäaineen lämpötilaa ja kierto jatkuu aineen siirtyessä uudelleen höyrystimelle. Tällä kiertoprosessilla lämpöpumput toimivat tuottaen sekä kaukojäähdytystä että -lämpöä. (8.)

Lämpöpumppuja käytetään Helenin kaukojäähdytyksen tuotannossa yhdessä kaukolämmön tuotannon kanssa, joiden energiavirtoja on kuvattu kuvassa 10. Tällöin investoinneille saadaan lisää kannattavuutta (10, s. 539). Katri Valan lämpöpumppulaitos riittääkin kesäisin yhdessä kaukojäähdytyksen tuotannon kanssa kattamaan valtaosan Helsingin kantakaupungin lämmöntarpeesta (16). Tässä lämpöpumppulaitoksessa lämpöpumppujen yhteisjäähdytysteho on 82 MW ja lämpöteho 123 MW (14).

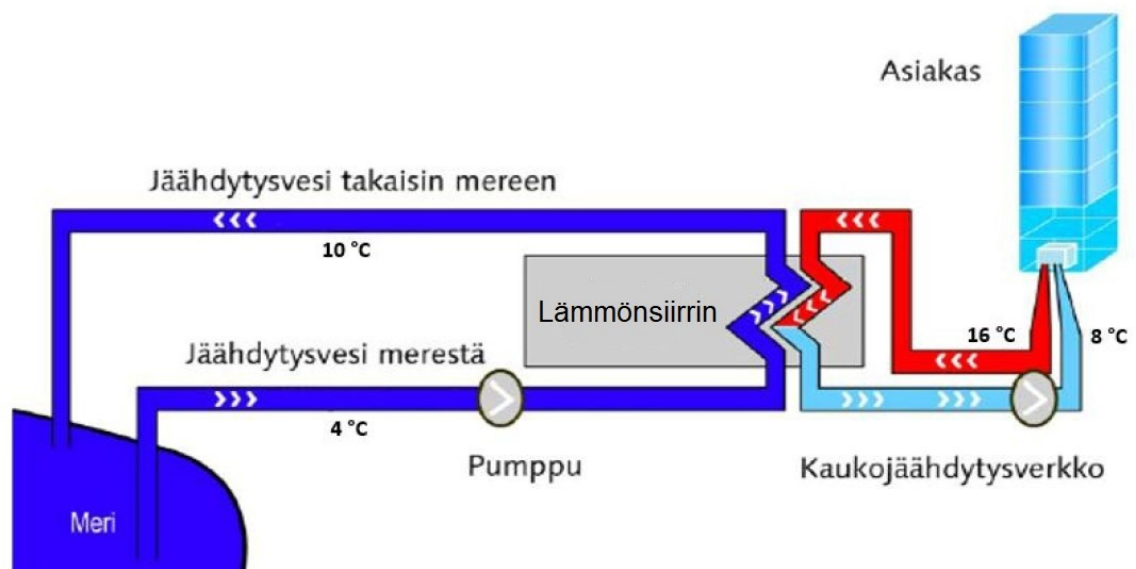


Kuva 10. Katri Valan lämpöpumppulaitoksen toimintaperiaate (muokattu, 8).

2.1.2 Vapaajäähdytys kaukojäähdytyksen tuotannossa

Vapaajäähdytyksellä tarkoitetaan jäähdytystä, joka hyödyntää esimerkiksi maaperän, joen, meren tai järven veden matalaa lämpötilaa. Lämpö johdetaan suoraan tai siirtimen kautta jäähdyttävään nesteeseen tai laitteeseen. Vapaajäähdytyksessä voidaan käyttää myös ulkoilmaa. (10, s. 553.)

Helsingissä vuonna 2018 tuotettiin 2 453 / 187 089 MWh (1,3 %) kj-energiasta vapaajäähdytyksellä Salmisaaren tuotantolaitoksessa merivedestä, joten mistään merkittävästä tuotantomuodosta ei voi puhua Helenin kannalta (14). Meriveden käytettävyys riippuu paljon sen lämpötilasta. Lämpötilan on oltava riittävän matala, n. 4 °C, jotta sillä voidaan jäähdyttää kj-verkostoveden lämpötila noin 8 °C:seen. Kuvassa 11 on esitetty merivedestä saatavan vapaajäähdytyksen toimintaperiaate.

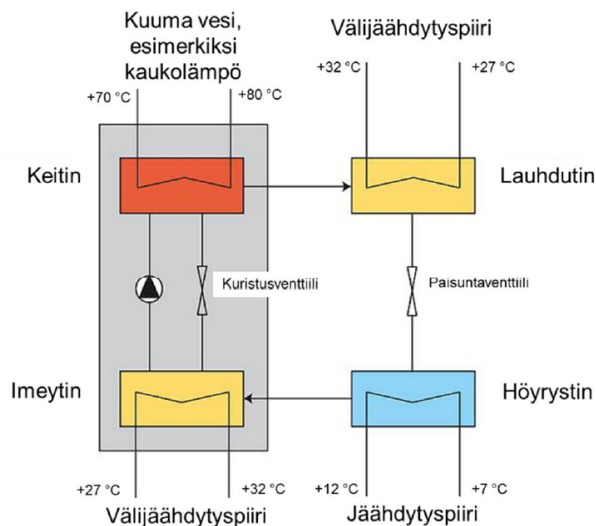


Kuva 11. Vapaajäähdytyksen toimintaperiaate (9, s. 11, muokattu)

2.1.3 Absorptiojäähdytys kaukojäähdytyksen tuotannossa

Absorptiojäähdytysprosessi perustuu liuottimen ja kylmäaineen (absorbentin) ominaisuuksiin ja näiden aineiden sekoituksen käyttäytymiseen. Tietyssä paineessa ja lämpötilassa vallitsee tasapaino kaasun ja nesteeseen absorboituneen kaasun välillä. Kun tätä tasapainoa horjutetaan muuttamalla lämpötilaa tai painetta, kaasua joko vapautuu nesteestä tai sitoutuu nesteeseen. (9, s. 534.) Kuten kuvassa 12 on esitetty, tämä pro-

sessi koostuu neljästä pääosasta: höyrystimestä, lauhduttimesta, keittimestä ja imeyttimestä. Imeyttimessä väkevoitynyt liuos sekoittuu höyrystimestä palaavan lauhtuvan liuoksen kanssa matalassa painetasossa. Sen jälkeen se pumpataan korkeampaan painetasoon keittimelle. Keittimessä liuos höyrystetään kaukolämmön avulla, josta se jatkaa edelleen lauhduttimelle. Höyry menee lauhduttimeen, jossa se lauhtuu ja neste ohjataan paisuntaventtiin kautta matalammassa painetasossa toimivalle höyrystimelle. Täällä neste höyrystyy uudelleen jäähdyttämällä kylmäainepiiriä. Lauhduttimen ja imeyttimen toiminta vaatii lisäksi jäähdyttävän vesivirtauksen (ns. välijäähdytys), joka on lämpötilatasoltaan keittimen ja höyrystimen toimintalämpötilojen väliltä. Tyypillisesti jäähdytysveden lämpötila hieman alle 30 °C -jäähdytysveden. Imeyttimen ja keittimen välillä kannattaa käyttää lämmönsiirintä, jossa väkevoitynyt liuos luovuttaa lämpöä keittimelle pumpattavaan liuokseen. Tämä parantaa prosessin hyötysuhdetta. (17, s. 20.)



Kuva 12. Absorptioprosessi, jossa keittimen lämmitys kaukolämmöllä (17, s. 20).

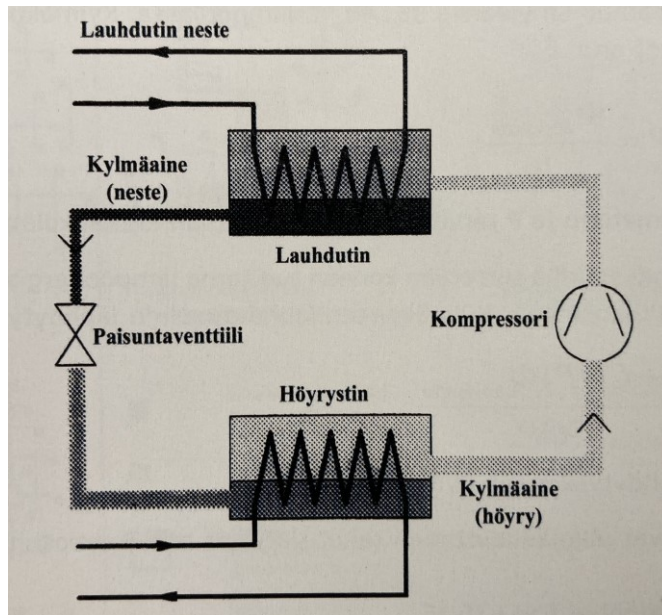
Helenin absorptiolaitoksessa Salmisaassa tuotettiin vuonna 2018 lähes 16 000 MWh jäähdytysenergiaa. Laitosta käytetään ainoastaan kaukojäähdytyksen huipputehokäytössä, koska absorptiokoneikkojen hyötysuhde on huonompi kuin lämpöpumppujen hyötysuhde. Kylmätehoa laitoksella on $10 \times 3,5 \text{ MW} = 35 \text{ MW}$. Vasemmalla kuvassa 13 pellitetyt putket ovat kaukolämpöputkia, jotka kytkeytyvät keittimelle. Keskimäinen valkoinen putki on imeyttimen lauhdutusputki ja oikeanpuoleinen alumiinilaminaatilla päällystetty putki on kj-putki. (9, s. 539; 11)



Kuva 13. Salmisaaren absorptiojäähdytyskoneita.

2.1.4 Kompressorijäähdytys kaukojäähdytyksen tuotannossa

Kompressorikylmäkoneen toiminta perustuu samalla lailla kylmäaineen faasimuutoksille kuin lämpöpumpun toiminta, ja kiertoprosessi on sama. Kompressorikoneen ero lämpöpumppuun nähden on se, että lauhduttimen lämmönluovutusta ei hyödynnetä, vaan lämpö siirretään ympäristöön. Esimerkiksi Helenin kaukojäähdytyksen tuotannossa, Salmisaarella väliaineena toimii merivesi. Käyttövoimana tällaisissa kaukojäähdytyksen tuotantoprosesseissa on sähkö, joka tekee kaukojäähdytyksen tuotannosta lämpöpumppulaitosta herkemmän sähkön hinnan muutoksille, koska koneikosta hyödynnetään vain jäähdytyspuoli. (9, s. 531.)



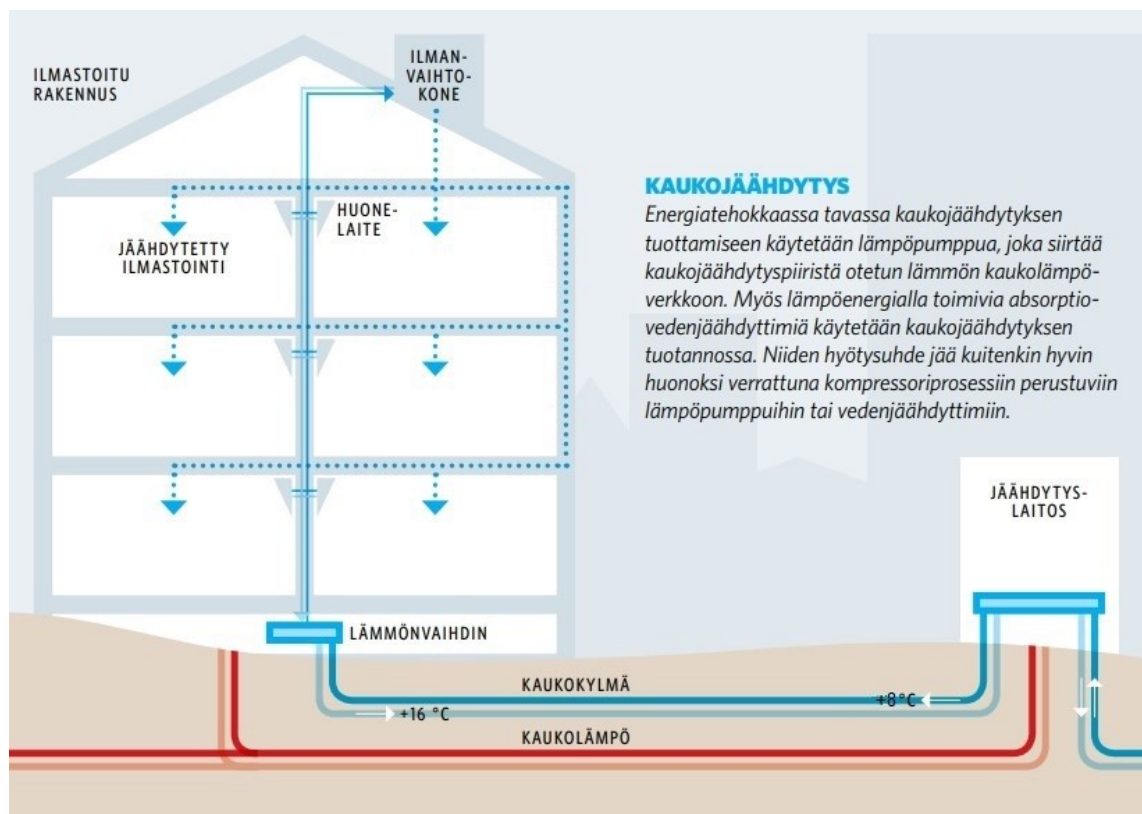
Kuva 14. Kompressorikylmäkoneen periaatepiirros (9, s.532).

Kuten lämpöpumpuissa, myös kylmäkoneissa on erilaisia kompressoreja: mäntä-, lamelli-, ruuvi-, turbo- ja keskipakokompressoreita. Mäntäkompressorissa edestakaisin liikkuva mäntä puristaa kylmäaineen paineessa nesteeksi. Tätä kompressorityyppiä käytetään pienemmissä alle 1,5 MW:n koneissa. Lamellikompressorissa mäntä pyörii sylinterissä epäkeskeisesti. Kaasuna oleva kylmäaine puristuu pienempään tilaan ja paine nousee. Ruuvikompressorissa pyörii ruuvi, joka puristaa kylmäainetta korkeampaan paineeseen. Nämä ovat teholtaan tyypillisesti alle 10 MW. Ruuvikompressorissa voi olla myös useampia ruuveja, joiden kierteet ovat limittäin. Kierteet ovat muotoiltu siten, että kaasu liikkuu siinä eteenpäin koko ajan pienempään tilavuuteen, jolloin paine kasvaa. Turbokompressorissa kylmäaine paineistetaan antamalla sille liike-energiaa. Liike-energiaa lisätään kuin pumpuissa, juoksupyörän avulla. Turbokompressoreja käytetään Katri Valan ja Esplanadin lämpöpumpulaitosten lämpöpumpuissa sekä Salmisaaren kylmäkoneissa. Keskipakokompressorissa juoksupyörä painaa kylmäaineen juoksupyörän ulkokehälle, josta se poistuu reiästä höyrystimelle menevään putkistoon. Tehoa näistä voidaan saada 25 MW:iin asti. (9, s. 532–533.)

2.2 Kaukojäähdytyksen siirto ja varastointi

Kaukojäähdytysenergia siirretään asiakkaille menoputkistoa pitkin tuotantolaitoksilla jäähdytetyn veden avulla. Asiakkaalla kj-veden tulolämpötila on noin 8 °C vuoden ajas-

ta riippumatta. Tuotantolaitoksilta se lähtee hieman kylmempänä. Vesi lämpenee asiakkaan lämmönsiirtimillä ja jäähdytysenergiaa siirtyy asiakkaan kiinteistön jäähdytysverkostoon, josta se pumpataan esimerkiksi kiinteistön tilakohtaisiin jäähdytyslaitteisiin tai ilmanvaihdon jäähdytyspattereille. Tilakohtaiset jäähdyttimet keräävät ylimääräisen huonetilan lämpöenergian jäähdyttäen sitä samalla ja verkoston paluuvesi kiertää takaisin lämmönsiirtimelle, josta lämpö siirtyy kj-paluuveeten. Kj-vesi palaa lämmenneenä paluuputkea pitkin takaisin tuotantolaitokselle, jossa se jäähdytetään uudelleen ja kierto alkaa alusta. (9, s. 541.) Tämä kierto on esitetty kuvassa 15.



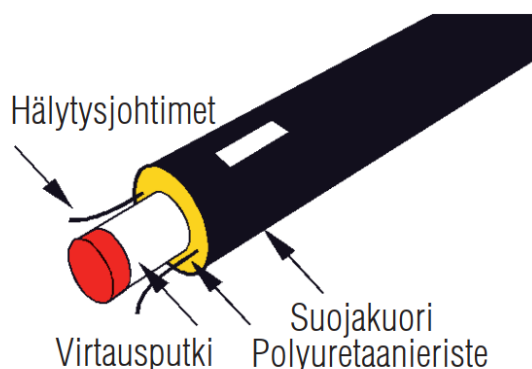
Kuva 15. Kiinteistön kaukojäähdytyksen periaatepiirros (18, muokattu).

Kaukojäähdytysvettä siirrellään tunneliverkostossa, joka saattaa olla kymmeniäkin metrejä maan pinnan alapuolella ja pintaverkossa, joka on noin metrin syvyydessä maan pinnan alla. Tunneliverkosto yhdistää tuotantolaitokset sekä kylmäakut toisiinsa ja ulottuu Salmisaaresta Pasilaan, kun taas pintaverkko kattaa koko kuvan 3 alueen. (19.)

2.2.1 Kaukojäähdytysputket

Kaukolämmössä uudisasiakkaiden kaukolämpöveden lämpötilat t_{meno}/t_{paluu} mitoitus- pisteessä ovat 115/33 °C, joka tarkoittaa, että menoveden lämpötila on 115 °C ja paluueden lämpötila on 33 °C, eli lämpötilaero on 82 °C. Kaukojäähdytyksessä uudisasiakkaan vastaavat lämpötilat ovat 16/8 °C, joka tarkoittaa lämpötilaeroa 8 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että samalla teholla virtaama kj-verkostossa on noin kymmenen kertaa suurempi. Tämä tarkoittaa paljon suurempia putkikokoja verrattuna kaukolämpöön. Kaukojäähdytyksessä kylmän veden virtausnopeutena tulisi pitää maksimissaan lukemissa 1–2 m/s eroosiovaaran takia.

Maahan asennettavat kj-putket ovat pääosin samoja hitsattavia teräsputkia ja samoja putkielementtejä kuin kaukolämmössä. Kj-putken eristekerroksen ei tarvitse olla niin paksu kuin kaukolämpöputkessa maan ja putken välisen pienemmän lämpötilaeron ja tätä kautta jäähdytyshäviöiden vuoksi. Lisäksi materiaaleina saatetaan käyttää ruostumatonta- ja haponkestävää terästä, muovia sekä lasikuitua. Teräsputkia käytettäessä lämpöeristeen diffuusiotiiveys on tärkeää, jottei putken pintaan pääse kondensoitumaan vettä, joka aiheuttaa korroosiota putken pinnalla. Tämä saattaa ajan kanssa syövyttää putkeen reiän, joka aiheuttaa vuodon. Tärkeisiin putkiosuuksiin asennetaan hälytysjohtimet havaitsemaan mahdollisia vuotoja. Maahan asennettavissa putkielementeissä eristeenä käytetään polyuretaania, jonka päällä on kova muovikuori, kuten kuvassa 16 on esitetty. (9, s. 541.)



Kuva 16. 2Mpuk-elementtijohtoon rakennepiirros (20).

Sisätiloihin asennettavat kj-putket pohjamaalataan ruosteenestomaalilla ennen eristeen liimaamista sen pintaan. Eristeenä käytetään yleensä solukumieristettä, joka on vähintään 13 mm paksu. Sillä saadaan samalla tehtyä höyrysulku, jotta kondensoitumista ei tapahtuisi. (9, s. 541; 18, s. 27.)

2.2.2 Kaukojäähdytysvesi

Kaukojäähdytysvetenä käytetään jäähdytettyä kaukolämpövedettä, joka on käsitelty täyttämään kaukolämpöverkoston vedelle vaaditut kriteerit. Samat kriteerit vaaditaan kaukojäähdytysverkon vedelle. Vedestä halutaan mahdollisimman vähän korroosiota aiheuttavaa, jolla taataan mahdollisimman pitkä käyttöikä verkoston putkille ja voimalaitoksen laitteille, joissa vesi kiertää. Vedestä poistetaan happi sekä sitä pehmennetään. Lisäksi se värjätään, jotta se olisi helpommin erotettavissa kiinteistön jäähdytysverkoston vedestä mahdollisissa lämmönsiirrinvuototapauksissa. Vihertävä vesi ei ole aina tae lämmönsiirrinvuodosta, vaan mahdolliset vesinäytteet voi toimittaa energialaitokselle tutkittavaksi. (21). Lisäksi maailmalla on käytössä myös muita jäähdytyksen siirtonesteitä, kuten jäähilevesi, kalsiumkloridi, etanoli, propyleeni- ja etanoli glykoli, freezium, thermana ja hiilidioksidi, joista osaa käytetään myös keskitetyn jäähdytysenergian jakelussa. Helenin kj-verkossa näitä ei käytetä. (9, s. 543.)

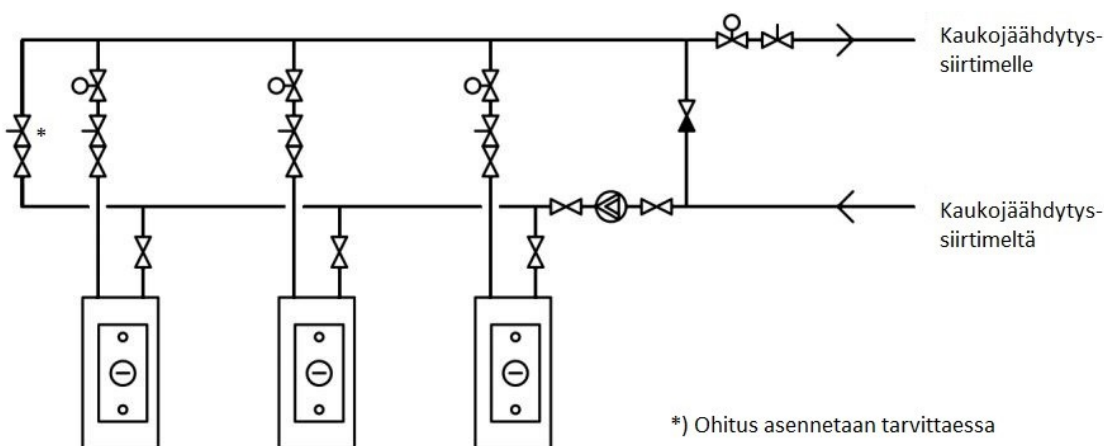
2.2.3 Kylmäakut

Esplanadin puiston alla sijaitsee 100 metrin syvyydessä vuonna 2015 käyttöön otettu Suomen suurin jäähdytysakku, eli allas, joka on täytetty kylmällä vedellä. Sen tilavuus on 38 500 m³, joka vastaa keskimääräisen järven vesitilavuutta. Pasilassa sijaitsee niin ikään maan alla kylmäakku, jonka tilavuus on 11 500 m³. Jäähdytysenergiaa ladataan ja puretaan lämmönsiirtimien avulla, joten käsiteltyä kj-vettä ei altaissa ole. Akut tasaaivat kesäpäivän huippujäähdytysenergian tarvetta ja ne voidaan ladata yön aikana. Akuilla pystytään myös optimoimaan jäähdytyksen tuotantoa lämpöpumppujen käytinjaksuja pidentämällä. (11). Lisäksi Salmisaarella on jäähdytysvesivarasto, jonka tilavuus on 1 000 m³ (9, s. 556.)

3 Kiinteistöjen jäähdytysjärjestelmät

3.1 Jäähdytyspalkit

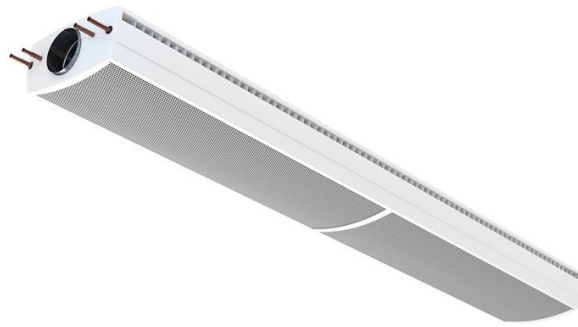
Jäähdytyspalkit voidaan jaotella kahteen ryhmään ominaisuuksiensa perusteella; aktiivi- ja passiivipalkkeihin. Aktiivipalkki on esitetty kuvassa 18. Sen läpi tilaan tuodaan myös tuloilmaa. Passiivipalkkia ei ole liitetty ilmanvaihtoon ja sen tarkoitus on ainoastaan jäähdyttää tilaa vapaan konvektion ja säteilyn avulla. Aktiivipalkissa konvektiota tehostaa tuloilmavirta ja se onkin passiivipalkkia tehokkaampi jäähdytysvaihtoehto. Lisäksi on olemassa puhtaasti säteilyyn perustuvia ratkaisuja. Aktiivipalkit soveltuvat tiloihin, joissa ei tarvita suuria tuloilmavirtoja, kuten toimistohuoneisiin. Jäähdytyspalkin patterissa kiertää kylmä vesi, jonka virtaamaa ja sitä kautta tehoa voidaan säätää esimerkiksi yksikkösäätimellä. Veden virtaamaa säätää moottoriventtiili. Kuvassa 17 on esitetty jäähdytyspalkkiin putkikytkentäesimerkki. (22.)



Kuva 17. Jäähdytyspalkkiin shunttikytkentä, jossa kaukojäähdytys siirtimeltä tulevan nesteen lämpötila on kastepisteen alapuolella. Verkoston lämmennyt paluuvettä sekoitetaan jäähdytyspalkeille menevään veteen, jotta sen lämpötila saadaan kastepisteen yläpuolelle. (muokattu, 23).

Jäähdytyspalkkijärjestelmä suunnitellaan usein kuivaksi järjestelmäksi tarkoittaen, ettei niillä ole tarkoitus poistaa tilan ilmasta kosteutta. Toisin sanoen niiden pintaan ei saa tiivistyä huoneilman vesihöyryä eli palkit eivät saa kondensoida. Niihin ei suunnitella kondenssiveden poistoa, ja jos järjestelmä kondensoi, saattavat sähkölaitteet olla vaarassa rikkoutua, mikäli niitä on sijoitettu palkin alle. Palkkien toiminta vaatii usein lisäksi tuloilman kuivaamisen jäähdytyspatterilla. Sisäilman kastepiste pitäisi pystyä pitämään koko ajan palkeille menevän veden lämpötilan alapuolella. Usein ne ovat kuitenkin kyt-

ketty verkostoon, jossa virtaa kylmempi vesi kuin sisäilman kastepiste sallii ilman kondensointia. Siksi niille toteutetaan usein erikseen sekoitus- eli shunttikytkentä, jolla pystytään nostamaan palkin patterille menevän veden lämpötilaa. (23, s. 32–34.) Shunttikytkentä on esitetty kuvassa 17.



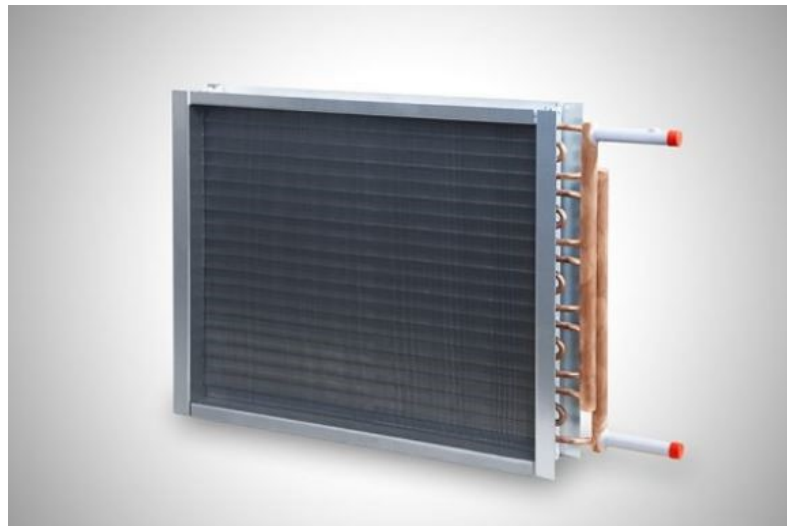
Kuva 18. Aktiivipalkki, johon liitetään tuloilmakanava. Tässä mallissa on putkiyhteet sekä lämmitykselle että jäähdytykselle. (24.)

Etuna palkkijärjestelmässä voidaan pitää korkeahkoa menoveden lämpötilaa, jolloin esim. vapaajäähdytystä voidaan käyttää jäähdytysenergian lähteenä. Huonona puoleena voidaan pitää palkkien suurta kokoa ja aktiivipalkkien osalta mahdollista riippuvuutta ilmanvaihtojärjestelmästä. (23, s. 33.)

3.2 Tuloilman jäähdytys

Tuloilman jäähdytyspatterilla tarkoitetaan ulkoilmaa jäähdyttävää, yleensä ilmanvaihtokoneen sisälle sijoitettua nestekiertoista lämmönsiirintä. Jäähdytyspatteri voidaan asentaa myös suoraan tuloilmakanavaan, jolloin voidaan valita alue tai tila, jonka tuloilmaa halutaan jäähdyttää. Patteri koostuu putkilenkeistä, jotka ovat poikkisuuntaisia ilmavirtaan nähden ja lamelleista, jotka ovat ilmavirran suuntaisia, kuten kuvassa 19 on nähtävissä. Putket on usein valmistettu kuparista, ja lamellit ovat alumiinia. Lamelleilla kasvatetaan patteriyksikön jäähdytyspinta-alaa, joka tehostaa lämmönsiirtymistä patterin jäähdytysveteen. Patterit voidaan jakaa putkiston kiertoaineen mukaan nestekiertoisiin ja suoraohyrysteisiin malleihin. Nestekiertoisissa pattereissa kulkee nimensä mukaan neste. Suoraohyrysteisissä pattereissa virtaa höyrystyvä kylmäaine.

Yleensä asuinrakentamisessa tuloilmaa ei käytetä varsinaisesti tilojen jäähdyttämiseen. Se vaatisi suuria ilmavirtoja, jotta tehoa saadaan siirrettyä tarpeeksi tai matalaa sisäänpuhalluslämpötilaa. Tämä vaatisi suuria ilmanvaihtokoneiden ja -kanaviston kokoa tai todella alhaista tuloilman lämpötilaa, joka taas aiheuttaa epämiellyttävää vedon tunnetta. Tuloilmapatterilla pyritäänkin usein vain kuivaamaan ilmaa, jonka lisäksi tilakohtaiset muut jäähdytysratkaisut hoitavat lopun jäähdytystehontarpeen. Tuloilman kosteutta tulee saada laskettua tarpeeksi, mikäli jäähdytysratkaisuna on esimerkiksi kuiviksi suunniteltuja passiivipalkkeja, jotta ne eivät alkaisi kondensoimaan. Joskus jäähdytettyä tuloilmaa joudutaan lämmittämään hieman, jotta se ei tuntuisi liian viileältä huonetiloihin tuotaessa. Tällöin ilmaa on jouduttu kuivaamaan paljon, jolloin myös sen lämpötila on tippunut liian matalaksi puhallettavaksi sellaisenaan suoraan huonetilaan. (23, s. 30–32.)



Kuva 19. Jäähdytyspatteri (25).

3.3 Puhallinkonvektorijäähdytys

Puhallinkonvektorit ovat puhaltimia varustettuina jäähdytyspattereilla. Esimerkkimalli on esitetty kuvassa 20. Ne toimivat usein huonekohtaisina jäähdytyslaitteina. Puhallin kierättää huoneilmaa lamellimaisen jäähdytyspatterin läpi, johon on kytketty jäähdytysputket. Laitteessa on usein myös allas, johon se kerää huoneilmasta kondensoituvan kondenssiveden talteen ja pumppu, jolla se tyhjentää veden viemäriin. Laitteeseen kuuluu usein myös suodatin, koska huoneilmassa on usein pölyä ja muita epäpuhtauksia, joiden ei haluta tukkivan patterin lamelleita. Puhallinkonvektori voidaan suunnitella kui-

vaksi, jolloin joudutaan käyttämään korkeampaa veden lämpötilaa eikä siitä saada silloin yhtä suurta tehoa irti. Toisaalta jäähdytystehoa ei kulu ilman kuivaamiseen. Puhallinkonvektorin tehoa voidaan säädellä säätämällä puhaltimen ilmavirtaa tai nesteen virtaamaa sen patterissa. (23, s. 34–36.)



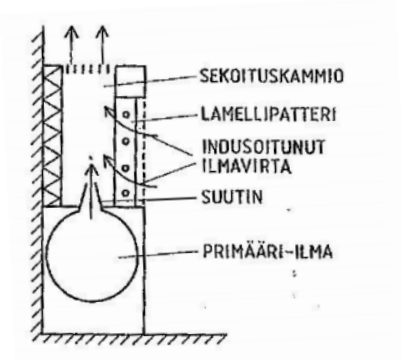
Kuva 20. Alas laskettavaan kattoon asennettava puhallinkonvektori (26).

Etuna voidaan pitää kohtuullista tehoa varsin pieneen kokoon nähden ja sitä, että se myös kuivaa ilmaa. Laitteita saa myös sopivan kokoisina alaslaskettuun kattoon asennettaviksi, jolloin ne ovat melko huomaamattomia. Huonona puolena mainittakoon, että laite kondensoi ja vaatii viemäröinnin johonkin läheiseen tilaan, jos jäähdytystehon tarve on suuri. Puhaltimen aiheuttama ääni tulee myös ottaa huomioon. (23, s. 34–36.)

3.4 Suutinkonvektorijäähdytys

Suutinkonvektorijärjestelmä toimii tuloilman avulla, eikä suutinkonvektoripäätelaitteessa tyypillisesti ole omaa puhallinta. Ilma liikkuu ilmanvaihtokoneen puhaltimen avulla. Järjestelmän toiminta perustuu primääri-ilman puhaltamiseen pienten reikien läpi suurella paineella ja nopeudella, jolloin ilmavirta nappaa mukaansa huonetilan lämmennyttä

kierrätysilmaa. Kuvassa 21 on esitetty yksittäisen suutinkonvektorin toiminta.



Kuva 21. Suutinkonvektorin osat ja toimintaperiaate (27, s.15).

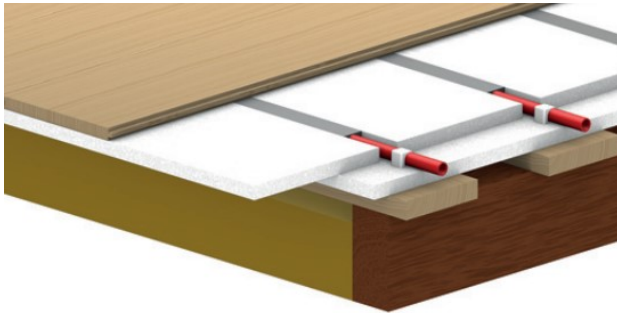
Suutinkonvektorit asennetaan yleensä huonetilan seinustalle ikkunapenkkiin. Samaan järjestelmään saadaan myös lämmitys. Jäähdytysteholtaan yksi yksittäinen konvektori on melko vaatimaton, alle kilowatin luokkaa ja järjestelmä suunnitellaan yleensä kuivaksi, koska laitteen kondenssiviemärointi voi olla vaikea järjestää. Järjestelmää käytetään tyypillisesti toimistorakennuksissa. Hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että lämmityksen saa samaan laitteeseen ja asennukset tehdään piiloon. Huonona puolena voidaan pitää sitä, että ilmavirtaa on yleensä vaikea hallita. Laitteet asennetaan ikkunan viereen, ja pitkässä huonetilassa viileä ilma voi jakautua epätasaisesti tai aiheuttaa vedon tunnetta lähellä ikkunaa. (27, s. 15.)

3.5 Lattiaviilennys

Lattiaviilennystä käytetään tyypillisesti asuinrakennuksissa, joissa on lämmitysmuotona lattialämmitys. Tällöin samaa putkistoa voidaan kesällä käyttää viilennykseen ja talvella lämmitykseen. (28.) Lattiaviilennyksessä saadaan suuri jäähdytyksen pinta-ala, mutta järjestelmässä joudutaan käyttämään kondenssivaaran takia maltillisia jäähdytysveden lämpötiloja, esim. vähintään 17 °C. Tämä vaikuttaa paljon järjestelmästä saatavaan tehoon. Siksi puhutaankin yleensä lattiaviilennyksestä, eikä -jäähdytyksestä. Tehot ovat lattiamateriaalista riippuen noin 20–40 W/m² (29).

Etuna järjestelmässä on, että viilennys saadaan hoidettua vedottomasti, äänettömästi eikä järjestelmän asennus vie paljoa tilaa. Lisäksi jäähdytyslähteen asentaminen lattialämmitystaloon on helppoa, eikä rakenteita jouduta purkamaan uusien jäähdytyslaittei-

den ja -putkistojen tieltä. Lisäksi ei tarvita näkyviä asennuksia, vaan kaikki on piilossa pinnoitteen alla, kuten kuvassa 22 on nähtävissä. (28.)



Kuva 22. Lattiaviilennys ja -lämmitysputket lattiapinnan alla (30, s.13).

Käytännössä lattiaviilennysputket voidaan asentaa myös seinään tai kattoon, mutta ihmiselle paras terminen miellyttävyys tulee lattiaan asennetusta järjestelmästä. Tällöin lämpöä siirtyy ihmisen jalkapohjista viileään lattiaan. (30.)

3.6 Asiakslaitteet

Kiinteistöjen jäähdytyspiirit liitetään kaukojäähdytykseen epäsuoralla kytkennällä, joka tarkoittaa, ettei sama vesi kierrä järjestelmissä, vaan kaukojäähdytysvesi muodostaa oman kiertopiirinsä (ensiöpuoli) ja kiinteistön jäähdytyspiirit (toisiopuoli) omansa. Lämmönsiirtimet erottavat kiertopiirit toisistaan. Lämmönsiirtimet sijaitsevat kj-laitteistossa, joka on esitetty kuvassa 23. Kj-laitteisto sijoitetaan tekniseen tilaan, joka yleensä on rakennuksen kellarissa tai maanpinnan tasalla. Kj-laitteistossa ovat myös tarvittavat säätöventtiilit, pumput ja muut putkiston varusteet, kuten lianerotin, sulku- ja säätöventtiilit, lämpötilamittarit ja -anturit. Jäähdytystehoa säädetään säätöventtiileillä, jotka säätelevät kj-veden virtaamaa lämmönsiirtimen läpi. Pumput kierrättävät vettä kiinteistön jäähdytysverkoissa, joista se jaetaan tilakohtaisille jäähdytysjärjestelmille tai vaikkapa ilmanvaihtokoneen jäähdytyspattereille. (9, s. 546.)



Kuva 23. Yksipiirinen kylälaiteisto, joka sisältää yhden jäähdytyspiirin lämmönsiirtimen, säätöventtiilin, pumppun ja muut putkiston varusteet (31).

3.6.1 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimien tulee pystyä kaukojäähdytyksessä mahdollisimman tehokkaaseen lämmönsiirtoon kyl-veden pienen lämpötilaeron takia. 1 °C:lla on suuri merkitys kyl-virtaamaan ja virtaamalla suuri vaikutus energian myyjän kyl-veden pumppauskustannuksiin. Yleensä uudisrakennuksen kyl-veden lämpötilaero on 8 °C. Kyl-vesi tulee kiinteistöön lämpötilassa 8 °C ja lämpenee asiakkaan lämmönsiirtimissä 16 °C:seen. Mikäli kaukojäähdytyksen paluulämpötilaa saadaan tällöin nostettua 1 °C:lla, pienentää se kyl-virtaamaa 11 %. Mitä huonompi on lämpenemä, sitä suurempi vaikutus tällä yhdellä asteella on. Lämmönsiirtimien asteisuus kertoo, kuinka lähelle jäähdytysverkoston paluulämpötilaa lämmönsiirrin pystyy lämmittämään kyl-vettä. Se kertoo lämmönsiirtimen tehokkuudesta. Mitä pienempi on asteisuus, sitä tehokkaampi lämmönsiirrin on. Jos asteisuus on 1 °C, pystytään lämpötilaltaan 18 °C jäähdytysverkon paluuedellä tekemään 17 °C:n lämpötilaista kyl-paluuvettä. (9, s. 546.) Uudisrakennusten ensiöpuolen lämpötilat ovat määritelty julkaisussa J1/2014 ”Rakennusten kaukojäähdytys - Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet” kohdassa 3.4.2 (32):

3.4.2 Rakennusten lämmönsiirtimien mitoitus

Lämmönsiirtimen ensiöpuolen mitoituslämpötilat ovat 8,0 °C – 16,0 °C.

Comfort-jäähdytys

Comfort järjestelmässä jäähdytetään pääosin ilmanvaihdolla ja tilalaitteilla. Huom! tähän järjestelmään on voitu liittää toisiopuolella myös prosessijäähdytyslaitteita.

Comfort-jäähdytys	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	alkulämpö-tila TULO	loppulämpötila PALUU	alkulämpö-tila PALUU	loppulämpötila MENO
Jäähdytyksen lämmönsiirtimet mitoitusulkolämpötilassa	8	≥ 16	≥ 18	≥ 10
Huomautukset	Lämmönvaihtimien lämpötilojen asteisuus on oltava enintään 2 °C			

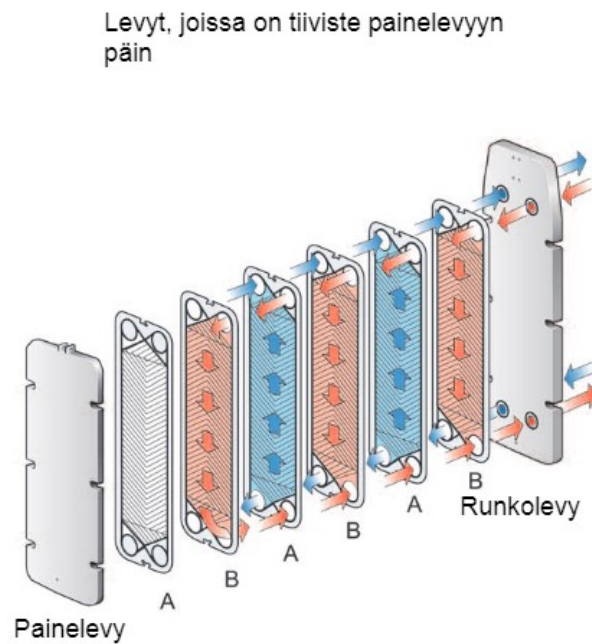
Kuva 24. J1/2014 -julkaisun lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (32, liite 12).

Samassa kohdassa on myös määritelty lämmönsiirtimien maksimiasteisuus 2 °C. Asteisuuden ollessa pienempi kuin 1,5 °C, lämmönsiirtopinta-alan tarve alkaa jyrkästi kasvaa, jolloin myös lämmönsiirtimen hinta nousee jyrkästi (9, s. 546). Lämmönsiirtimien eri puolilla on myös eri painetasot. Kaukojäähdytyksen ensiöpuolella käytetään mitoituspainetta 16 bar, kun asiakkaan jäähdytysverkostoissa usein mitoituspaine on 10 bar. Tämä tarkoittaa, että asiakkaan jäähdytysverkoissa voidaan käyttää pienemmän painetaso materiaaleja. (9, s. 546.)

Saneerattavissa rakennuksissa, joissa on esimerkiksi ollut aikaisemmin vedenjäähdytyskoneet ja joiden jäähdytysverkostot on mitoitettu menolämpötilalle 10 °C ja paluulämpötilalle 15 °C, ensiöpuolen mitoituslämpötilat voivat olla tulolämpötila 8 °C ja paluulämpötila 13 °C. Asteisuus on tässä siis 2 °C. Tällaisen kohteen kj-virtaama on 60 % korkeampi kuin kohteen, jonka ensiöpuolen mitoitus on suosituksen mukainen. (9, s. 546.)

Lämmönsiirtimet mitoitetaan suurimman hetkellisen tehontarpeen mukaan. Mitoituksessa tulisi huomioida mahdollisimman hyvä lämpenemä kaikissa käyttötilanteissa. Lämmönsiirtomateriaaleina levyissä käytetään usein haponkestävää (esim. EN 144.04) tai ruostumatonta terästä (esim. EN 1.4301). Rakennuksen jäähdytysverkon vesivirta kytketään vastavirtaan kj-verkostovesivirtaan nähden. Virtaamien keskinäinen lämpötilaero on suurempi, minkä johdosta lämmönsiirtimen teho on suurempi kuin myötävirtaan kytkettäessä. Kuvassa 25 on esitetty lämmönsiirtimen rakenne, jossa verkosto on kytketty vastavirtaan. Runkolevyyn kytketään vesiyhteet. Painelevy on runkolevyn vastinkappale, ja levypankan levyt sijoittuvat näiden väliin, joissa lämpö siirtyy väliaineesta

toiseen. Kj-vesi on esitetty sinisellä värillä ja kiinteistön jäähdytysverkoston vesi punaisella värillä. (32, s. 8.)



Kuva 25. Levylämmönsiirtimen rakenne (33).

Lämmönsiirtimen teho koostuu nesteen tilavuusvirrasta, lämpötilaerosta, tiheydestä ja ominaislämpökapasiteetista kaavan 1 mukaan:

$$\Phi = \rho * c_p * \Delta t * q_v \quad (1)$$

Φ on teho (kW)

ρ on nesteen tiheys (kg/dm³)

c_p on nesteen ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

Δt on lämpötilaero (°C)

q_v on virtaavan nesteen tilavuusvirtaus (dm³/s). (34, s. 67.)

3.6.2 Säätolaitteet

Säätöventtiili on yksi olennaisimmista komponenteista säädön suhteen. Säätöventtiilillä tarkoitetaan kaukojäähdytyksessä yleensä venttiiliä, jonka virtausaukon kokoa säädetään sen toimilaitteen moottorilla. Virtausaukon kokoa muuttamalla kj-veden virtausmäärää pystytään säätämään. Virtaaman pienentäminen heikentää lämmönsiirtoa ja pienentää virtaamien keskinäistä lämpötilaeroa, jolloin lämmönsiirtimen teho pienenee. Virtaaman kasvattaminen vaikuttaa päinvastoin. Säätöventtiileitä on tyypiltään esimerkiksi pallo-, istukka- ja läppäventtiili -mallisia venttiileitä. Tyyppi kertoo venttiilin sulkumekanismin. Nykyään toimilaitteen moottorit toimivat yleensä sähköllä. Aikoinaan on käytetty myös pneumaattisia toimilaitteita kaukolämpökohteissa, jolloin ne yleensä toimivat paineilmalla.

Kaukolämpö ja -jäähdytyssovelluksissa käytetään saman tyyppisiä säätöventtiileitä. (35.) Kj-ensiöpuolen säätöventtiileinä käytetään 2-tieventtiileitä, joiden sulkupainevaatimus toimilaitteineen on 10 bar. Vuotovirtaus on maksimissaan 0,05 % k_{vS} -arvosta, mikä tarkoittaa esimerkiksi k_{vS} -arvoltaan 40 -säätöventtiilin tapauksessa vuotovirtausta 0,02 m³/h, ~0,006 dm³/s. Säätöventtiili kannattaa asentaa sellaiseen paikkaan, missä se on mahdollisimman lähellä siirrintä, ei likaannu ja on helposti huollettavissa. (32, s. 12–13.)

Rakennusten kaukojäähdytys - Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet Julkaisu J1/2014 asettaa kaukojäähdytetyille rakennukselle seuraavanlaisia tavoitteita koskien säätö- ja valvontajärjestelmien toimintaa:

- *Hyvä säätötulos tulee saavuttaa säätölaitteiden virityksellä kulloisessakin tilanteessa ja vaatimusten mukaisesti.*
- *Rakennuksen sisäilmasto on terveellinen sekä viihtyisä. Tehontarve ja energiankulutus ovat mahdollisimman pienet.*
- *Asiakas voi optimoida tehontarvettaan käytössä olevan sopimustehon ja vesivirran tarjoamien mahdollisuuksien rajoissa energian toimittajan sopimusehtojen mukaisesti.*

Asiakkaalle asennettu säätöjärjestelmä täyttää seuraavat vaatimukset myyjän ilmoittamissa käyttöolosuhteissa:

- *Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta +/- 1 °C.*

Sallittu palautumisaika muutoksen alkuhetkestä siihen hetkeen, kun em. vaatimus täyttyy 2 minuuttia.

- *Suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta*

jäähdytyksen säätöjärjestelmät +/- 2 °C

- *Sallittu jatkuva huojunta +/- 0,5 °C.*

Julkaisussa J1/2014 on taulukko tehon mukaan valittavien säätöventtiilien määrästä ja mitoituksista, joka on nähtävissä taulukossa 1. Lisäksi alle 100 kW:n tehontarpeet voidaan toteuttaa yhdellä säätöventtiilillä. Säätöventtiilien mitoitukseen voi liittyä kj-verkon omistajan omia ohjeita, jotka kannattaa aina tarkastaa ennen suunnittelun aloittamista. Säätöventtiilien lukumäärää lisäämällä saadaan aikaan parempi säätötulos. (32, s. 10.)

Taulukko 1. Säätöventtiilien lukumäärä jäähdytystehon mukaan (31, s. 10).

Teho kW	Säätöventtiilien lkm	Suhteelliset virtaamat (lasketaan kokonaisvirtaamasta)			
		TV 1	TV 2	TV 3	TV 4
alle 150 kW	2	1/4	3/4		
150...300 kW	2	1/3	2/3		
300...2000 kW	3	1/6	2/6	3/6	
yli 2000 kW	4	1/8	2/8	2/8	3/8

Säätöventtiilit valitaan yleensä sopimustehon tai -virtaaman mukaan. Joskus sopimusteho tai -virtaama on se arvo, joka tarvitaan myös kesän kuumimpana tai muuna huipputehon tarpeen hetkenä, mutta yleensä siitä hieman tingitään ja hyväksytään se, että lyhytkestoisen ajan olosuhteet saattavat olla hiukan huonommat, jolloin liittymän perusmaksut saadaan pienemmiksi. Myyjän tulee antaa asiakkaan käytettävissä oleva paine-ero vaihtelurajoineen säätöventtiilien mitoitusta varten. Tehovarauksia ei huomi-

oita säätöventtiilin mitoituksessa, vaan ne tulisi mitoittaa todellisen tehontarpeen mukaan. Säätöventtiileille voi tehdä varauksia, jos on epäily, että tehontarve tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Se kannattaa huomioida lämmönsiirtimen mitoituksessa, koska on edullisempaa lisätä lämmönsiirtimeen pinta-alaa kuin vaihtaa sitten uuteen lämmönsiirtimeen. Säätöventtiilin mitoituspaine-ero lasketaan kaavalla 2:

$$\Delta p = \Delta p_{ilm} - \Delta p_{siirrin} - \Delta p_{putkisto} \quad (2)$$

Δp on säätöventtiilin mitoituspaine-ero (kPa)

Δp_{ilm} on myyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero (kPa)

$\Delta p_{siirrin}$ on siirtimen painehäviö (kPa)

$\Delta p_{putkisto}$ on putkiston painehäviö (kPa).

Säätöventtiilin k_v -arvo lasketaan kaavalla 3.

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (3)$$

q_v on lämmönsiirtimen ensiöpuolen mitoitusvirtaama (m³/h)

Δp on mitoituspaine-ero (bar).

Kaavalla 4 saadaan laskettua valitun venttiilin aiheuttama painehäviö.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_v}{k_{vs}} \right)^2 \quad (4)$$

q_v on mitoitusvirtaama (m³/h)

Δp_{sv} on valitun venttiilin aiheuttama todellinen painehäviö (bar).

Säätöventtiilin auktoriteetti kj-verkostossa määritellään säätöventtiilin ja käytettävissä olevan paine-eron osamääränä. Sen tulee olla vähintään 1/3 (0,33).

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{mit}} \quad (5)$$

Δp_{sv} on valitun säätöventtiilin painehäviö mitoitusvirtaamalla (kPa)

Δp_{mit} on myyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero (kPa).

Säätöventtiilien avautumisjärjestys riippuu siitä, millä saadaan paras lopputulos. Yleensä k_{vs} -arvoltaan pienin säätöventtiili aukeaa ensin, mutta esim. ATK-saleissa suurin säätöventtiili aukeaa ensin ja pienimmällä säätöventtiilillä haetaan optimaalisin säätötulos. Näissä jäähdytysteho ei vaihtelee, kuten esimerkiksi comfort-jäähdytyskohteissa. (32, s. 11.)

3.6.3 Pumput

Kaukojäähdytyksen ensiöpuolella asiakas ei tarvitse pumppuja, eikä niitä saa sinne asentaa. Asiakkaan toisipuolen verkostoissa käytetään nykyisin yleensä taajuusmuuttajalla varustettuja kierroslukuohjattuja keskipakopumppuja, joilla kierrätetään jäähdytysverkoston vettä jäähdytyslaitteille. Pumpun kierroslukua säätämällä saadaan virtaama kulloista jäähdytystehon tarvetta vastaavaksi ja pumpun energian kulutus pienemmäksi. Pumput käyvät pitkiä ajanjaksoja, joten niiden energiatehokkuuteen kannattaa panostaa ja ne tulee mitoittaa siten, että ne toimivat parhaalla mahdollisella hyötysuhteella suurimman osan ajasta. Jos tehontarve verkostossa vaihtelee paljon, voi olla kannattavaa asentaa kaksi erikokoista pumpun rinnan, jolloin pienillä tehontarpeilla käytetään pienempää pumppua ja täydellä tehontarpeella lisäksi suurempaa pumppua. Pumput tulee eristää kondensoitumisen estämiseksi. (36.)

3.7 Asiakslaitteiden laadunvalvonta

Laadunvalvonnalla ja asiakaslaitetarkastuksilla myyjä voi yrittää minimoida asiakkaan jäähdytysjärjestelmän toimintahäiriöitä ja varmistaa, että järjestelmä on turvallinen sekä

toimii myös myyjän kannalta hyvin siten, että kj-veden jäähdytysenergiasisältö käytetään mahdollisimman tehokkaasti. Asiakkaan lvi-suunnittelija hyväksyy kaukojäähdytysuunnitelmat myyjällä ennen laiteasennuksia ja -hankintaa. Kaukojäähdytysuunnitelmiin lukeutuu kaukojäähdytyksen kytkentäkaavio, jossa on esitetty ainakin asiakaskohteen jäähdytystekniset tiedot, toisioverkoston mitoitus tiedot, jäähdytyskeskuksen mitoitus tiedot, jäähdytyspiirien toiminta-arvot, putkikytkentäkaaviot sekä automaation ja laitteiden toimintaselostukset. Myyjä varmistaa, että suunnittelussa on osattu ottaa huomioon mahdolliset kj-laitteiston toiminnallisuuteen vaikuttavat seikat esimerkiksi säätöventtiilien mitoittamisen tai toimintaselostuksen osalta. (32, s. 29.)

Myyjän tai myyjän edustajan suorittamassa käyttöönottotarkastuksessa tarkastetaan, että asiakaslaiteasennukset on tehty määräysten ja ohjeiden mukaisesti ja siinä tarkastetaan yleensä seuraavat asiat:

- liitosten tiiveystarkastus koepaineessa 21 MPa
- sijoitus suunnitelmien mukainen ja huoltotilat kj-laitteistolla sekä mittauskeskussella
- lämmönsiirtimien kilpiarvot vastaavat suunnitelmia
- CE-merkki ja vaatimustenmukaisuusvakuutus
- säätöventtiilit (kilpiarvot)
- kytkentä, ensiö ja toisio
- paisunta- ja varolaitteet
- venttiilit yms. varusteet/liitokset
- ilmanpoistot ja tyhjennykset
- paine- ja lämpömittarit
- säätölaitteet ja lämpötila-anturit

- putkikoot ja materiaalit
- laitteiden ja putkien tuenta
- lämpölaajenemisen huomiointi
- pumppauslaitteet
- jäähdytyksen energiamittarin sähkönsyöttö. (32, s. 31.)

Jos käyttöönottotarkastus on suoritettu hyväksytysti, annetaan kj-laitteistolle käyttöönottolupa. Tämän jälkeen kohteen urakoitsija voi jatkaa ensiöpuolen maalaus-, eristys- ja säätöjärjestelmän viritystöillä.

Lopputarkastuksella kaikkien asennus- ja säätötöiden tulisi olla valmista ja kj-laitteiston käyttövalmiina tai käytössä. Laitteisto ei kuitenkaan välttämättä ole käytössä lopputarkastushetkellä, jos sattuu olemaan tilanne tai ajanjakso, jolloin jäähdytystä ei tarvita. Urakoitsijalla saattaa olla esimerkiksi urakan maksuosat sovittu niin, että jokin osuus urakkasummasta maksetaan, kun lopputarkastus on pidetty. Tämän takia niiden lykääminenkin ei aina onnistu. Tällaisessa tilanteessa laitteiston toimintaa on vaikeaa todentaa ilman jäähdytyskuormaa. Mikäli jäähdytys on käytössä, tarkastetaan kj-laitteiston toiminta niillä tehoilla, jotka testauksen ajanhetkellä vallitsevat.

Lopputarkastuksessa tarkastetaan seuraavat asiat:

- asennusvalvontapöytäkirjassa mainittujen virheiden ja puutteiden korjaukset
- käyttö- ja huoltotilat
- siirtimien toiminta
- säätölaitteiden toiminta
- paine- ja lämpömittarit sekä hälytykset
- kosteuseristykset

- laitteiden ja putkien merkintä
- laitoksen toimintakaavio (laitetilassa)
- käyttö- ja huolto-ohjeet (laitetilassa)
- säätö- ja virityspöytäkirjat
- automaation asetusarvojen tarkastaminen
- kiertoilma- ja ilmastointikoneiden sekä palkkiverkkojen toiminta
- laittilan ilmanvaihto, viemäröinti ja vesipiste
- laittilan valaistus
- huoltoreitti tekniseen laittilaan
- käytön opastus.

Lopputarkastuksesta laaditaan pöytäkirja, jossa saatetaan määrätä kohde uusintatarkastukseen, mikäli puutteita on paljon tai laitteiston toiminta ei vastaa suunnitelmia. Pöytäkirjan laatii myyjä tai auktorisoitu jäähdytysurakoitsija. (32, s. 33.)

4 Tutkimuskohteet ja pilotointi

Kaikki tutkimuskohteet ovat Helsingissä sijaitsevia Helenin kaukojäähdytysverkkoon liitettyjä kiinteistöjä. Tietosuojasyistä kiinteistöjen nimiä tai osoitteita ei työssä esitetä, vaan kohteet ovat numeroitu. Taulukossa 2 on esitetty kohteiden käyttötarkoitus, jäähdytysmuoto, rakennustilavuus, rakennusvuosi, sopimusteho ja tehokategoria. Kaikissa kohteissa on ollut ongelmia kj-laitteiston toiminnassa. Nämä 12 kohdetta valittiin satunnaisesti kaikista kohteista, joihin on asennettu etäohjattu virtauksensäädin.

Taulukko 2. Tutkimuskohteet, johon asennettu kaukojäähdytyksen etäohjattu virtauksensäädin.

	Käyttötarkoitus	Jäähdytysmuoto	Rak. tilavuus (m ³)	Rakennusvuosi	Sopimusteho (kW)	Kategoria
1	Kauppa-keskus	Jatkuva osateho	288000	2001	3320	Suurteho
2	Toimistorakennus	Jatkuva osateho	29200	1946	500	Keskiteho
3	Toimisto/koulurakennus	Jatkuva osateho	20100	2007	205	Pienteho
4	Toimistorakennus	Jatkuva osateho	119350	1962	230	Pienteho
5	Toimistorakennus	Jatkuva osateho	63800	2008	1200	Suurteho
6	Toimistorakennus	Jatkuva osateho	15353	1928	100	Pienteho
7	Koulu	Jatkuva osateho	75500	1978	400	Keskiteho
8	Urheiluhalli	Jatkuva osateho	168570	2009	900	Keskiteho
9	Toimistorakennus	Comfort	16425	1919	175	Pienteho
10	Toimistorakennus	Comfort	7260	1919	100	Pienteho
11	Asuin/toimistorakennus	Comfort	9402	2012	80	Pienteho
12	Hotelli	Jatkuva osateho	147200	1980	500	Keskiteho

Jatkuva osateho tarkoittaa, että kiinteistössä on vuoden ympäri jäähdytystarvetta. Comfort -jäähdytys tarkoittaa mukavuusjäähdytystä eli, että jäähdytystarvetta on vain silloin, kun sisäilman lämpötilaa pyritään pitämään ihmiselle suotuisana, yleensä jäähdytyskaudella. Kohteet ovat jaettu kolmeen ryhmään; pien-, keski- ja suurtehoiset asiakkaat. Pilottikohteiden osalta se tarkoittaa, että

- pientehoiset asiakkaat ovat sopimusteholtaan alle 400 kW,
- keskitehoiset 400–900 kW ja
- suurtehoiset yli 900 kW.

Helenillä on käytössä kuukausittaisena perusmaksuperusteena sopimusteho. Sen takia listassa puhutaan nimenomaan tehosta, eikä virtaamasta. Kategoriat on valittu siten, että etäohjattujen virtauksensäätimien asennuksista puolet ovat pientehoisia. Se vastaa myös nykyistä koko Helenin kj-asiakaskuntaa. Noin puolet kj-asiakkaita ovat alle 400 kW:n asiakkaita. Samassa suhteessa on suurtehoasiakkaita ja keskitehoasiakkaita

koko asiakaskannassa kuin piloteissa. Alussa lähdettiin liikkeelle olettamuksesta, että suurin säästöpotentiaali on suurissa asiakkaissa.

4.1 Asiakaslaitteivat

Helenillä haetaan asiakastietojärjestelmistä tuntitason kulutustietolistoja, joista ”huonot lämmittäjät” saadaan selville. Valvontaa tehdään Helenillä, koska asiakkaalla ei ole usein tietoa kj-laitteistonsa tilasta. Usein asiakkaaseen pyritään olemaan yhteydessä, mikäli kohde löytyy vikalistoilta jatkuvasti ja nähdään, että vika on kestänyt pitkään. Joskus asiakas ehtii korjaamaan vian ennen kuin kohteeseen ollaan yhteydessä, johon kehittyneemmästä kiinteistöautomaatiosta. Kj-laitteiston vioittuminen on havaittavissa, koska automaatiojärjestelmä on varustettu tarvittavilla mittauksilla ja hälytyksillä. Joskus asiakaskontaktointit ovat tuloksettomia. Kiinteistön saattaa omistaa ulkomainen kiinteistösijoitusyhtiö, jolloin yhteystietojen saaminen sekä oikeiden henkilöiden tavoittaminen saattaa olla hankalaa. On myös käynyt niin, että vika luvataan korjata, mutta näin ei kuitenkaan koskaan tapahdu tai vian korjaaminen kestää erittäin pitkään. Joskus on vedottu myös siihen, ettei ole rahaa korjata laitteita. Usein vika myös uusiutuu lyhyen ajan jälkeen ja asiakkaaseen joudutaan olemaan jälleen yhteydessä. (37.)

Vaikka asiakaslaitetarkastuksilla kj-laitteisto on todettu oikein asennetuksi ja toimivaksi, ei kj-veden lämpenemä eikä laitteiston toiminta aina pysy suunnitelmien mukaisena vuosien saatossa. Esimerkiksi säätöventtiilin jumiutuminen auki ei välttämättä näy kiinteistön jäähtymisen toiminnassa mitenkään, mutta sillä on suuri vaikutus kj-veden virtaamaan. Lisäksi osaamattomalla käytöllä voidaan pilata hyvä lämpenemä. Asiakkaan jäähtyysverkostoon on saatettu asettaa sellainen menoveden lämpötilan asetusarvo, joka on alempi kuin kaukojäähtymisen tulolämpötila. Tällöin automaatio pitää säätöventtiilit täysin auki, ja kj-veden lämpenemä on täysin toisiopuolen verkon kuormasta riippuvainen. Asiakas saattaa myös tehdä vuosien mittaan muutoksia kiinteistön jäähtyysverkoissa esimerkiksi lisäämällä tilajäähtytimiä, eikä laitteiston toimintaa välttämättä tarkastella aina uudestaan jokaisen muutoksen kohdalla.

Lämmönsiirtimien lämmönsiirtopintojen likaantuminen myös heikentää lämmönsiirtoa ja tällöin vaikuttaa ensiöpuolen lämpenemään ja sitä kautta virtaamiin. Lämmönsiirtimet saattavat vuosien mittaan kerätä likaa asiakkaan jäähtyysverkostosta, jollei lian keräämiseen ole kiinnitetty laitteiston suunnittelussa huomiota. Varsinkin silloin, jos ver-

kostossa käytetään puhtaan veden lisäksi jotain muuta, esimerkiksi inhibiittejä. Tällaista vian aiheuttamaa lämpenemän alenemaa ei pysty korjaamaan muulla tavalla kuin pesemällä siirrin tai uusimalla se kokonaan. (38.)

Heräsi ajatus, onko huono lämpenemä enemmän ensimmäisten kj-asiakkuuksien ongelmaa, joissa alkaa olla ikääntyviä asiakaslaitteita ja kaukojäähdytyksen suunnittelu oli vielä uutta, eikä nykyajan tasoisia ohjeita ja määräyksiä vielä ollut. Pilottikohteiden osalta näin ei kuitenkaan ole. Kohteiden suunnittelut on toteutettu vuonna 2002–2017 siten, että seitsemän kohdetta on suunniteltu vuoden 2011 aikana tai jälkeen. Viisi kohdetta on suunniteltu ennen vuotta 2008.

Vikalistoilta löytyi myös kohteita, joissa kaukojäähdytyksen paluulämpötila oli päivisin hyvä, öisin huono. Esimerkiksi erään kohteen taloautomaatiossa jäähdytyspiirin pumpu oli aikaohjauksessa, joka sammutti öisin pumpun eikä lukitusta säätöventtiilien ja pumpun välille ollut toteutettu. Kaukojäähdytysventtiilit jäivät silloin auki, jolloin vesi virtasi lämpiämättä siirtimen läpi. Lukituksella tarkoitetaan venttiilien ja pumpun välille tehtävää kytkentää, joka ohjaa säätöventtiin kiinni, jos pumppu ei käy. Tällä estetään turha veden kierto ensiöpuolella. Nykyisin se vaaditaan tehtäväksi jokaiselle jäähdytys-siirtimelle.

Helenillä on kaukojäähdytyksen sopimusehdoissa muutama maininta, jolla pyritään puuttumaan tai annetaan oikeus puuttua asiakkaan huonosti toimiviin jäähdytyslaitteisiin:

- Kohta 2.5: ”Asiakkaan on huolehdittava siitä, että sen laitteissa tapahtuva Helenin kaukojäähdytysveden lämpenemä (=menolämpötila - paluulämpötila) on mitoitustilanteessa +8 °C tai enemmän.” (39)
- Kohta 2.6: ”Asiakas huolehtii siitä, että kaukojäähdytysveden keskimääräinen lämpenemä on kesä-, heinä- ja elokuukausien aikana +8 °C tai enemmän. Mikäli lämpenemä on vähemmän, voi Helen laskea Kiinteistön energiakulutuksen kunkin kuukauden pienimmän sallitun lämpenemän mukaisesti. Touko- ja syyskuun pienin sallittu keskimääräinen lämpenemä on 7 °C, huhti- ja toukokuun pienin sallittu keskimääräinen lämpenemä on 6 °C ja tammi-, helmi-, maaliskuu-, marras- ja joulukuun pienin sallittu keskimääräinen lämpenemä on 5 °C.” (39.)

Muutamalla kohdalla pyritään myös varmistamaan, että laitteet toimivat Helenin edellyttämällä tavalla:

- Kohta 5.6: "Asiakkaan kaukojäähdytyslaitteiden ja jäähdytyslaitteiden suunnittelussa, asentamisessa ja tarkastuksessa tulee noudattaa Helenin antamia määräyksiä sekä muita kaukojäähdytyslaitteita koskevia ohjeita tai suosituksia" (39.)
- Kohta 5.7: "Jäähdytysenergian toimituksen aloittamisen edellytyksenä on, että Asiakkaan kaukojäähdytys ja jäähdytyslaitteet on rakennettu ja asennettu Helenin hyväksymällä tavalla. Asiakkaan kaukojäähdytyslaitteisiin saa tehdä vain Helenin hyväksymiä muutoksia. Asiakkaan jäähdytyslaitteisiin tehtävistä olennaisista muutoksista on sovittava erikseen Helenin kanssa." (39.)
- Kohta 5.8: "Asiakas vastaa kaukojäähdytys- ja jäähdytyslaitteidensa asianmukaisesta kunnosta. Asiakas on velvollinen korvaamaan viallisten laitteidensa, laitteiden asennusten tai niiden käytön Helenille aiheuttaman muun kuin välillisen vahingon. Asiakas on korvausvelvollinen, jos hän on tiennyt tai hänen olisi pitänyt tietää laitteidensa käytön Helenille aiheuttamista riskeistä. Mikäli Asiakkaan kaukojäähdytys tai jäähdytyslaitteissa on vika tai ominaisuus, jota ei ole voitu havaita, Asiakas vastaa Helenille aiheutuvista vahingoista, jos hän jatkaa viallisen laitteen käyttämistä Helenin huomautuksesta huolimatta. Viallisten laitteiden käyttö on Helenin kehotuksesta välittömästi keskeytettävä. Asiakkaan on viipymättä korjattava sellaiset vialliset laitteensa, joista aiheutuu tai voi aiheutua Helenille vahinkoa." (39.)
- Kohta 5.10: "Helenillä on oikeus tarvittaessa kustannuksellaan tarkastaa Asiakkaan kaukojäähdytys- ja jäähdytyslaitteet. Jäähdytyskeskushuoneen ulkopuolisten laitteiden tarkastuksesta Helenin on sovittava erikseen Asiakkaan kanssa. (39.)
- Kohta 5.11: "Helenillä on oikeus asentaa jäähdytyksenkäytön seurantaa ja laadun varmistamista varten mittauslaitteita Asiakkaan kaukojäähdytyslaitteisiin" (39.)
- Kohta 5.12: "Asiakkaan tulee noudattaa jäähdytyslaitemitoituksessa ja laitevalinnoissaan Helenin kaukojäähdytysjärjestelyille asettamia teknisiä vaatimuksia" (39.)

Sopimusehdot antavat oikeuden puuttua asiakkaan huonosti toimiviin asiakaslaitteisiin. Huonosti toimivilla asiakaslaitteilla tarkoitetaan tässä tapauksessa esimerkiksi laitteistoa, josta menee kaukojäähdytysvesi lämpenemättä läpi tai lämpenemä on vain 1–2 °C. Tällöin asiakas ei käytä kj-veden kaikkea potentiaalista jäähdytyskapasiteettia, mutta Helen joutuu pumppaamaan veden asiakkaalle ja takaisin tuotantolaitokselle lähes turhaan, koska sama vesimäärä olisi voitu pumpata asiakkaalle, joka käyttää potentiaalin kokonaan. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä pumppauskuluja ja voi olla pahimmillaan toiselta asiakkaalta vesivirran riittävydestä pois. Sopimusehdoissa on maininta kohdassa 7.13: *"Mikäli Asiakkaalta palaavan kaukojäähdytysveden keskimääräinen lämpenemä on pienempi kuin kohdassa 2.6 on kullekin kuukaudelle erikseen määriteltä, voidaan energian kulutus laskea siten, että lämpenemänä käytetään kyseisen kuukauden pienintä sallittua lämpenemää."* (39). Tämä ns. maksu kj-laitteiston virheellisestä toiminnasta -kohdan käyttö on hieman hankalaa pitkäkestoisen asiakassuhteen ja imagon takia. Ei ehkä haluta lähteä veloittamaan energiasta, jota ei oikeasti ole käytet-

ty, vaan mieluummin yritetään keksiä ratkaisu yhdessä asiakkaan kanssa, jolla laitteisto saadaan jälleen toimimaan suunnitelmien ja sopimusehtojen mukaan.

Yksittäiset asiakaslaiteviat huomataan yleensä vasta jälkikäteen ja olisikin hyvä, jos olisi jokin ratkaisu, joka puuttuisi tilanteeseen heti vian ilmettyä. Ei vasta pitkään sen jälkeen, kun vahinko on jo ehtinyt tapahtua. Tällä hetkellä Helenillä ei ole käytössä kaukojäähdytyspuolella aktiivista verkon valvontaa, josta saataisiin ajankohtaista tietoa asiakkaiden virtaamista ja lämpenemistä. Tästä syystä tällä pilotoinnilla etsitään myös ratkaisua siihen, jos asiakkaan säätölaitteisiin tulee häiriö, jolloin asiaan pystyttäisiin puuttumaan nopeammin ja valtavia lähes 100 000 m³:n kuukausittaisia vesimääriä ei pumpattaisi turhaan.

Helenin kaukojäähdytyksen sopimusehdoissa on maininta kohdassa 3.5: ”*Helen on oikeutettu rajoittamaan Asiakkaan saaman kaukojäähdytysvesivirran ja/tai -tehon sopimuksessa mainittuun sopimusvesivirran ja sopimustehon arvoon. Normaalitylanteessa Helen ei rajoita Asiakkaalle toimitettavan kaukojäähdytysveden vesivirtaa.*” (38.) Rajoittimien asentaminen ei ole siinä mielessä mielekäästä, että niiden asentaminen ja kunnossapito maksaa Helenille suuria summia rahaa, eikä mielellään haluttaisi rajoittaa asiakkaan energian käyttöä, silloin kun asiakas jäähdytysenergiaa todella tarvitsee. Lisäksi nykyisillä rajoittimilla älykkään rajoitustoiminnan rakentaminen on haasteellista. Tehoa ja vesivirtaa rajoitettaessa tulee ongelmaksi edelleen lämpenemä. Rajoitin rajoitaisi vain tiettyyn tehoon tai vesivirtaan, vaikka lämpenemä pysyisi edelleen pienenä. Rajoittimet asennetaan nykyään Helenin mittauskeskuksiin suojelemaan kj-verkkoa, jolloin yksittäinen suuri asiakas ei pysty esimerkiksi laiteviallaan saamaan ylisuurta kj-virtaamaa. Tällöin vaarana voisi olla se, ettei muille sen lähellä oleville asiakkaille riittäisi sitä.

4.2 Etäohjatun virtauksensäätimen toiminnan periaatteet

Pilotointiin valitun palveluntarjoajan ratkaisu ei vaadi ylimääräisiä paineelliseen putkistoon tehtäviä lisälaitteasennuksia, vaan rajoitus tapahtuu asiakkaan omilla säätöventtiileillä. Tämä helpottaa etäohjatun virtauksensäätimen asennusta, eikä käyttökotkoa jäähdytykseen välttämättä tule. Säätöventtiilien ohjausjännite kaapataan ja lisäksi toimilaitteisiin asennetaan vaihtokytkin, jolla jänniteohjaus ja sitä kautta säätöventtiilien

toiminta voidaan palauttaa hätätilanteessa asiakkaan oman säädön perään, kuten kuvasta 26 on nähtävissä.



Kuva 26. Säätöventtiilien toimilaitteiden vaihtokytkimet.

Lisäksi kaukojäähdytysputkistoon asennetaan paineanturit. Paineanturit voidaan asentaa Helenin toimitusrajan sisäpuolelle, painemittarien tilalle, mikäli mittauskeskus ne sisältävät. Nykyaikaisen mittauskeskuksen tarkekuva on esitetty liitteessä 1. Aikoinaan on tehty myös mittauskeskuksia, joissa näitä painemittareita ei ole asennettu Helenin toimitusrajojen sisäpuolelle. Näissä kohteissa paineanturit ovat asennettu asiakkaan toimitusrajojen puolelle. Normaalit painemittarit sulutetaan omien sulkuventtiilien taakse, jotta painetiedot voidaan lukea niistä paikan päällä tarvittaessa, kuten kuvasta 27 voi nähdä. Silloin kun painetietoa ei tarvita, tulisi sulkujen olla kiinni, jotta mittarien käyttöikä pysynee samassa muun laitteiston käyttöiän kanssa (40, s. 26.)



Kuva 27. Paineanturit mittaavat meno- ja paluuputkessa vallitsevaa painetta. Paineiden erotus on käytössä oleva paine-ero. Paineanturit ovat asennettu asiakkaan toimitusrajan puolelle.

Laitteeseen kytketään lisäksi Helenin energiamittarista virtaus-, tulo- ja paluulämpötilä sekä tehotiedot. Tämä vaatii tietyn tyyppisen energiamittarin, jossa on tarvittava lisätiedonsiirtopistoke, jotta tieto saadaan ohjauslaitteelle. Usein mittari on jouduttu vaihtamaan uuden tyyppiseen mittariin, josta nämä tiedot ovat saatavissa. Kuvassa 28 on esitetty moderni kaukojäähdytyksen energiamittari.



Kuva 28. Energiamittari ja sen yläpuolella oleva modeemi.

Asiakkaan toisioverkoston lämpötilatiedot tuodaan lisäksi järjestelmään putkiston pintaan asennettavista pintalämpötila-antureista. Laite on kytketty modeemiin, josta tiedot saadaan pilveen. Pilven kautta voidaan myös säätää laitteen asetukset ja säätöparametrit sekä nähdä trendikäyrät, historiatiedot ja mittausarvot. Näillä tiedoilla voi päätellä, miten järjestelmä toimii, kuten kuvasta 29 voi nähdä.

SÄÄENNUSTE	
LUODUT HÄLYTYKSET (3)	LUODUT SÄÄNNÖT/OHJAUKSET (0)
JÄÄHDYTYSPIIRI > PR AO3 -jakaja	
KK meno (K803) 6.7 °C	KK paluu (K803) 15.25 °C
KK paine meno 5.76 bar	KK virtaama 2.44 m ³ /h
KK ΔT 1 8.65 °C	KK paine-ero 1.57 bar
TP1	
TP1 meno °C 7.65 °C	TP1 paluu °C: 14.75 °C
TP2	
TP2 meno °C 16.4 °C	TP2 paluu °C: 0162 16.9 °C
TP3	
TP3 meno °C 16.25 °C	TP3 paluu °C 16.5 °C
ENERGIA	
Hetk.teho 24 kW	Modbus cooling energy 131.6 MWh

Kuva 29. Selainäkymä asiakkaan jäähdytyslaitteiden toiminnasta. Tässä jäähdytysjärjestelmässä on kolme toisiopuolen piiriä yhden kj-siirtimen takana.

Säätö rakennetaan aina hieman tapauskohtaisesti riippuen siitä, minkä tyyppisiä jäähdytysverkostoja kiinteistössä on ja mitä ne palvelevat. Esimerkiksi huonetiloja palvelemaan jäähdytysverkostoon voidaan valita erilaisia säätöparametreja kuin serveritilojen jäähdytysverkostoon, jotta serverit varmasti saavat tarvitsemansa jäähdytystehon kaikissa tilanteissa. Kriittisiin tiloihin voidaan asentaa langattomat lämpöanturit varmistamaan, että haluttuihin sisäolosuhteisiin päästään. Perusperiaate etäohjatun virtauksen säätimen toiminnalle on, että haluttu lämpenemä saavutetaan käytännössä kj-virtaamaa kuristamalla. Jokaiselle jäähdytyspiirille asetetaan piirikohtainen kj-veden paluulämpötilan tavoitearvo. Mikäli säätöpiirejä on enemmän kuin yksi, asennetaan lämpötila-anturit jokaisen ensiöpiirin paluulinjaan, muutoin energiamittarin lämpötilamittauksia käytetään mitta-antureina. Lisäksi vesivirta pyritään rajoittamaan enintään sopimusvesivirran mukaiselle tasolle. Yhtenä säätötapana on esimerkiksi seuraavanlainen. Mikäli sopimusjäähdytysteho saavutetaan, annetaan kj-lämpenemän kasvaa, eli kj-virtaamaa rajoitetaan tehoperusteisesti. Näin ollen kj-paluulämpötila lähtee nousemaan. Mikäli toisiopuolen menoveden asetusarvoon ei päästä, kertoo tämä, että sopimusteho on liian pieni. Tehonnostosopimuksella voidaan helposti nostaa sopimustehoa ja asettaa sen jälkeen laitteelle uudet asetusarvot. Tehonnostoja tehdään kuitenkin vain muutamia vuodessa, joten on epätodennäköistä, että se sattuisi kohteeseen, jossa on asennettu etäohjattu virtauksensäädin. Kj-laitteet on yleensä mitoitettu sopimuste-

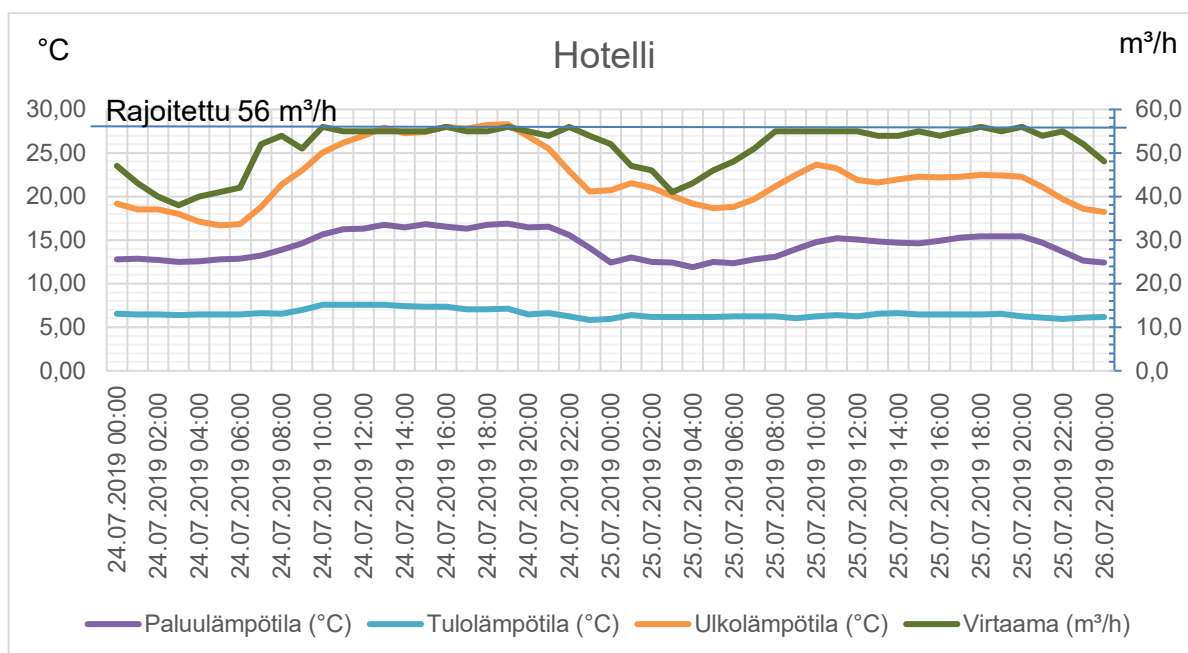
hoa suuremmalle tehon tarpeelle. Yleensä sopimusteho saattaa olla esimerkiksi 80 % mitoitustehosta, koska tunteja, jolloin mitoitustehoa tarvittaisiin, saattaa olla hyvin vähän vuodessa ja liittymän perusmaksu saadaan näin pienemmäksi.

Laitteelle säädetään kj-virtaamalle minimivirtaus tai pienimmälle säätöventtiilille minimiohjausvirta, jolla varmistetaan ensiöpuolen lämpötilamittausten oikeellisuus. Jos pientä virtausta ei ole, ei järjestelmään saada indikointia jäähdytystarpeesta. Pumpun käytitietoa ei järjestelmään ole tuotu, mikä on valitettavaa. Tällä tiedolla säätöventtiilit voitaisiin säätää täysin kiinni, silloin kun kyseisen jäähdytyspiirin pumppu ei käy ja ylimääräiseltä kj-veden ohivirtaukselta säästyttäisiin. Mikäli kohteessa on kriittisiä tiloja kuten serveritiloja, voidaan niiden kannalta tehdä ohjausta rajoittavia säätöparametrejä, esimerkiksi menoveden maksimilämpötila toisiopiirissä. Nämä sovitaan erikseen asiakkaan kanssa. Kaukokylmän lämpenemäksi on monesti asetettu hieman sopimusta pienempi arvo, jolloin asiakas saa varmasti sen, mitä on tilannut. (37.)

Mittaustuloksista ja ohjauksesta tehdään erilaisia muistutus- ja hälytystoimintoja, jotka voidaan toimittaa halutuille henkilöille tai ryhmille erikseen määrätyin kriteerein sähköpostilla ja/tai tekstiviestein. Järjestelmän rajapinnan kautta on mahdollista siirtää tietoa molempiin suuntiin eri järjestelmien kesken. Hälytys saadaan esimerkiksi jumiutuneesta toimilaitteesta. (37.) Laitteen asennuksen kytkentäkaavio on esitetty liitteessä 2.

4.3 Ulkolämpötilan vaikutus lämpenemään

Pilottikohteiden datan perusteella ei voi yksiselitteisesti todeta kaikkien kohteiden kohdalla, että ulkolämpötilalla olisi suora korrelaatio lämpenemän kanssa. Kohteet, joissa ei talvisin käytetä jäähdytystä ja sitä käytetään pelkästään tilojen kesäaikaiseen jäähdytykseen (comfort-jäähdytys) ovat asia erikseen. Kulutusdatojen perusteella, hotellissa, kauppakeskuksessa ja useissa pilotoiduissa toimistotaloissa on aina jonkin asteista jäähdytystarvetta johtuen sisäisistä lämpökuormista. Joissakin kohteissa lämpenemä on ollut jopa parempi talvella kuin kesällä, kuten kuvasta 32 voi vuoden 2017 ja 2018 talvikuukausilta todeta. Syynä tähän saattaa olla jopa se, että lämmitys ja jäähdytys ovat olleet samaan aikaan päällä. Hotelleissakin, joissa on kokoustiloja, on usein kokovuotista jäähdytystarvetta.



Kuva 30. Rajoitustoiminnon vaikutus lämpenemään hotellikohteessa.

Kuvasta 30 näkee, kuinka ulkolämpötilä ei juuri vaikuta kj-paluulämpötilaan mittausajanjakson alkupuolella. Kj-veden paluulämpötilä lähtee nousemaan, kun vesivirtaa aletaan rajoittamaan etäohjatun virtauksensäätimen vesivirran rajoitustoiminnolla. Tehon on annettu tässä kohteessa hieman nousta yli sopimustehon 500 kW. Normaalilla 8 °C:n mitoituslämpenemällä virtaamaksi saadaan noin 56 m³/h.

4.4 Etäohjatun virtauksensäätimen toiminnasta tehtävät johtopäätökset

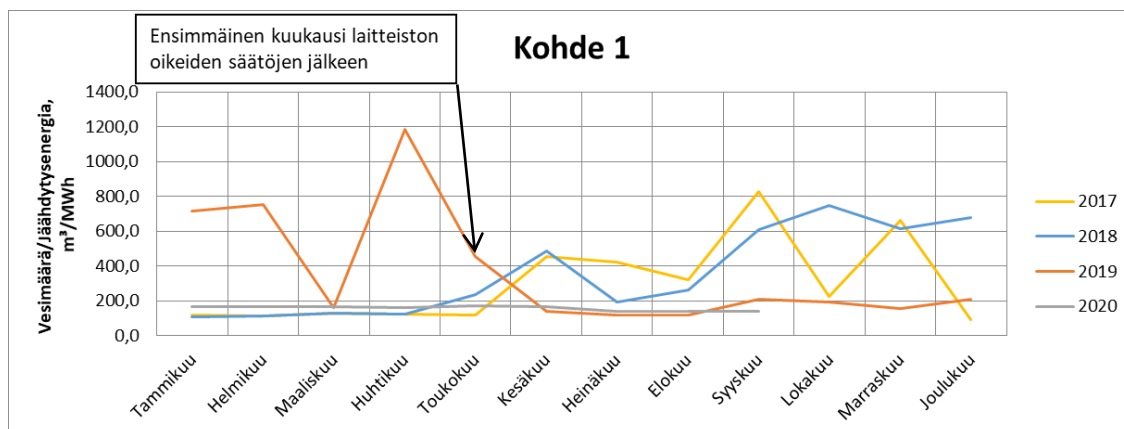
Haasteita tulosten vertailussa aiheutti se, että asennuksia on tehty eri aikoina vuosina 2018 ja 2019. Kaikkia mittauksia ei saatu samalle ajanjaksolle. Lisäksi ensimmäisissä asennuksissa tarvittiin laitteiden virittelyä jonkin aikaa, jotta ne saatiin toimimaan halutulla tavalla. Mittaustuloksista on yritetty päätellä, milloin laite on alkanut toimia oikein. Osassa kohteista asennus näkyy välittömänä lämpenemän paranemisena ja pienempänä vesimäärän kulutuksena. Osassa ei ole päästy haluttuun lopputulokseen. Mittaustulokset on esitetty liitteessä 3. Sinisen sävyillä on esitetty laitteen asennusta edeltänyt vuosi ja punaisen sävyillä asennuksen jälkeinen vuosi. Liitteessä 4 on esitetty graafina asennusajankohtaa edeltänyt ja sen jälkeinen vuosi. Laatikossa esitetty päivämäärä on mittausajanjakson vaihtumispäivämäärä. Niistä voi mm. nähdä, kuinka etäohjatun

virtauksensäätimen toiminta on vaikuttanut eri asiakkaiden lämpenemään ja kj-veden kulutukseen.

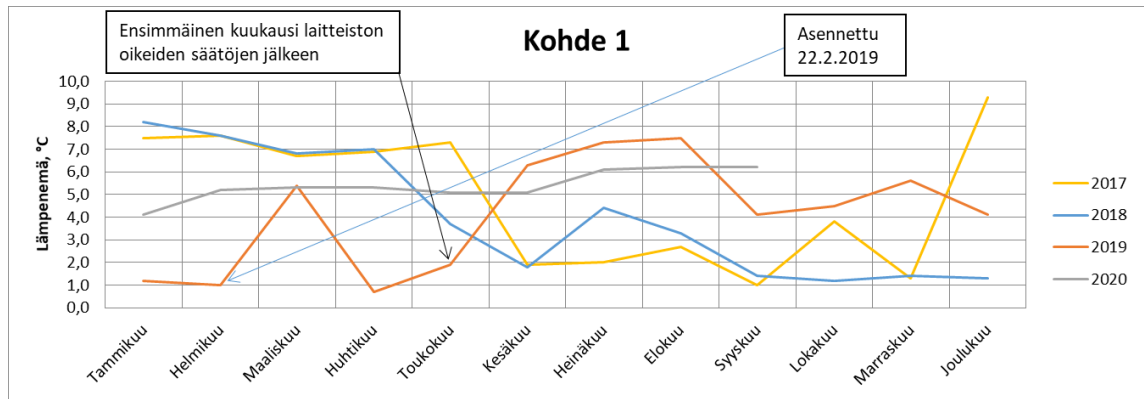
Työssä vertaillaan vuosien 2017 ja 2019 välistä aikaa ennen ja jälkeen etäohjattujen virtauksensäätimien asennuksien ja tutkitaan kuukausi- ja vuositasolla keskimääräistä lämpenemää ja kulutettujen vesikuutioiden suhdetta jäähdytysenergiaan. Kulutustiedot saatiin Helenin asiakastietojärjestelmästä. Ratkaisemalla kaavasta 1 virtaaman ja tehon suhde, voidaan laskea tarvittava vesimäärä jäähdytysenergian yksikköä (MWh) kohti kaavalla 6, huomioiden yksikkömuunnos $1 \text{ MWh} = 3600 * 10^3 \text{ kJ}$. Kun asiakkaan kj-laitteet on mitoitettu kahdeksan asteen lämpötilaerolla, saadaan tilannetta vastaava tunnusluku:

$$\frac{q_v}{\Phi} = \frac{1}{\rho * c_p * \Delta T} = \frac{1}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,192 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (16-8) \text{K}} * 3600 * 10^3 \text{ kJ/MWh} = \sim 107,35 \text{ m}^3/\text{MWh} \quad (6)$$

Tätä arvoa käytetään siis vertailuarvona osoittamaan, milloin kj-laitteisto toimii tehokkaasti. (34, s. 67.) Kaikki arvot yli tämän lukeman kertovat, ettei asiakkaan kj-laitteisto toimi niin hyvin kuin sen pitäisi. Vertailuarvon alittavat luvut ilmaisevat, että lämpenemä on yli $8 \text{ }^\circ\text{C}$, jolloin asiakaslaitteet toimivat hyvin myyjän näkökulmasta. Kuvissa 31 ja 32 on esitetty erään liikerakennuksen kulutusikäytyminen vuosilta 2017–2020.



Kuva 31. Pilottikohteen numero 1 veden kulutus m^3/MWh . Etäohjatun virtauksensäätimen säädöt saatiin huhtikuussa 2019 toimimaan, jolloin sen vaikutus on nähtävissä toukokuun luvuissa. Tavoitearvoon ei aivan päästä vuoden 2019 kesällä lämpenemän ollessa $6,3\text{--}7,5 \text{ }^\circ\text{C}$.



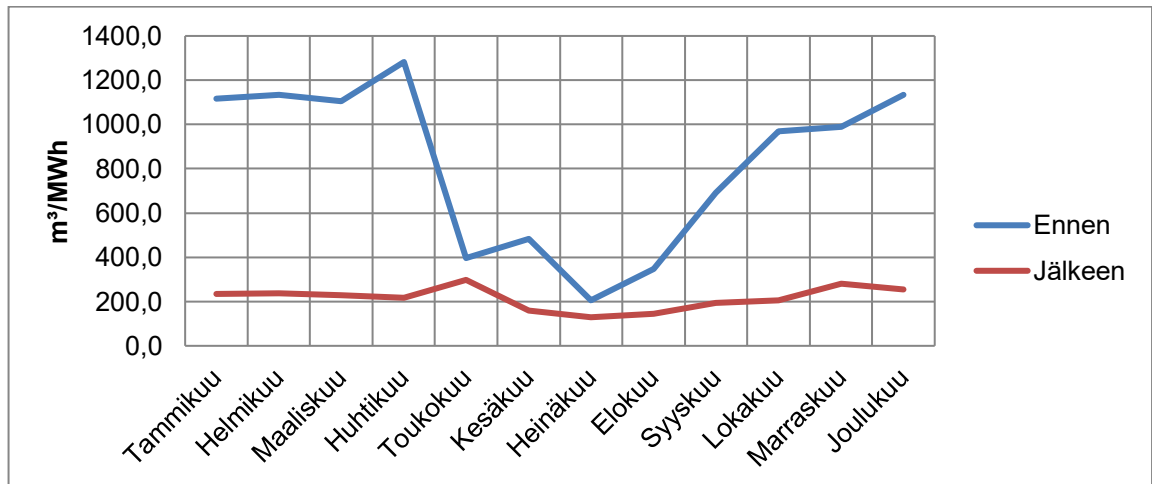
Kuva 32. Pilottikohteen numero 1 keskimääräisen lämpenemän kehitys vuosina 2017–2020.

Tehdään muutamia oletuksia, jottei laskennasta tule liian monimutkaista. Jäähdytystarvelukua kertyy Suomen ilmastossa vähän, joten voidaan olettaa, ettei ulkolämpötilalla ole suurta vaikutusta kj-lämpenemään ja vuosia 2017–2019 voidaan verrata keskenään. Tutkitaan, miten kohteiden kulutus on muuttunut näiden vuosien välillä. Kaikissa kohteissa ei ole siis sama vertailuvuosi. Taulukossa 3 on esitetty pilottikohteiden energiankulutus vuosi ennen ja jälkeen etäohjatun virtauksensäätimen asennuksen sekä kj-veden kulutuksen muutos.

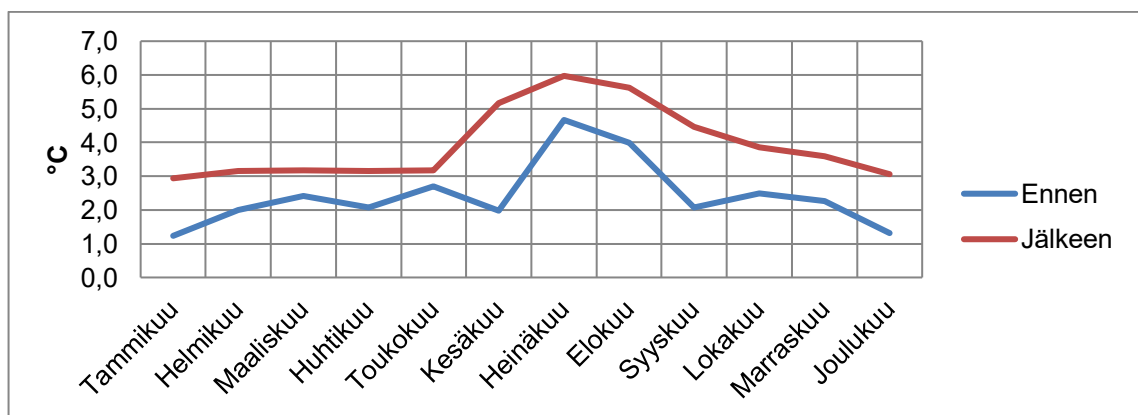
Taulukko 3. Pilottikohteiden virtaamien muutos etäohjatun virtauksensäätimen asennuksen jälkeen.

Kohde 1 / Suurteho				Kohde 2 / Keskiteho				Kohde 3 / Pienteho			
	MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh
1.5.2018-	1851,2	774783	418,5	1.5.2018-	166,7	49500,9	297,0	1.12.2017-	157,3	129075	820,6
1.5.2019-	1371,5	239806	174,8	1.5.2019-	224,5	37487,5	167,0	1.12.2018-	142,47	23831	167,3
erotus	534977		243,68	erotus		12013	130,0	erotus		105244	653,3
virtaama	61,1 m ³ /h		38,2 m ³ /h	virtaama	1,4 m ³ /h		3,3 m ³ /h	virtaama	12,0 m ³ /h		10,6 m ³ /h
Kohde 4 / Pienteho				Kohde 5 / Suurteho				Kohde 6 / Pienteho			
	MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh
1.9.2017-	110,2	27026	245,2	1.11.2017-	980,5	219841	224,2	1.10.2017-	107,17	28576	266,6
1.9.2018-	92,5	30286	327,4	1.11.2018-	754,2	157114	208,3	1.10.2018-	88,9	9564	107,6
erotus	-3260		-82,2	erotus		62727	15,9	erotus		19012	159,1
virtaama	-0,4 m ³ /h		-0,9 m ³ /h	virtaama	7,2 m ³ /h		1,4 m ³ /h	virtaama	2,2 m ³ /h		1,6 m ³ /h
kohde 7 / Keskiteho				Kohde 8 / Keskiteho				Kohde 9 / Pienteho			
	MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh
1.7.2017-	206,2	751322	3643,7	1.4.2018-	492,5	124272	252,3	1.3.2018-	57,4	18250	317,9
1.7.2018-	247,5	40666	164,3	1.4.2019-	388,1	88141	227,1	1.3.2019-	32,6	11682	358,3
erotus	710656		3479,3	erotus		36131	25,2	erotus		6568	-40,4
virtaama	81,1 m ³ /h		98,3 m ³ /h	virtaama	4,1 m ³ /h		1,1 m ³ /h	virtaama	0,7 m ³ /h		-0,2 m ³ /h
Kohde 10 / Pienteho				Kohde 11 / Pienteho				Kohde 12 / Keskiteho			
	MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh		MWh	m ³	m ³ /MWh
1.9.2017-	36,8	6113	166,1	1.4.2018-	17,118	20064	1172,1	1.8.2017-	949,4	796776	839,2
1.9.2018-	24,8	14423	581,6	1.4.2019-	17,057	7147	419,0	1.8.2018-	1219,3	214787	176,2
erotus	-8310		-415,45845	erotus		12917	753,1	erotus		581989	663,1
virtaama	-0,9 m ³ /h		-1,2 m ³ /h	virtaama	1,5 m ³ /h		1,5 m ³ /h	virtaama	66,4 m ³ /h		92,3 m ³ /h

Kuten taulukosta 3 on nähtävissä, pientehoasiakkailla hyöty on ollut jopa negatiivinen, eli kj-veden kulutus on kasvanut laitteen asennuksen seurauksena. Se näkyy negatiivisena virtaamana. Näin on tapahtunut asiakkailla 4, 9 ja 10. Syynä voi olla se, että etäohjattu virtauksensäädin vaatii jatkuvan pienen kj-virtaaman toimiakseen. Tästä aiheutuu jäähdytyskauden ulkopuolella turhaa kj-veden kulutusta. Kahdessa keskitehoisessa kohteessa (kohteet 7 ja 12) näyttäisi olevan suurin hyöty riippumatta siitä suhteutaanko kj-veden kulutusta energiankulutukseen vai ei. Vasemmanpuoleinen virtaama on käytettyjen vesikuutioiden muutos ja oikeanpuoleinen on suhteutettu etäohjatun virtauksensäätimen asennuksen jälkeiseen energian kulutukseen. Suurin hyöty on ollut kohteessa 7, jonka vesimäärä pieneni vuodessa yli 710 000 m³. Yhteiset etäohjatun virtauksensäätimen asennuksen lopputulokset näkyvät kuvissa 33 ja 34.



Kuva 33. Kaikkien pilottikohteiden yhteinen kj-veden kulutus käytettyä MWh:a kohden ennen ja jälkeen etäohjatun virtauksensäätimen asennuksen.



Kuva 34. Kaikkien pilottikohteiden yhteinen keskimääräinen kj-veden lämpenämä ennen ja jälkeen etäohjatun virtauksensäätimen asennuksen.

Suhteutettuna asennuksen jälkeisen vuoden energian kulutukseen virtaama pieni niillä 12 asiakkaalla yhteensä 228,3 m³/h ~ 63,40 dm³/s, kuten taulukosta 4 on nähtävissä. Vesikuutioiden säästöt on kohdassa 1 suhteutettu uuteen energiankulutukseen. Kohdassa 2 oikeanpuoleisimmassa sarakkeessa on veden kulutuksen erotus 234,9 m³/h ~65,25 dm³/s. Käytetään tätä lukua laskennassa.

Taulukko 4. Pilottiasiakkaiden kuukausittaiset vesi- ja jäähdytysenergiämäärät ennen etäohjattun virtauksensäätimen asennusta ja sen jälkeen.

	m ³			MWh		m ³ /MWh			1	2
	Ennen	Jälkeen	muutos	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	muutos	m ³ -säästö	m ³ -säästö
Tammikuu	220077,4	49748,2	170329,2	196,9	213,4	1117,8	233,1	884,6	188761,2	170329,2
Helmikuu	196119,5	46265,4	149854,1	173,0	195,4	1134,0	236,8	897,1	175268,6	149854,1
Maaliskuu	217127,6	51387,5	165740,1	196,5	223,4	1104,9	230,1	874,8	195391,3	165740,1
Huhtikuu	289364,9	54196,3	235168,6	225,7	249,1	1282,3	217,6	1064,7	265207,9	235168,6
Toukokuu	230449,0	106799,9	123649,1	580,1	358,4	397,3	298,0	99,3	35580,1	123649,1
Kesäkuu	243163,0	113755,4	129407,6	503,0	720,7	483,4	157,8	325,6	234635,3	129407,6
Heinäkuu	272403,0	112247	160156,0	1324,7	869,7	205,6	129,1	76,6	66592,8	160156,0
Elokuu	298618,8	111945,9	186672,9	857,3	766,8	348,3	146,0	202,3	155140,4	186672,9
Syyskuu	283863,6	71845,8	212017,8	410,4	370,8	691,7	193,7	497,9	184646,8	212017,8
Lokakuu	257791,6	46170,9	211620,7	266,0	224,2	969,3	206,0	763,3	171106,9	211620,7
Marraskuu	200937,6	55565,8	145371,8	202,9	197,7	990,3	281,1	709,2	140191,4	145371,8
Joulukuu	221936,2	54090,2	167846,0	195,8	212,6	1133,8	254,4	879,4	186996,6	167846,0
								Yht	1999519,1	2057833,8
								qv	228,3	234,9 m ³ /h

Helenin kj-verkon pumppaussähkön kulutus vuonna 2019 oli yhteensä 8 497 MWh, ja pumpattuja vesikuutioita kertyi 27 069 070 m³ (41). Keskimäärin yhden vesikuution pumppaamiseen kului sähköä:

$$\frac{8497 \text{ MWh}}{27\,069\,070 \text{ m}^3} \approx 0,000314 \text{ MWh/m}^3$$

josta saadaan ylimääräisten pumpattujen vesikuutioiden sähköenergian kulutukseksi:

$$\frac{8497 \text{ MWh}}{27\,069\,070 \text{ m}^3} * 2\,057\,833,8 \text{ m}^3 \approx 646 \text{ MWh}$$

Sähkön hinnalla 80 €/MWh saadaan kustannukseksi ~51 676 €/a ja ~4 306,37 €/kk. Oletetaan, että etäohjattun virtauksensäätimen asennuskustannus on 2 000 €/asennus ja kiinteä kuukausikustannus 40 €/kk. Jaetaan asennuskustannus eri laskenta-ajanjaksoille kuukausittain. Lasketaan kustannukset viidelle ja kymmenen vuoden ajalta. Etäohjattun virtauksensäätimen kustannukset ovat alkuinvestointi + kuukausittaiset kulut lasketulle ajanjaksolle. Viidelle vuodelle kulut ovat:

$$2\,000\text{ €} + 40 \frac{\text{€}}{\text{kk}} * 12\text{kk}/a * 5\text{ a} = 4\,400\text{ €} = 73,33\text{ €/kk}$$

ja kymmenelle vuodelle:

$$2000 + 40 \frac{\text{€}}{\text{kk}} * 12\text{kk}/a * 10\text{ a} = 6800\text{ €} = 56,67\text{ €/kk.}$$

Jotta laitteiston asennuksen kustannukset saadaan katettua, tulisi virtaaman pienentyä kuukausitasolla viidelle vuodelle:

$$\frac{73,33 \frac{\text{€}}{\text{kk}}}{4306,37 \text{ €/kk}} * 65,25 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} = 1,11 \dots \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \approx 4,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

ja kymmenelle vuodelle

$$\frac{56,67 \text{ €/kk}}{4306,37 \text{ €/kk}} * 65,25 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} = 0,85 \dots \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \approx 3,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}},$$

joista kertyy vuosittain $\sim 9\,733\text{ m}^3 * 5 = \sim 48\,666\text{ m}^3 / 5\text{ vuotta}$ ja $\sim 7\,522\text{ m}^3 * 10 = 75\,219\text{ m}^3 / 10\text{ vuotta}$ yhteinen pumpattu ylimääräinen kokonaisvesimäärä.

Lasketaan sopimusteho, joka vapautuu verkostosta pienentyvien virtaamien takia kaavalla 1. Otetaan huomioon kohteet 1,7 ja 12, joiden yhteinen vesivirran pienentyminen on: $208,63\text{ m}^3/\text{h} \sim 57,95\text{ dm}^3/\text{s}$, joka on laskettu alla olevassa taulukossa 5:

Taulukko 5. Kohteiden 1, 7 ja 12 yhteinen vesivirran pienentyminen vuoden ajalta. Kohdassa 2 on esitetty pelkkä veden kulutuksen muutos ja kohdassa 1 veden kulutuksen muutos on suhteutettu uuteen energiankulutukseen.

		2	1	
	MWh	m ³	m ³ /MWh	
Ennen	3006,8	2322881	772,5426	
Jälkeen	2838,3	495259	174,4914	
erotus			598,0511	
m ³		1827622	1697449	
qv		208,63	193,77	m ³ /h

Kohteella 7 ja 12 on suuria talviajan virtaamia, kuten kuvista 37 ja 39 voi huomata. Lasketaan, miten etäohjatun virtauksensäätimen asennus on vaikuttanut kesä-, heinä-

ja elokuun mittaustuloksiin, saadaan virtaamaksi taulukon 6 mukainen tulos 192,6 m³/h ~53,5 dm³/s, joka on hieman pienempi kuin koko vuodelta:

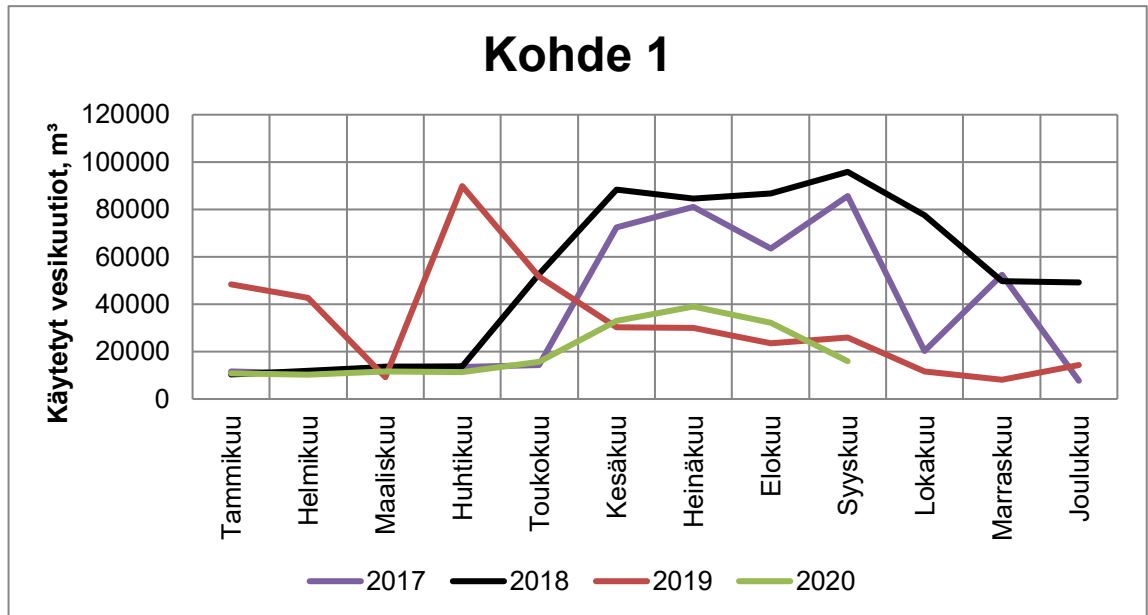
Taulukko 6. Kohteiden 1, 7 ja 12 yhteinen vesivirran pienentyminen kesä-, heinä- ja elokuulta.

	Tunnit	MWh			m ³			qv (m ³ /h)	m ³ /MWh			qv (m ³ /h)
		Ennen	Jälkeen	erotus	Ennen	Jälkeen	erotus		Ennen	Jälkeen	erotus	
kesäkuu	720	297,1	455,9	-158,8	187838	63899	123939	172,14	632,2	140,2	492,1	311,58
heinäkuu	744	786,5	573,7	212,8	169638	70256	99382	133,58	215,7	122,5	93,2	71,89
elokuu	744	483,6	492,3	-8,7	262033	60102	201931	271,41	541,8	122,1	419,8	277,75
Yhteensä	2208	1567,2	1521,9	45,3	619509	194257	425252	192,60	395,2967	127,6411	267,6556	184,49

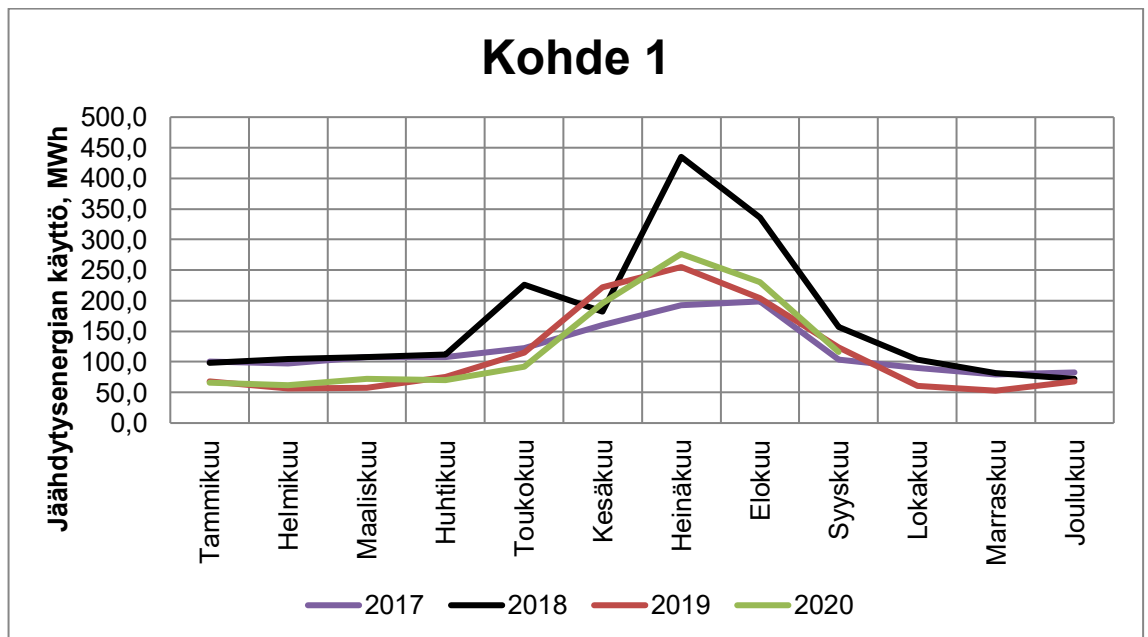
Lasketaan, millainen teho vapautuu kj-verkosta jäähdytyskaudella, kun kulutus on suurimmillaan. Käytetään virtaamana pelkkää vesivirran muutosta 192,6 m³/h ~ 53,5 dm³/s:

$$1,0 \frac{kg}{dm^3} * 4,192 \frac{kJK}{kg} * (16 - 8)K * 53,5 \frac{dm^3}{s} \approx 1\,794\, kW.$$

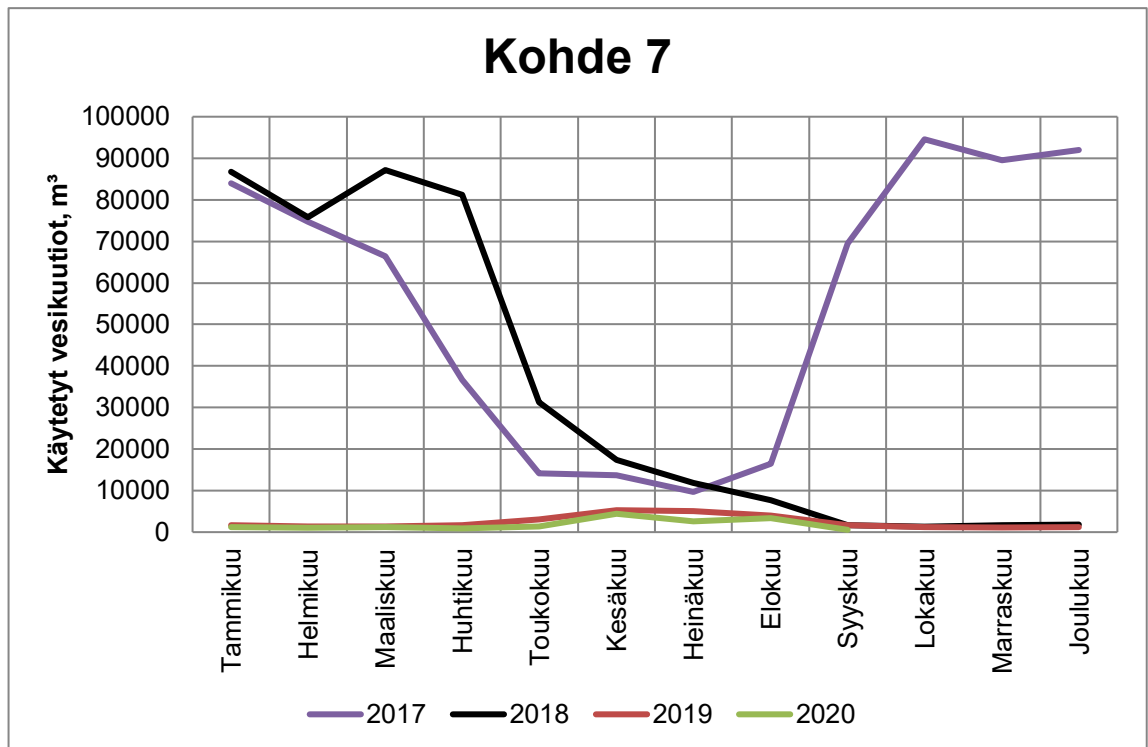
Tämä teho on jäänyt myymättä siinä osassa kj-verkostoa, jossa kyseiset asiakkuudet sijaitsevat ja, jossa on kulutustietojen perusteella havaittu virtausmäärien ja -nopeuksien ylitys. Tästä syystä lisätehonmyyntiä ei ole sallittu tässä osassa kj-verkkoa. Tästä tehosta on siis jäänyt kertaluontoiset liittymämaksut, kuukausittaiset sopimusmaksut ja energian myynti saamatta. Tällaisen yksittäisen liittymän arvo on arviolta yli 300 000 €, ilman kj-putkien, mittauskeskuksen yms. rakentamistöitä (42). Kuvissa 35–40 on esitetty kohteiden 1, 7 ja 12 käytettyjen vesikuutioiden ja jäähdytysenergian käyttöä kuukausitasolla eri vuosina.



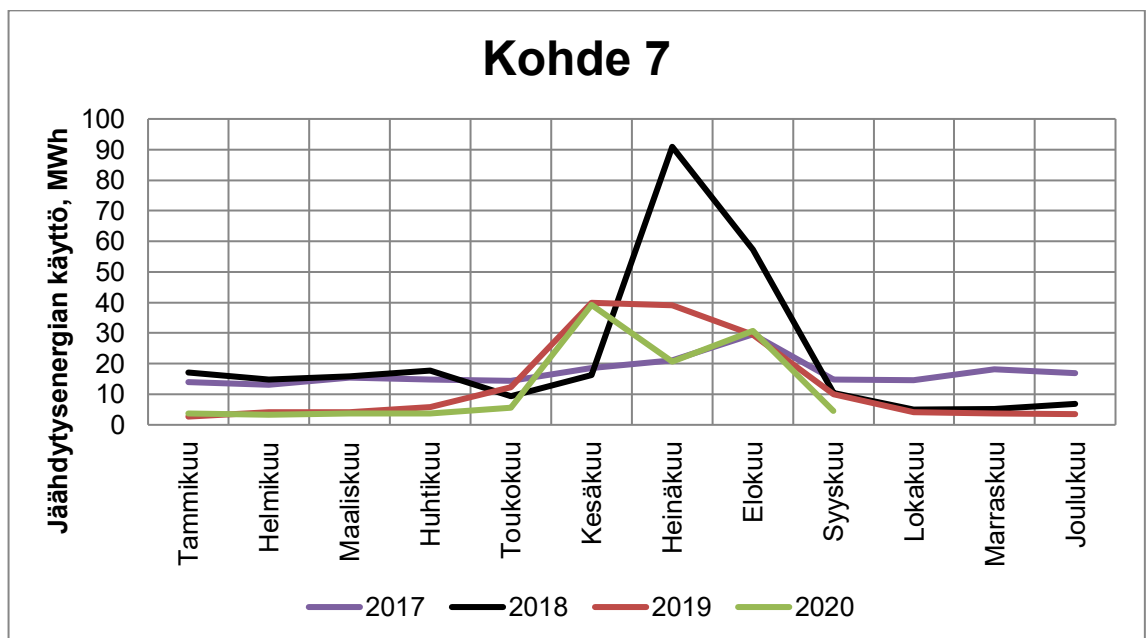
Kuva 35. Kohteen 1 käytetyt vesikuutiot eri vuosina. Veden kulutus on ollut erityisen runsasta vuonna 2017 ja 2018 touko–syyskuun välisen ajan.



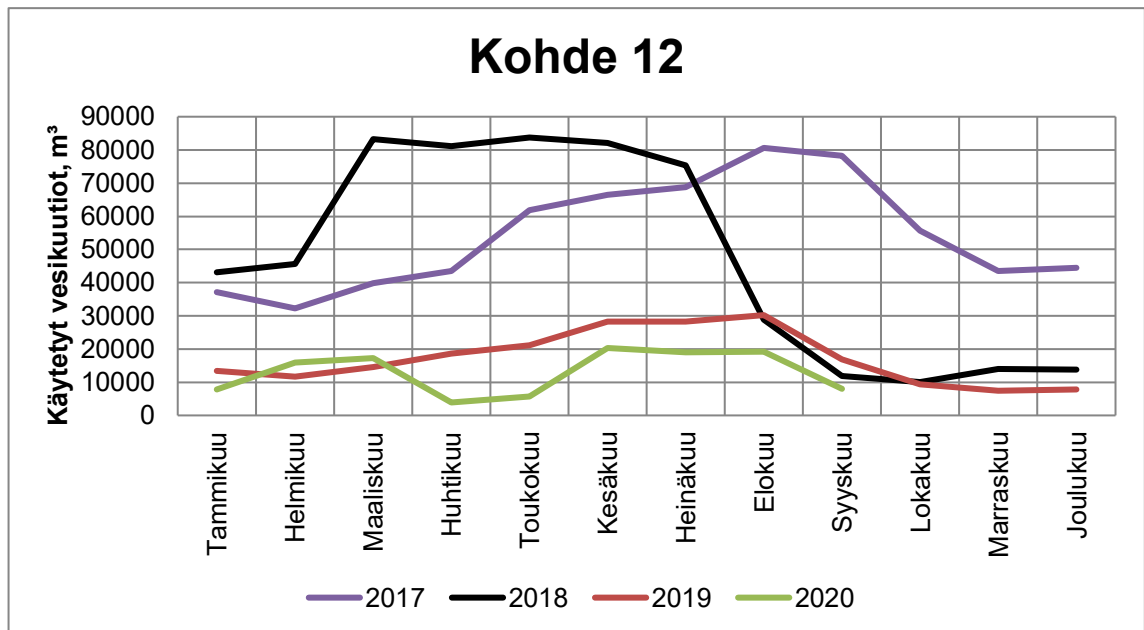
Kuva 36. Kohteen 7 jäähdytysenergian käyttö eri vuosina.



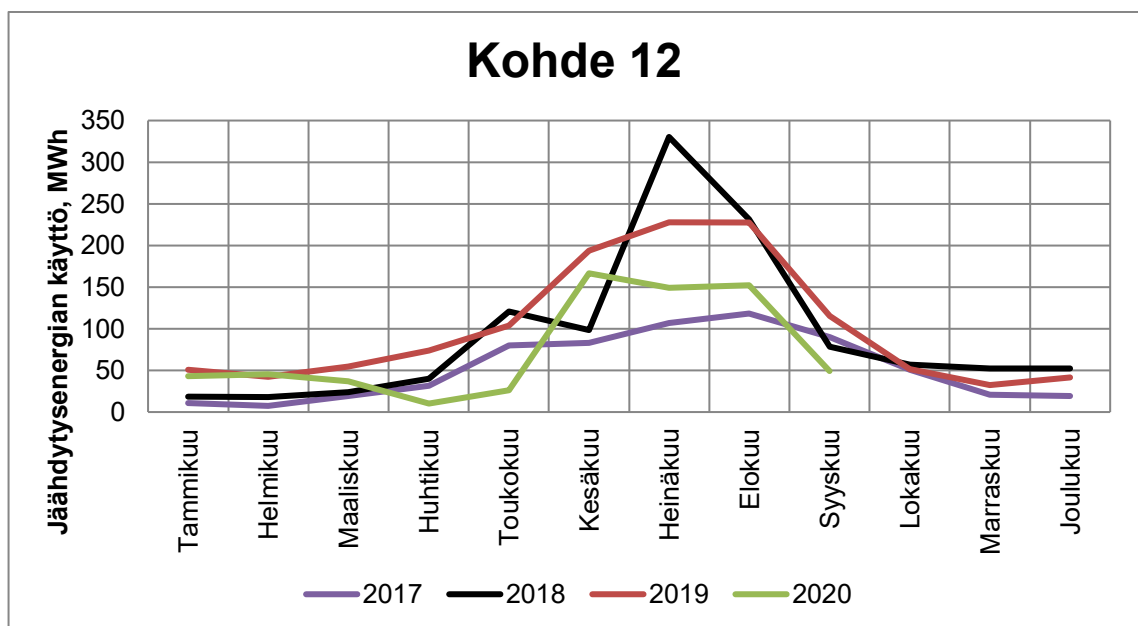
Kuva 37. Kohteen 7 käytetyt vesikuutiot eri vuosina. Jäähdytyskausien jälkeen veden kulutus on kasvanut vuosina 2017 ja 2018. Vuosien 2019 ja 2020 aikana veden kulutus on ollut kuukausittain noin 1 000–5 000 m³.



Kuva 38. Kohteen 7 jäähdytysenergian käyttö eri vuosina.



Kuva 39. Kohteen 12 käytetyt vesikuutiot eri vuosina. Varsinkin maalis-heinäkuussa 2018 on kulunut valtavasti vettä, yhteensä noin 406 000 m³.



Kuva 40. Kohteen 12 jäähdytysenergian käyttö eri vuosina.

4.5 Toimenpide-ehdotukset

Pilottikohteiden osalta puolet asiakkaista on tällä hetkellä kannattavia pitää etäohjatun virtausensäätimen säädön perässä. Siten ne asiakkaat, joiden keskimääräinen vir-

taama on pienentynyt yli 4,0 m³/h. Kahdelta asiakkaalta laite kannattaisi purkaa pois käytöstä (4 ja 10) ja loppujen osalta tulee miettiä, tuoko laite jotain muuta arvoa Helenille. Voitaisiinko etäohjatun virtauksensäätimen etäohjaus-toimintoa pilotoida esimerkiksi kysynnän jouston tarkoituksiin näillä kohteilla? Ainakin säätöventtiilien jumiumisesta saadaan nyt tieto ja näin ollen suuriin ohivuotovirtaamiin päästään puuttumaan nopeammin ja tätä kautta voidaan saada jotain säästöä, jos sakottaminen ei tule tulevaisuudessakaan kysymykseen.

Edellisistä laskelmista päästään siihen, milloin jatkossa etäohjatun virtauksensäätimen asennusta lähdetään ehdottamaan asiakkaalle. Ensisijaisesti pyydetään asiakasta aina korjaamaan ensiksi kj-laitteensa. Jos vikaan ei tunnu löytyvän ratkaisua, voidaan laitteen asentamista ehdottaa sellaisille asiakkaille, jotka täyttävät seuraavat ehdot:

- Sopimusteho yli 200 kW.
- Lämpenemä huono < 3 °C usealta kuukaudelta, josta saadaan kaavalla 6 käytettyjen vesikuutioiden suhde energiankulutukseen > 286 m³/MWh ja keskimääräinen ylimääräinen kj-veden kulutus niiltä kuukausilta on yli
 - viideltä kuukaudelta 48 666 m³ / 5 = ~ 9 733 m³/kk
 - neljältä kuukaudelta 48 666 m³ / 4 = ~ 12 166 m³/kk
 - kolmelta kuukaudelta 48 666 m³ / 3 = ~ 16 222 m³/kk
 - kahdelta kuukaudelta 48 666 m³ / 2 = ~ 24 333 m³/kk
 - yhdeltä kuukaudelta 48 666 m³/kk.

Ylimääräinen veden kulutus lasketaan kuukausilta kaavalla 7:

$$\left(\frac{\text{Käytetyt vesikuutiot (m}^3\text{)}}{\text{Energian kulutus (MWh)}} - \text{Sopimusehtojen mukainen kuukauden vertailuarvo} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{MWh}} \right) \right) * \text{Energiankulutus (MWh)} = \text{Ylimääräiset käytetyt vesikuutiot (m}^3\text{)} \quad (7)$$

Esimerkiksi taulukossa 7 esitetyn kohteen lokakuusta joulukuuhun kestävän ajanjakson ylimääräinen veden käyttö ylittää kolmelta kuukaudelta yhteisvesimäärän 48 666 m³. Vastaavanlaisia ylimääräisen vedenkulutuksia kohteella on ollut myös edellisinä vuosina. Tähän kohteeseen voisi ehdottaa etäohjatun virtauksensäätimen asentamista.

Taulukko 7. Ylimääräisen veden käytön tarkastelu kohteessa.

	Käytetyt vesikuutiot			Toteutunut lämpenemä (°C)	s.e. ΔT (°C)	Ylim. veden käyttö (m ³)	Optimi m ³ /MWh	m ³ /MWh tot.-optimi
	m ³	MWh	m ³ /MWh					
Tammikuu 2020	10357,4	15,24	679,6	1,3	5	7739,8	171,76	507,9
Helmikuu 2020	1351,8	16,61	81,4	10,2	5	-1501,1	171,76	-90,4
Maaliskuu 2020	1216,2	15,59	78,0	11,0	5	-1461,5	171,76	-93,7
Huhtikuu 2020	707,2	8,81	80,3	10,7	6	-553,8	143,13	-62,9
Toukokuu 2020	1686,3	20,78	81,2	10,6	7	-863,0	122,68	-41,5
Kesäkuu 2020	8663,7	97,91	88,5	9,7	8	-1846,7	107,35	-18,9
Heinäkuu 2020	6368,7	97,91	65,0	9,7	8	-4141,7	107,35	-42,3
Elokuu 2020	7324	76,21	96,1	8,9	8	-856,9	107,35	-11,2
Syyskuu 2020	3322	36,52	91,0	9,4	7	-1158,4	122,68	-31,7
Lokakuu 2019	20513,2	17,73	1157,0	0,7	6	17975,5	143,13	1013,8
Marraskuu 2019	27232,8	13,1	2078,8	0,4	5	24982,8	171,76	1907,1
Joulukuu 2019	28179,8	17,73	1589,4	0,4	5	25134,6	171,76	1417,6
						68092,9		

Investointiaikana käytetään 5:tä vuotta.

Sopimusehdoissa kohdassa 2.6. mainittujen kuukausittaisten vähimmäislämpenemien mukaan näissä 12 kohteessa on jäänyt laskuttamatta yhteensä 28 520,8 MWh vuosina 2017–2019. Taulukossa 8 on esitetty kohteen numero 12 kiinteistön kuukausittainen keskimääräinen lämpenemä, energian kulutus, sopimusehtojen mukainen keskimääräinen lämpenemä ja keskimääräisen lämpenemän mukainen laskennallinen energian kulutus, ylimääräinen veden käyttö ja virtaama. Ylimääräisestä virtaamasta on laskettu energian määrä, joka on sopimusehtojen mukaan jäänyt laskuttamatta, kun sopimusehtojen mukaiseen lämpenemään (s.e. ΔT) ei ole päästy. Positiivinen asia on sentään, että tilanne on parantunut huomattavasti vuonna 2019. Vastaava luku on laskettu myös muilta pilottiasiakkailta, kuten taulukossa 9 kohteen numero 3 laskuttamatta jäänyt energia. Mietityttää, miksi sopimusehdoissa on tällainen pykälä, jos asiaa ei valvota eikä epäkohtiin ole puututtu.

Taulukko 8. Sopimusehtojen mukainen ja toteutunut lämpenemä sekä energian kulutus kohteessa numero 12 (keskiteho).

	tunnit	Kohde 12 Keskiteho																		s.e. muk. laskuttamatta				
		m ³ /MWh			ΔT (°C)			E (MWh)			s.e. ΔT (°C)	Ylim. veden käyttö (m ³)			Optimi m ³ /MWh	Ylim. Keskimäär. virtaama m ³ /h			jäänyt energia			m ³ /MWh tot.-optimi		
		2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019		2017	2018	2019		2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Tammikuu	744	3382,6	2308,3	263,8	0,3	0,4	3,3	11	18,7	51,1	5	35319,7	39953,2	4702,3	171,76	47,47	53,70	6,32	205,6	232,6	27,4	3210,9	2136,5	92,0
Helmi	672	4357,6	2535,9	275,3	0,2	0,3	3,1	7,4	18	42,6	5	30975,0	42555,4	4412,2	171,76	46,09	63,33	6,57	180,3	247,8	25,7	4185,8	2364,2	103,6
Maalis	744	2090,5	3479,5	267,3	0,4	0,2	3,2	19,1	23,9	54,6	5	36647,5	79056,0	5217,1	171,76	49,26	106,26	7,01	213,4	460,3	30,4	1918,7	3307,8	95,6
Huhtik	720	1378,7	2022,8	252,9	0,6	0,4	3,4	31,5	40,1	74	6	38921,4	75373,5	8125,4	143,13	54,06	104,69	11,29	271,9	526,6	56,8	1235,6	1879,6	109,8
Toukoku	744	774,6	691,4	203,0	1,1	1,2	4,2	79,8	121	104	7	52021,9	68872,1	8349,0	122,68	69,92	92,57	11,22	424,0	561,4	68,1	651,9	568,7	80,3
Kesäku	720	799,7	833,0	145,6	1,1	1	5,9	83,2	98,6	194	8	57607,7	71553,6	7417,6	107,35	80,01	99,38	10,30	536,6	666,6	69,1	692,4	725,7	38,2
Heinäku	744	642,5	228,3	124,5	1,3	4	6,9	107	330	227,8	8	57258,8	39963,2	3898,3	107,35	76,96	53,71	5,24	533,4	372,3	36,3	535,1	121,0	17,1
Eloku	744	681,3	124,9	132,9	1,3	6,9	6,5	118,3	231	227,4	8	67900,8	4059,3	5811,2	107,35	91,26	5,46	7,81	632,5	37,8	54,1	574,0	17,6	25,6
Syysku	720	872,1	151,3	145,9	1,0	5,7	5,9	89,7	78,6	115,3	7	67225,4	2251,1	2679,7	122,68	93,37	3,13	3,72	548,0	18,3	21,8	749,4	28,6	23,2
Lokaku	744	1093,5	176,0	180,9	0,8	4,9	4,8	50,9	57,1	51,7	6	48373,7	1876,3	1951,2	143,13	65,02	2,52	2,62	338,0	13,1	13,6	950,4	32,9	37,7
Marrasku	720	2102,9	267,3	229,4	0,4	3,2	4	20,7	52	32,4	5	39974,7	4970,7	1869,1	171,76	55,52	6,90	2,60	232,7	28,9	10,9	1931,1	95,6	57,7
Jouluku	744	2323,8	264,6	187,5	0,4	3,2	4,6	19,1	52,3	41,6	5	41103,5	4858,2	656,0	171,76	55,25	6,53	0,88	239,3	28,3	3,8	2152,0	92,9	15,8
																			4355,9	3194,0	418,0			7967,9

Taulukko 9. Sopimusehtojen mukainen ja toteutunut lämpenemä sekä energian kulutus kohteessa numero 3 (pienteho). Kun lämpenemä on ollut parempi kuin sopimusehdoissa (negatiiviset luvut taulukossa), sitä ei hyvitetä muissa kuukausissa.

	tunnit	Kohde 3 Pienteho																		s.e. muk. laskuttamatta							
		m ³ /MWh			ΔT (°C)			E (MWh)			s.e. ΔT	Ylim. veden käyttö (m ³)			Optimi m ³ /MWh	Ylim. Keskimäär. virtaama m ³ /h			jäänyt energia			m ³ /MWh tot.-optimi					
		2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019		2017	2018	2019		2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019			
Tammikuu	744	125,6	2380,1	178,2	88,3	6,8	0,4	4,8	9,7	9,8	8,4	12,22	4,34	5	-452,2	18550,3	78,1	171,76	-0,61	24,93	0,11	-2,6	108,0	0,5	-46,1	2208,4	6,4
Helmi	672	123,5	2375,4	177,2	87,8	7,0	0,4	4,8	9,8	8,6	7,6	12,33	4,23	5	-415,1	16747,7	67,3	171,76	-0,62	24,92	0,10	-2,4	97,5	0,4	-48,3	2203,6	5,5
Maalis	744	130,7	2266,6	175,4	85,7	6,6	0,4	4,9	10,0	10,1	8,8	13,65	3,8	5	-414,7	18434,5	49,5	171,76	-0,56	24,78	0,07	-2,4	107,3	0,3	-41,1	2094,8	3,6
Huhtik	720	122,3	2107,1	174,7	91,6	7,0	0,4	4,9	9,4	9,2	9,6	13,54	3,13	6	-191,8	18854,0	428,0	143,13	-0,27	26,19	0,59	-1,3	131,7	3,0	-20,8	1964,0	31,6
Toukoku	744	128,6	130,6	175,6	84,1	6,7	0,6	4,9	10,2	10,7	14,4	14	4,71	7	63,3	114,4	741,4	122,68	0,09	0,15	1,00	0,5	0,9	6,0	5,9	7,9	53,0
Kesäku	720	125,1	338,9	155,0	87,4	6,9	0,4	5,5	9,8	11,7	10,9	16,1	12,29	8	208,0	2523,9	767,7	107,35	0,29	3,51	1,07	1,9	23,5	7,2	17,8	233,6	47,7
Heinäku	744	107,9	187,0	144,4	86,6	8,0	0,9	5,9	9,9	11	27,7	15,38	9,14	8	6,2	2207,5	562,5	107,35	0,01	2,97	0,76	0,1	20,6	5,2	0,6	79,7	37,1
Eloku	744	95,0	387,8	195,2	93,9	9,0	0,9	4,4	9,1	11,6	23,7	13,16	12,5	8	-143,2	4277,9	1156,3	107,35	-0,19	5,75	1,55	-1,3	39,9	10,8	-12,3	180,5	87,8
Syysku	720	120,2	363,8	101,5	79,4	7,1	1,3	8,5	10,8	9,8	13,8	8,53	6,76	7	-24,3	3327,0	-180,5	122,68	-0,03	4,62	-0,25	-0,2	27,1	-1,5	-2,5	241,1	-21,2
Lokaku	744	116,2	176,7	87,7		7,4	4,9	9,8		8,4	12,4	6,01		6	-226,3	417,9	-333,2	143,13	-0,30	0,56	-0,45	-1,6	2,9	-2,3	-26,9	33,6	-55,4
Marrasku	720	524,5	515,9	82,7		0,5	1,7	10,4		8,6	11,7	4,27		5	3033,9	4015,6	-380,4	171,76	4,21	5,58	-0,53	17,7	23,4	-2,2	352,8	344,1	-89,1
Jouluku	744	2414,5	240,9	85,2		0,4	3,6	10,1		8,3	13,5	4,2		5	18644,4	931,7	-363,4	171,76	25,02	1,25	-0,49	108,4	5,4	-2,1	2242,7	69,1	-86,5
																			128,6	588,3	33,3						750,2

Järkevän liiketoiminnan kannalta Helenillä ei ole intressejä itse omistaa näitä laitteita, kustantaa niiden asennus- ja käyttökustannuksia ja tehdä sitä työtä, joka kuuluisi asiakkaalle. Mielestäni vastuuta kj-laitteiston toiminnasta pitäisi palauttaa takaisin asiakkaalle. Asiakas voisi säästyä sopimusehtojen kohdan 7.13 maksulta kj-laitteiston virheellisestä toiminnasta käytöltä sillä, että joko itse selvittää, mistä huono lämpenemä johtuu, tekee tarvittavat korjaukset ja muutokset jäähdytysjärjestelmäänsä ja saattaa sen toimimaan sopimusehtojen mukaisesti tai esimerkiksi hankkii tässä työssä käsiteltävän etäohjattun virtauksensäätimen omalla kustannuksellaan. Tämä olisi minusta reilua kaikille osapuolille. Lopulta yksittäisten asiakkaiden tarpeettoman suuret virtausmäärät maksavat kaikki muutkin asiakkaat, kun tuotantokuluja siirretään asiakkaille, joten koko järjestelmän kannalta olisi järkevää ottaa kovemmat keinot käyttöön niiden osalta, jotka omalla toiminnallaan heikentävät tätä kokonaisuutta.

4.6 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkotutkimuksena voisi tehdä selvityksen siitä, kuinka monella nykyisellä asiakkaalla on tässä työssä esitettyjen ehtojen mukaisia kj-veden kulutuksia ja selvittää, millaiset

koko kj-verkostoa kattavat vaikutukset niillä on. Myös kulutustietohistoriaa voisi käydä läpi ja tutkia, kuinka monella asiakkaalla on ollut ongelmia kj-laitteistonsa kanssa, niin että siitä on syntynyt esimerkiksi merkittäviä pumppauskustannuksia Helenille. Kj-laitteistojen vikaherkkyyttä tulisi tarkastella, missä kohtaa kj-laitteiston elinkaarta vikoja esiintyy, jotta voitaisiin tehdä arvioita, millä todennäköisyydellä jokin kj-laitteisto vikaantuu niin, että virtaamat kasvavat suuriksi. Lisäksi voisi selvittää, millaisia kustannuksia ne aiheuttavat kj-tuotantolaitoksilla niin kaukojäähdytyksen kuin kaukolämmön tuotannon osalta. Näitä kuluja voisi verrata jonkin kj-verkon valvontaohjelman kuluihin, josta saisi nopeasti tiedon asiakkaiden kj-virtaamien ylityksistä ja tehdä niistä tarvittavat hälytykset esimerkiksi suoraan kiinteistön omistajalle. Tästä voisi kehittää jopa maksullisen palvelun asiakkaille.

Etäohjatussa virtauksensäätimessä on jatkuva verkkoyhteys, jota ei kuitenkaan käytetä kovin usein laitteen säätöjen asettamisessa. Ne laitetaan kuntoon laitteistoa virittäessä. Mahdollisuus kuitenkin varmaan olisi luoda näihin esimerkiksi kysynnän jouston sovelluksia, jolloin tarpeen tullen saataisiin tietty joukko asiakkaita joustamaan kaukojäähdytyksen kulutuksessa, oli syy sitten tuotantolaitoksen ongelmat tai muu kapasiteetin rajoittamisen tarve. Tämän tarvetta voisi arvioida ja laskea mahdollisen hyödyn energian myyjälle ja asiakkaalle.

Tulisiko puuttua kaukojäähdytyksen hinnoittelumalliin, jossa olisi vesikuutiomaksu yhtenä osana energiamaksua? Näin ollen asiakkaalla olisi ehkä suurempi intressi panostaa kj-veden virtaaman seuraamiseen ja kj-laitteiston kunnossapitoon. Helenin kj-mittareilta on saatavissa pulssilähtö asiakkaan rakennusautomaatioon liitettäväksi, jolla virtaamaa on mahdollista seurata.

5 Yhteenveto

Osalla Helen Oy:n kaukojäähdytysasiakkaista huomattiin suuria kj-veden virtaaman ylityksiä. Syytä ongelmiin ei perinteisin menetelmin löytynyt, joten ongelmiin tarjottiin ratkaisuksi Helenin kustantamaa etäohjattua virtauksensäädintä. Palvelun tarjoajan mukaan se huolehtii siitä, että kj-virtaamat eivät pääse kasvamaan yli sopimusvesivirtojen taaten samalla asiakkaalle sopimustehon saannin. Toiminta perustuu siihen, että jokaiselle jäähdytyspiirille asetetaan piirikohtainen kj-veden paluulämpötilan tavoitearvo, joka pyritään saavuttamaan kj-virtaamaa rajoittamalla. Laitteen asennuksen ja käyt-

tökustannukset näissä pilottikohteissa maksaa Helen Oy, jotta nähdään, miten palvelun tarjoajan ratkaisu toimii.

Tavoitteena oli tutkia, miten etäohjatut virtauksensäätimet ovat toimineet ja onko niiden asennuksilla saatu merkittäviä hyötyjä yksittäisten asiakkaiden kj-laitteiston ja kj-verkon toiminnan kannalta. Lisäksi tavoitteena on saada ohjeistus siihen, miten asennuksien kanssa tulevaisuudessa toimitaan. Tavoitteena oli myös tutkia, mitä ohjeistusta on olemassa liittyen asiakkaan kj-laitteistojen toimintaan ja lämpenemään.

Pilottiasennuksista kerättiin 12 asiakkaalta dataa ja tutkittiin, miten laite on toiminut. Asiakkaiden keskimääräistä lämpenemää ja kulutettuja vesikuutioita vertailtiin etäohjatun virtauksensäätimen asennuksen edeltävältä ja sen jälkeiseltä vuodelta. Osassa se on pienentänyt virtaamia ja nostanut keskimääräistä jäähtymää; osassa tulokset ovat jääneet heikommiksi. Näiden kohteiden pohjalta, jotka toimivat hyvin, tehtiin määrytykset, millaisiin kohteisiin niitä jatkossa tarjotaan. Lisäksi tutkittiin, millaisia kuluja huonosti toimivat kohteet Helenille aiheuttavat pumppauskustannusten, myymättä jäävän sopimustehon ja kuukausittaisten sopimusmaksujen osalta. Sopimusehdoista, määräyksistä ja ohjeista tutkittiin, miten niissä pyritään puuttumaan huonosti toimiviin kj-laitteistoihin suunnittelun, toteutuksen kuin käytönkin osalta.

Tuloksena saatiin määritettyä ohjeet, millaisille asiakkaille etäohjattua virtauksensäädintä tulevaisuudessa kannattaa tarjota. Opittiin, ettei laitteisto ole aina toiminut laite-toimittajan toimintakuvauksen mukaan, vaan muutamissa kohteissa on havaittu lämpenemässä puutteita. Havaittiin, että suurella osalla pientehoisista pilottiasiakkaista hyödyt olivat jopa negatiivisia tai niin pieniä, ettei niille kannata laitteiston asennusta edes jatkossa tarjota. Osalla tulokset olivat hyviä. Suurin yksittäisen asiakkaan veden kulutuksen säästö oli yli 710 000 m³/a. Kannattavuustehorajaksi valittiin 200 kW ja määritettiin kaava, jolla ylimääräistä vedenkulutusta voi asiakaskohtaisesti arvioida. Lisäksi laskettiin laitteiston asennuksien säästämän vesivirran kautta, että verkostosta vapautuu 1,8 MW:n lisämyyntipotentiaali virtauksien pienentymisen kautta. Opinnäytetyössä pohdittiin vastuun siirtämistä kj-veden lämpenemästä ja virtaamista takaisin asiakkaalle. Opinnäytetyössä esitetyillä esimerkkilaskelmilla pystytään osoittamaan, millaisia kustannuksia siitä voi koitua asiakkaalle itselleen ja Helenille.

Lähteet

- 1 Kukkonen, Esko. Sisäilmaluokitusta uudistettiin. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020303.pdf>>. Luettu 8.9.2019.
- 2 Vinha, Juha; Laukkarinen, Anssi; Mäkitalo Mikael; Nurmi, Sakari; Huttunen, Peteri; Pakkanen, Tomi; Kero, Paavo; Manelius, Elina; Lahdensivu, Jukka; Köliö, Arto; Lahdesmäki, Kimmo; Piironen, Jarkko; Kuhno, Vesa; Pirinen, Matti; Aaltonen, Anu; Suonketo, Jommi; Jokisalo, Juha; Teriö, Olli; Koskenvesa, Anssi & Palolah-ti, Tuomas. 2013. Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/frame-loppuraportti.pdf>>. Luettu 25.1.2020.
- 3 Galkin-Aalto ym. 2019. Toimintakertomus 2018. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/vuosikertomus/vuosikertomus-2018/tilinp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s/toimintakertomus/>>. Luettu 14.9.2019.
- 4 Wilhelms, Taina. 2017. Kaukojäähdytyksessä ennätysmyynti viime vuonna. Verkkoaineisto. Helen Oy. <https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukojaahdytyksessa_ennatysmyynti_viime_vuonna.html>. Luettu 8.9.2019.
- 5 Näin jäähdytys toimii. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/kaukojaahdytys/kodit-ja-yritykset/nain-jaahdytys-toimii>>. Luettu 19.1.2020.
- 6 Aaltonen, Juhani. 2015. Kaukojäähdytyksen kysyntä jatkaa vauhdikasta kasvuun. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yritys/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2015/kaukojaahdytys-laajenee-helsingissa>>. Luettu 26.1.2020.
- 7 Juvonen, Anssi. 2020. Hiilineutraalin jäähdytyksen avulla lähemmäs päästövähennystavoitteita. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2020/hiilineutraali-jaahdytys>>. Luettu 20.8.2020.
- 8 Hukkalämpö talteen Katri Valan lämpöpumppulaitoksessa. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/voimalaitokset/katri-vala>>. Luettu 23.8.2020.
- 9 Hakala, Karoliina. 2017. Selvitys kaukojäähdytyksen paluulämpötilan rajoittamisen kannattavuudesta Helsingin kaukojäähdytysverkossa. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Helsinki.

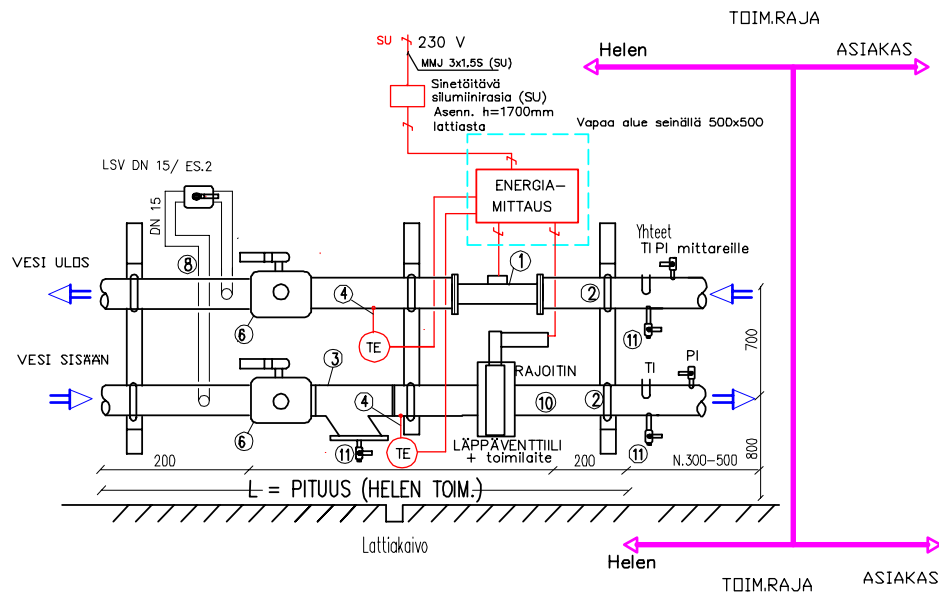
- 10 Koskelainen, Lasse, Saarela, Rauli & Sipilä, Kari. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry.
- 11 Kaukojäähdytyksen järjestelmäopas. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/globalassets/jaahdytys/ammattilaiset/kaukojaahdytys-2017/jarjestelmaopas.pdf>> Luettu 26.2.2020.
- 12 Helenille energia-alan Oscar-palkinto. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2015/helenille-energia-alan-oscar-palkinto>>. Luettu 7.9.2020.
- 13 Kaukojäähdytystilasto. Päivitetty 29.5.2018. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/files/3871/Kj-tilasto2018.xlsx>>. Luettu 23.2.2020.
- 14 Uusitalo, Seija. 2018. Helsinkiin rakennetaan jälleen uusi lämpöpumppu. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2018/uusilampopumppu>>. Luettu 25.1.2020.
- 15 Esplanadin lämpöpumppulaitos. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/voimalaitokset/esplanadin-l%C3%A4mp%C3%B6pumppulaitos>> Luettu 28.1.2020.
- 16 Energiantuotanto. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/energiantuotanto2>> Luettu 23.8.2020.
- 17 Laitinen Ari, Rämä Miika ja Airaksinen Miimu. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. Verkkoaineisto. VTT. <https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf>. Luettu 26.2.2020.
- 18 Ilmastointi ja jäähdytys. Viihtyisä työympäristö. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/11023/Viihtyisa_tyoymparisto_Ilmastointi_ja_jaahdytys_2016.pdf> Luettu 4.9.2020.
- 19 Kotilainen, Samuli. 2015. Huipputehokasta energian kierrätystä. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/ajankohtaista/arjessa/kaukojaahdytys/huipputehokasta-energiankierratysta>>. Luettu 7.9.2020.
- 20 Logstor kaukolämpökäsikirja. 2015. Verkkoaineisto. Logstor Oy. <<https://www.logstor.com/media/1987/kaukol%C3%A9mp%C3%B4k%C3%A9sikirja-2015.pdf>>. Luettu 6.9.2020.
- 21 Kaukolämmön kiertoveden käsittely. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/840/SuositusKK3_2007_Kaukolammon_kiertoveden_kasittely.pdf>. Luettu 8.4.2020.

- 22 Ripatti, Harri; ym. Puhtaan ilmanvaihdon suunnitteluohje, 3. korjattu painos. Sisäilmayhdistys. 2002.
- 23 Laine, Markus. 2016. Ilmastoinnin vesikiertoisien jäähdytysjärjestelmien optimointi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.
- 24 Adriatic VF. Verkkoaineisto. Swegon Oy. <<https://www.swegon.com/globalassets/5-products/waterborne-climate-systems/climate-beams/adriatic-productimage.jpg?v=1589357801&width=805&height=576&mode=min>>. Luettu 10.9.2020.
- 25 Muut lamellituotteet. Ilmastoinnin jäähdytyspatteri. Verkkoaineisto. Coolline Oy. <<https://www.cooltrade.fi/wp-content/uploads/2017/12/Lamellipatteri-LeelCoils-570x380.jpg>>. Luettu 10.9.2020.
- 26 Brezza kasettikonvektori. Verkkoaineisto. Swegon Oy. <<https://www.swegon.com/globalassets/5-products/grobklima/geblasekonvektoren/wka-mit-wkasb1.jpg?v=1537449160&width=805&height=576&mode=min>>. Luettu 10.9.2020.
- 27 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien yleisarviointi. 2016. Verkkoaineisto. SuLVI Ry. <<https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2017/05/IVKT-2016-Ohje-2-Ilmanvaihto-ja-ilmastointij%C3%A4rjestelm%C3%A4n-yleisarviointi.pdf>>. Luettu 14.9.2020.
- 28 Lattiaviilennys – edullinen ja miellyttävä tapa viilentää kerrostalokoti. 2019. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/ajankohtaista/arjessa/kaukojaahdytys/lattiaviilennys>>. Luettu 15.9.2020.
- 29 Uponor -lattiaviilennys. 2013. Verkkoaineisto. Uponor Oy. <https://issuu.com/uponorfi/docs/uponor_lattiaviilennys_esite_netii>. Luettu 19.10.2020.
- 30 Tekninen tiedote. Lattialämmitys/-jäähdytysjärjestelmät. 2012. Verkkoaineisto. Oy Rehau Ab. <<https://www.rehau.com/download/794552/lattialammitys-ja-jaahdytysjarjestelmat-tekninen-tiedote.pdf>>. Luettu 15.9.2020.
- 31 Gebwell G-Power kaukojäähdytyskeskus. 2019. Verkkoaineisto. Gebwell Oy. <<https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/07/Gebwell-G-Power-kaukojaahdytyskeskus.pdf>>. Luettu 17.9.2020.
- 32 Rakennusten kaukojäähdytys. Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. Julkaisu J1/2014. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/450/RakennustenKaukojaahdytys_JulkaisuJ1_2014.pdf>. Luettu 2.2.2020.

- 33 Tiivisteelliset levylämmönvaihtimet. Verkkoaineisto. Alfa Laval Oy. <<https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/gasketed-plate-and-frame-heat-exchangers/frontline/instruction-manual-frontline-fi.pdf>>. Luettu 15.9.2020.
- 34 Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. 2013. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/502/JulkaistuK1_2013_20140509.pdf>. Luettu 2.9.2020.
- 35 Säätoventtiilit. Verkkoaineisto. Oy Sääto Ab. <<https://saato.fi/tuote-kategoria/saatoventtiilit/>>. Luettu 21.9.2020.
- 36 Magna 3. Verkkoaineisto. Grundfos Oy. <<https://net.grundfos.com/Apply/ccmsservices/public/literature/filedata/Grundfosliterature-4609587.pdf>>. Luettu 22.9.2020.
- 37 Karppo, Ari-Pekka. 2020. Founder. Residentia Oy. Helsinki. Sähköpostikeskustelu 12-25.3.2020.
- 38 Energiatehokas lämmönsiirto. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf>. Luettu 24.9.2020.
- 39 Kaukojäähdytyksen yleiset sopimus- ja myyntiehdot. 2009. Helsinki. Helen Oy.
- 40 Rakennuksen kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. 2019. Julkaisu K1/2019. Lausuntoversio 1.10.2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/4054/JulkaistuK1_2019_Lausuntoversio_Vertailumerkinnat_20191001.pdf>. Luettu 15.10.2020.
- 41 Juvonen, Anssi. 2020. Tuoteryhmäpäällikkö. Helen Oy. Keskustelu 15.10.2020.
- 42 Alén, Marko. 2020. Tekninen aluepäällikkö. Helen Oy. Keskustelu 21.10.2020.

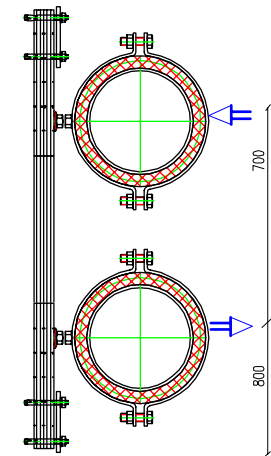
MITTAUSKESKUS DN 50/80/100/150 rajoittimella

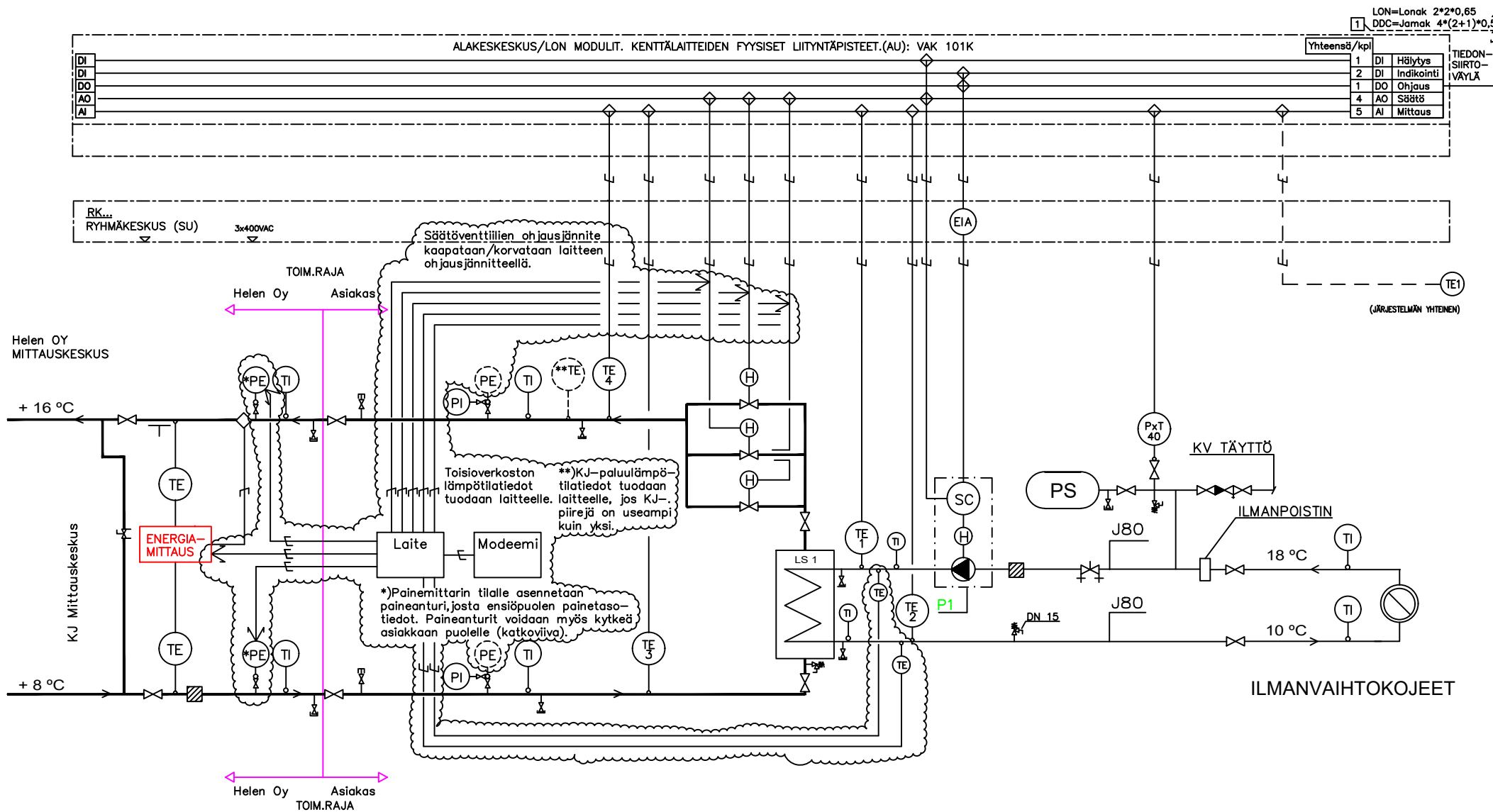
PAKETTIKESKUS sis. keskuksen eristyksen +19mm solukumilla + kannakoinnin ja seinäripustustarvikkeet



Putkistomateriaali Fe37
pohjamaalaus FERREX-maalilla
+19mm Solukumi

DN		50	80	100	150
Sopimusvesivirta	m ³ /h	0-30	31-80	81-200	201-400
Jäähdytysteho	kW	0-280	280-750	750-1800	1800-4600
1 Virtausanturi	DN	50	80	100	150
1 Virtausanturi	L	270	300	360	500
1 Virtausanturi	PN	25	25	25	25
2 Kannake	kpl	6	6	6	6
3 Lianerotin	L	220	260	290	300
4 Lämpötila-anturitasku	kpl	2	2	2	2
6 Palloventtiili	L	300	300	325	350
W-auk.pallo(LSV)venttiili	DN	50	80	100	150
8 YHTEET Kiertolenkki	DN	15	15	15	15
10 Suora putki	L	300	300	360	500
11 Tyhjennys	DN	15	20	25	25
PITUUS MK (HELEN TOIM.)	L	n. 1700	n. 1800	n. 2000	n. 2500





	Tammikuu 2017				Helmikuu 2017				Maaliskuu 2017				Huhtikuu 2017			
	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
1	100,3	7,5	11526	114,9	97,4	7,6	10946	112,4	108,0	6,7	13898	128,7	107,8	6,9	13476	125,0
2	8,9	1,4	5342	600,2	8,4	1,5	4769	567,7	10,5	1,7	4927	469,2	9	1,5	5126	569,6
3	9,8	6,8	1231	125,6	8,6	7	1062	123,5	10,1	6,6	1320	130,7	9,2	7	1125	122,3
4	3,6	3,1	1005	279,2	3,6	3,2	976	271,1	3,9	3,2	1049	269,0	4,7	0,4	9559	2033,8
5	54	3,8	12102	224,1	50,2	3,8	11321	225,5	53,9	3,6	12762	236,8	49,4	3,9	10925	221,2
6	ei mittadataa															
7	13,9	0,1	84000	6043,2	13,1	0,2	74772	5707,8	15,4	0,2	66409	4312,3	14,9	0,3	36620	2457,7
8	0,7	9	67	95,7	1,1	7,1	133	120,9	1,1	2,2	428	389,1	2,8	5,7	421	150,4
9	0,2	0,7	238	1190,0	0,1	0,4	209	2090,0	0,2	0,8	225	1125,0	0,2	0,8	228	1140,0
10	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
11	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,1	21,5	4	40,0
12	11	0,3	37209	3382,6	7,4	0,2	32246	4357,6	19,1	0,4	39928	2090,5	31,5	0,6	43430	1378,7

Toukokuu 2017				Kesäkuu 2017				Heinäkuu 2017				Elokuu 2017			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
122,0	7,3	14278	117,0	160,0	1,9	72467	452,9	192,6	2,0	81076	421,0	198,8	2,7	63568	319,8
10,8	1,7	5488	508,1	13,9	2	5909	425,1	16,4	2	6894	420,4	18,6	2,4	6617	355,8
10,7	6,7	1376	128,6	11,7	6,9	1464	125,1	11	8	1187	107,9	11,6	9	1102	95,0
4,6	0,4	10997	2390,7	8,7	0,6	11526	1324,8	12,8	0,8	12960	1012,5	13,9	1,1	10837	779,6
58,5	3,8	13314	227,6	72,2	2,8	21898	303,3	76,9	3,2	20499	266,6	79,4	2,6	25814	325,1
				10,23	8,6	1016,9	99,4	9,69	8,8	949,7	98,0	11,27	6,6	1460,1	129,6
14,3	0,9	14122	987,6	18,5	1,2	13686	739,8	21,1	1,9	9678	458,7	29,6	1,5	16503	557,5
10,9	4,1	2277	208,9	28,9	6,6	3768	130,4	53,4	6,6	6959	130,3	78,6	6	11286	143,6
0,8	0	0	0,0	3,3	0	78574	23810,3	5,8	3,8	1307	225,3	6	4,1	1244	207,3
1	0	1	1,0	1,3	0,2	59546	45804,6	2,3	0,7	2917	1268,3	2,1	0,8	2384	1135,2
1,8	7,8	198	110,0	3,1	8,3	321	103,5	4,1	9,9	357	87,1	4,5	8,8	437	97,1
79,8	1,1	61812	774,6	83,2	1,1	66539	799,7	107	1,3	68745	642,5	118,3	1,3	80600	681,3

Syyskuu 2017				Lokakuu 2017				Marraskuu 2017				Joulukuu 2017			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
103,2	1,0	85663	830,1	90,3	3,8	20294	224,7	79,4	1,3	52501	661,2	83,0	9,3	7701	92,8
11,1	1,5	6343	571,4	10,3	1,3	6567	637,6	9,4	1,4	5906	628,3	8,9	1,3	5999	674,0
9,8	7,1	1178	120,2	8,4	7,4	976	116,2	8,6	0,5	4511	524,5	8,3	0,4	20040	2414,5
3,9	4,2	801	205,4	3,3	4	709	214,8	3,2	3,8	722	225,6	3,3	3,8	753	228,2
53,7	4,2	13274	247,2	53,7	5,9	7769	144,7	53,1	6	7609	143,3	65,2	6,4	8797	134,9
5,04	9,7	446,4	88,6	5,71	10,1	485,6	85,0	5,53	10,5	541,6	97,9	5,08	0,8	5142,2	1012,2
14,8	0,2	69518	4697,2	14,7	0,1	94559	6432,6	18,1	0,2	89563	4948,2	16,9	0,2	91980	5442,6
25,2	3,6	5947	236,0	9,4	4,7	1725	183,5	4,8	5,9	694	144,6	0,8	5,5	125	156,3
0,8	0,2	4354	5442,5	2	0,3	578	289,0	0,3	0,8	322	1073,3	0,2	0,6	299	1495,0
0,1	0,2	545	5450,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
1,2	7,1	145	120,8	0,2	9	19	95,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0
89,7	1	78230	872,1	50,9	0,8	55659	1093,5	20,7	0,4	43530	2102,9	19,1	0,4	44384	2323,8

Tammikuu 2018				Helmikuu 2018				Maaliskuu 2018				Huhtikuu 2018			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
98,4	8,2	10364	105,3	104,8	7,6	11900	113,5	107,4	6,8	13495	125,7	112,0	7,0	13666	122,0
9,5	1,4	5824	613,1	8,6	1,4	5307	617,1	9,5	1,4	5903	621,4	8,1	1,2	5999	740,6
8,4	0,4	19993	2380,1	7,6	0,4	18053	2375,4	8,8	0,4	19946	2266,6	9,6	0,4	20228	2107,1
3,2	3,4	805	251,6	2,9	2,9	713	245,9	3,1	3,2	837	270,0	3,1	3,6	737	237,7
70,6	5,9	10220	144,8	62,3	5,7	9372	150,4	75	5,5	11705	156,1	63,7	5,8	10026	157,4
5,15	0,6	6909,4	1341,6	4,5	10,7	360,9	80,2	5,73	10,4	472,3	82,4	6,27	9,6	558,3	89,0
17,1	0,2	86804	5076,3	14,8	0,2	75759	5118,9	15,9	0,2	87156	5481,5	17,7	0,2	81195	4587,3
0,4	8,2	42	105,0	0,4	16,4	21	52,5	0,4	9	38	95,0	1,4	0,6	2167	1547,9
0,2	0,6	289	1445,0	0,2	0,7	263	1315,0	0,2	0,6	289	1445,0	0,2	0,6	585	2925,0
0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	3	0,0
0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,1	0,2	555	5550,0
18,7	0,4	43165	2308,3	18	0,3	45647	2535,9	23,9	0,2	83161	3479,5	40,1	0,4	81113	2022,8

Toukokuu 2018				Kesäkuu 2018				Heinäkuu 2018				Elokuu 2018			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
225,9	3,7	52716	233,4	182,3	1,8	88318	484,5	435,1	4,4	84540	194,3	335,7	3,3	86874	258,8
15,9	2,1	6434	404,7	15,0	1,8	7106	473,7	45,4	5,1	7674	169,0	30,3	3,8	6876	226,9
14,4	0,6	1881	130,6	10,9	0,4	3694	338,9	27,7	0,9	5181	187,0	23,7	0,9	6822	287,8
14,7	2,4	5159	351,0	12,8	3,9	2836	221,6	32,2	3,4	8044	249,8	24,5	3,4	4910	200,4
92,8	3	26649	287,2	91,3	3,3	19608	214,8	159,4	2,9	47755	299,6	121,8	3,3	31819	261,2
11,38	4	2472	217,2	8,8	3,3	2312	262,7	24,94	3,9	5539	222,1	17,48	6,6	2811	160,8
9,3	0	31225	3357,5	16,2	0	17382	1073,0	90,9	6,6	11848	130,3	57,3	6,4	7736	135,0
61,4	2,5	21183	345,0	56,4	2,9	16690	295,9	196,7	6	27996	142,3	125,8	3,5	30493	242,4
6,2	3	1804	291,0	5	0,9	5030	1006,0	28,2	8	3032	107,5	14,6	7,5	2298	157,4
3,7	6,5	487	131,6	2,7	1,4	1635	605,6	19,5	11,3	1487	76,3	10,8	8	1956	181,1
3,3	0,9	3144	952,7	3	0,7	3520	1173,3	4,2	1	3731	888,3	4,7	1,1	3744	796,6
121,1	1,2	83729	691,4	98,6	1	82138	833,0	330,3	4	75420	228,3	231,2	6,9	28878	124,9

Syyskuu 2018				Lokakuu 2018				Marraskuu 2018				Joulukuu 2018			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
157,2	1,4	95874	609,9	103,5	1,2	77620	750,0	81,2	1,4	49673	611,7	72,2	1,3	49069	679,6
12,9	1,9	5731	444,3	10,6	3,2	2836	267,3	8,4	2,7	2657,5	316,4	5,1	2,2	1940,9	382,8
13,8	1,3	5020	363,8	12,43	4,9	2197	176,7	11,67	1,7	6020	515,9	13,48	3,6	3247	240,9
6,9	3,9	1512	219,1	3,2	2	1408	440,0	3,4	1,3	2261	665,0	3,5	1,6	1899	542,6
66	3,8	15069	228,3	59,3	3,2	21212	357,7	48,1	3,5	13470	280,0	41,9	5	7268	173,5
6,6	5,8	972	147,3	4,7	9,4	428	91,1	4,8	9,9	418	87,1	4,64	9,5	418	90,1
10,4	5,5	1614	155,2	5	3,3	1315	263,0	5,1	2,6	1655	324,5	6,9	3,2	1860	269,6
41,7	2,8	14583	349,7	5	2	2143	428,6	0,7	0,3	2027	2895,7	0,6	0,3	1771	2951,7
2,4	0,9	2216	923,3	0,3	0,1	1744	5813,3	0,3	0,2	1252	4173,3	0	0	0	0,0
2,1	1,4	1267	603,3	0,1	0,1	1478	14780,0	0,1	0,1	1428	14280,0	0,1	0,1	1208	12080,0
1,3	0,4	3180	2446,2	0,2	0,1	1463	7315,0	0	0	132	0,0	0	0	1	0,0
78,6	5,7	11894	151,3	57,1	4,9	10049	176,0	52	3,2	13902	267,3	52,3	3,2	13841	264,6

Tammikuu 2019				Helmikuu 2019				Maaliskuu 2019				Huhtikuu 2019			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
67,6	1,2	48365	715,5	56,9	1,0	42683	750,1	57,7	5,4	9177	159,0	75,9	0,7	89874	1184,1
5,3	2,3	2037	381,5	5,05	2,2	1935,6	383,3	5,09	2,2	1946,3	382,4	7,59	2,8	2326,6	306,5
12,22	4,8	2177	178,2	12,33	4,8	2185	177,2	13,65	4,9	2394	175,4	13,54	4,9	2366	174,7
3,4	1,8	1612	474,1	2,9	1,5	1631	562,4	3,5	1,4	2219	634,0	3,5	1,1	2675	764,3
46,5	5	8060	173,3	47,3	5	8138	172,1	49,8	5	8617	173,0	59,5	5,3	9566	160,8
5,06	9,3	466	92,1	4,67	9,5	422	90,4	5,23	9,9	454	86,8	5,7	7,9	617	108,2
5,5	2,7	1736	315,6	4,2	2,6	1381	328,8	4,2	2,5	1418	337,6	5,9	2,9	1736	294,2
0,8	0,4	1779	2223,8	0,9	0,5	1596	1773,3	1,1	0,5	1844	1676,4	4,5	1,6	2386	530,2
0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,2	0,2	831	4155,0	0,3	0,3	797	2656,7
0,1	0,1	1052	10520,0	0,1	0,1	991	9910,0	0	0	1099	1099,0	0,2	0,2	1079	5395,0
0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,318	0,5	594	1867,9	0,506	0,6	698	1379,4
51,1	3,3	13479	263,8	42,6	3,1	11729	275,3	54,6	3,2	14595	267,3	74	3,4	18717	252,9

Toukokuu 2019				Kesäkuu 2019				Heinäkuu 2019				Elokuu 2019			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
114,7	1,9	51738	451,1	222,0	6,3	30378	136,8	255,0	7,3	30056	117,9	203,8	7,5	23488	115,3
10,29	3,6	2458,9	239,0	20,75	5,6	3189,4	153,7	36,19	6,4	4891	135,1	43,2	6,2	5974,9	138,3
14	4,9	2459	175,6	16,1	5,5	2496	155,0	15,18	5,9	2192	144,4	13,16	4,4	2569	195,2
7,1	1,7	3497	492,5	18,4	3,5	4582	249,0	19,1	4,5	3619	189,5	17,6	4,5	3371	191,5
64,5	4	13778	213,6	96,7	3,6	22896	236,8	87,3	5,8	12993	148,8	81,7	2,9	24487	299,7
7,33	7,1	886	120,9	12,96	6,6	1697	130,9	13,18	7,2	1570	119,1	12,17	9,1	1154	94,8
12,2	3,4	3089	253,2	39,9	6,5	5278	132,3	39	6,7	5015	128,6	29,4	6,5	3912	133,1
20,4	3,5	4965	243,4	81,6	6	11731	143,8	99,5	6,6	12922	129,9	91	6,7	11711	128,7
1,6	1,5	906	566,3	9,1	4,9	1606	176,5	12,9	5,9	1884	146,0	6,1	4,6	1132	185,6
1	0,9	981	981,0	5,6	4,1	1164	207,9	9	4,9	1575	175,0	5,4	4,2	1101	203,9
1,275	1,5	751	589,0	3,561	6,2	495	139,0	3,677	9,2	345	93,8	4,126	10,3	344	83,4
104	4,2	21108	203,0	194	5,9	28243	145,6	227,8	6,9	28352	124,5	227,4	6,5	30222	132,9

Syyskuu 2019				Lokakuu 2019				Marraskuu 2019				Joulukuu 2019			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
123,9	4,1	25992	209,8	60,4	4,5	11571	191,6	52,9	5,6	8126,0	153,6	68,4	4,1	14289	208,9
21,79	5,3	3519,8	161,5	16,66	4,9	2923,9	175,5	14,3	4,8	2592,8	180,9	12,25	4,6	2270,2	185,3
8,53	8,5	866	101,5	6,01	9,8	527	87,7	4,3	10,4	353	82,7	4,2	10,1	358	85,2
7,5	3,6	1770	236,0	3,2	3,5	781	244,1	3,1	3,4	776	250,3	3,2	3,4	819	255,9
69,6	3,5	17055	245,0	61,3	4,9	10786	176,0	51,5	4,5	9833	190,9	49,7	4,5	9531	191,8
8,46	7	1034	122,2	7,87	5,9	1150	146,1	7,8	5,9	1144	146,9	7,1	2,1	2925	412,0
9,9	5	1718	173,5	4,2	3,1	1157	275,5	3,8	2,9	1110	292,1	3,5	2,7	1132	323,4
37,5	5,5	5899	157,3	9,1	1,9	4225	464,3	12,0	1	9946	828,8	8,6	1,2	6329	735,9
1,3	1,4	782	601,5	0,2	0,2	763	3815,0	0,3	0,3	741	2470,0	0,2	0,2	763	3815,0
1,3	1,3	848	652,3	0,1	0,1	824	8240,0	0,1	0,1	803	8030,0	0,1	0,1	826	8260,0
1,748	3,7	411	235,1	0,384	0,5	697	1815,1	0,4	0,5	673	1823,8	0,371	0,5	698	1881,4
115,3	5,9	16825	145,9	51,7	4,8	9351	180,9	32,4	4	7434	229,4	41,6	4,6	7801	187,5

Tammikuu 2020				Helmikuu 2020				Maaliskuu 2020				Huhtikuu 2020			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
66,4	4,1	10828	163,1	61,9	5,2	10267,0	165,9	71,9	5,3	11708,0	162,8	70,2	5,3	11365,0	161,9
13,6	4,4	2648,7	194,8	11,73	4,3	2352,9	200,6	12,42	4,3	2470,7	198,9	11,24	4,4	2194,3	195,2
4,3	9,7	383,2	88,3	4,23	9,8	371,5	87,8	3,8	10	325,5	85,7	3,13	9,4	286,6	91,6
3,3	3	937	283,9	2,9	2,8	896	309,0	3,1	2,5	1085	350,0	3	2,4	1053	351,0
50,1	4,2	10314	205,9	46,8	4,2	9592	205,0	51,9	4,6	9800	188,8	40,1	4,1	8418	209,9
7,4	1,9	3309,3	446,6	6,98	1,8	3340,1	478,5	7	2,5	2373,9	339,1	6,38	2,5	2160,7	338,7
3,7	2,7	1179	318,6	3,3	2,8	1031	312,4	3,8	2,8	1159	305,0	3,8	4	928,44	244,3
9,3	1,3	6228	669,7	7,1	1,1	5803	817,3	7,5	1,1	5996	799,5	5,7	2,5	1944	341,1
0,2	0,2	763	3815,0	0,2	0,2	714	3570,0	0,2	0,4	466	2330,0	0,2	0,4	432	2160,0
0,1	0,1	830	8300,0	0,1	0,1	776	7760,0	0	0	693	693,0	0,1	0,2	413	4130,0
0,4	0,4	698,53	1990,1	0,332	0,4	651,46	1962,2	0,357	0,4	684,84	1918,3	0,334	0,4	671	2009,0
43,1	4,7	7892	183,1	45,2	2,4	15925	352,3	36,9	1,8	17304	468,9	10,2	2,2	3895	381,9

Toukokuu 2020				Kesäkuu 2020				Heinäkuu 2020				Elokuu 2020			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh	MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
92,5	5,1	15596,0	168,6	195,7	5,1	32848,0	167,8	276,4	6,1	39032,0	141,2	230,2	6,2	32036,0	139,2
12,44	4,6	2342,5	188,3	39,24	6,3	5388,6	137,3	27,5	5,8	4083,2	148,5	30,55	5,7	4635	151,7
4,71	10,2	396,1	84,1	12,29	9,8	1074,7	87,4	9,14	9,9	791,5	86,6	12,5	9,1	1174,3	93,9
3,3	2,6	1109	336,1	13,4	4,1	2779	207,4	12,4	4,2	2895	233,5	12,4	4	2658	214,4
49,4	4,2	10006	202,6	88,8	3,3	23342	262,9	70,2	3,6	16784	239,1	78,7	3,9	17437	221,6
7,22	2,7	2316,3	320,8	12,75	3,2	3475,6	272,6	9,68	3	2816,9	291,0	10,43	4	2263,4	217,0
5,579	4	1417,04	254,0	39,212	7,6	4415,44	112,6	20,654	7	2521,95	122,1	30,718	7,8	3370,06	109,7
12,1	4,4	2341	193,5	114,4	7,4	13354	116,7	79,2	7,3	9282	117,2	102,8	7,4	11902	115,8
0,6	1,1	462	770,0	6,9	5,8	1022	148,1	4,2	4,7	770	183,3	3,5	4,6	657	187,7
0,7	1,2	493	704,3	9,8	5,3	1580	161,2	2,5	1,8	1171	468,4	4,9	2,3	1827	372,9
1,438	1,7	721,33	501,6	4,903	8,1	517,69	105,6	3,807	13,9	234,63	61,6	3,421	13,7	214,02	62,6
25,8	3,9	5680	220,2	166,6	7	20314	121,9	149,5	6,8	18976	126,9	152,2	6,8	19189	126,1

Syyskuu 2020			
MWh	ΔT	m ³	m ³ /MWh
115,8	6,2	16018,0	138,3
15,29	5,1	2589,6	169,4
6,76	10,8	536,9	79,4
3,7	2,6	1205	325,7
59	4,8	10651	180,5
6,35	3,7	1462,9	230,4
4,516	7	553,61	122,6
33,2	6,9	4105	123,6
0,6	1,2	445	741,7
0,3	0,5	524	1746,7
1,223	10	104,78	85,7
49,6	5,3	8065	162,6

