



# Älykkäiden kaukolämmön lämmönsäätöpalveluiden hyödyt kiinteistönomistajalle

Perttu Miettinen

OPINNÄYTETYÖ  
Joulukuu 2019

Talotekniikka YAMK

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka YAMK

MIETTINEN, PERTTU

Älykkäiden kaukolämmön lämmönsäätöpalveluiden hyödyt kiinteistönomistajalle

Opinnäytetyö 75 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Joulukuu 2019

---

Tässä opinnäytetyössä keskitytään kaukolämmitettyjen rakennusten älykkäiden lämmönsäätöjärjestelmien tutkimiseen. Säättöjärjestelmien hyötyjä ja haittoja tutkitaan kiinteistön omistajan näkökulmasta ja arvioidaan niiden vaikutuksia energian kulutukseen, kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin. Työssä selvitetään myös järjestelmien pilvipalveluiden toimintaa kiinteistön ylläpidosta vastaavien henkilöiden työkaluna.

Työssä selvitettiin Y-Säätiön esimerkkikiinteistöjen avulla säättöjärjestelmien tuottamia kulutussäästöjä sekä rahallisia säästöjä elinkaarilaskelman muodossa. Kulutussäästöjen perusteella laskettiin kiinteistöjen lämmitykseen kohdistuvien hiilidioksidipäästöjen muutoksia.

Säättöjärjestelmien pilvipalvelujen käyttöä kiinteistöjen isännöinnin työkaluna selvitettiin Y-Säätiön isännöitsijöille ja teknisille isännöitsijöille lähetetyn kyselyn perusteella. Työssä tutkittiin myös anturoitujen asuntojen lämpötilakäyttäytymistä ja sen hyödyntämistä kiinteistön ylläpidossa.

Työn lopputuloksen voidaan todeta, että säättöjärjestelmistä on hyötyä kiinteistöjen energiankulutuksen optimoinnissa ja melko edullisena investointina niitä voidaan pitää myös hyvänä sijoituksena. Energiatehokkuustoimenpiteenä säättöjärjestelmistä on hyötyä energiategokkuussopimusten tavoitteiden täyttämiseksi. Kyselyn perusteella järjestelmien pilvipalveluita voidaan pitää hyödyllisinä työkaluina kiinteistöjen ylläpidossa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Building services Master's degree

MIETTINEN, PERTTU:  
Benefits for the Property Owner with Intelligent District Heating Services

Bachelor's thesis 75 pages, appendices 3 pages  
December 2019

---

This thesis focuses on the research of intelligent heat-saving systems in district heating buildings. The benefits and drawbacks of control systems are being explored from the perspective of property owners and their assessment of the resulting energy consumption, costs and carbon dioxide emissions. The work also explores the fact that systems cloud services remain a tool for those in charge of maintenance.

With the Y-Foundation's exemplary properties, consumption savings from control systems as well as financial adjustments in the form of life-cycle calculations. Between consumption savings, changes in carbon dioxide emissions from property heating were calculated.

For use with cloud computing systems as a property management tool, sel-v uses a survey sent to the Y-Foundation's property managers and technical property managers. The research also investigated the temperature behavior of sensed dwellings and its utilization in property maintenance.

The end result of the work must be to determine when a savings system is beneficial in optimizing fixed energy consumption and a relatively inexpensive investment can be considered a good investment. As an energy efficiency measure, control systems will benefit from the objectives of the energy performance contracting. Polling systems cloud services are considered useful tools for property maintenance.

---

Key words: district heating, control system, energy consumption, indoor temperature

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	ENERGIATEHOKKUUSTOIMINNAN TAUSTAT .....	7
2.1	Energiatehokkuusdirektiivi .....	7
2.2	Energiatehokkuusdirektiivin vaikutus Suomessa.....	8
2.2.1	Energiatehokkuussopimukset.....	9
2.2.2	Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset .....	10
3	KAUKOLÄMPÖ KIINTEISTÖISSÄ.....	11
3.1	Käyttö.....	11
3.2	Historia .....	13
3.3	Tulevaisuus.....	13
3.3.1	Kaukolämmön kysynnänjousto ja älykkäät säätöjärjestelmät .....	15
3.3.2	Kustannusten kehitys .....	18
4	LÄMPÖTILATUNTEMUS JA SISÄILMAOLOSUHTEET .....	20
4.1	Ihmisen lämpötilatuntemus .....	20
4.2	Asunnon sisäilmaolosuhteet .....	21
5	KAUKOLÄMMÖN ÄLYKKÄIDEN SÄÄTÖJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖ VUOKRATALOYHTIÖSSÄ .....	23
5.1	Järjestelmien esittely.....	23
5.1.1	Tietoturva .....	25
5.2	Esimerkkikohteiden esittely.....	26
5.3	Isännöinnin työkaluna .....	30
5.3.1	Kysely älykkäistä lämmönsäätöjärjestelmistä.....	30
5.3.1	Kyselyn tulosten analysointi .....	34
6	VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEEN JA PÄÄSTÖIHIN .....	36
6.1	Energiankulutuksen muutokset .....	36
6.2	Huipputehon muutokset .....	40
6.3	Säätöjärjestelmien kustannukset ja elinkaarilaskenta .....	41
6.4	Energiansäästön vaikutus hiilidioksidipäästöihin.....	49
7	MITTAUSTIETOJEN ANALYSOINTI .....	54
7.1	Asunnon lämpötila- ja kosteusolosuhteet.....	54
7.2	Säätöjärjestelmien herkkyytstarkastelu .....	58
8	JÄRJESTELMIEN KEHITTÄMINEN .....	61
9	POHDINTA .....	63
10	YHTEENVETO .....	67
	LÄHTEET .....	68

LIITTEET .....	73
Liite 1. Esimerkkikohteiden kulutustiedot (M2 Kotien kulutusseuranta)	
73	

## 1 JOHDANTO

Ilmaston lämpenemisen johdosta ihmisten energiankäyttö on muuttunut huomattavasti. Fossiilisella polttoaineella tuotetun energian päästöt on todettu aiheuttavan ilmaston lämpenemistä, jonka johdosta energiantuotannon päästöjä pyritään pienentämään ja ihmisten energiankäyttöä hillitsemään. Energian tuotannon puhdistamista ja energiankäytön tehostamista toteutetaan ympäri maailman lainsäädännön muutoksella ja ihmisten arvojen muutoksella.

Energian käytön tehostaminen koskettaa siis jokaisen ihmisen lisäksi toimijoita, jotka käyttävät toiminnassaan energiaa. Y-Säätiö on Suomen neljänneksi suurin asuinhuoneistojen vuokranantaja ja omistaa vuokra-asuntokiinteistöä ympäri Suomen, joten Y-Säätiön hallinnassa olevat kiinteistöt käyttävät vuosittain huomattavan määrän energiaa kiinteistöjen lämmittämiseen ja teknisten laiteiden sähkön kulutuksen muodossa.

Suurena energiankäyttäjänä Y-Säätiön tavoitteena on tehostaa omaa energiankäyttöään hakemalla siihen uusia ratkaisuja. Y-Säätiö on myös sitoutunut energiankäytön vähentämiseen liittymällä energiatehokkuussopimusten VAETS toimenpideohjemaan. Energian käytön tehostamiseksi toteutetaan tämä työ, jossa tarkoituksena on tutkia mitä hyötyjä ja vaikutuksia Y-Säätiön toimintaan älykkäiden kaukolämmön säätöjärjestelmien käytöllä olisi mahdollista saavuttaa.

Y-Säätiö on vuonna 1985 perustettu toimija, jonka päällimmäisenä tehtävän on asunnottomuuden poistaminen tarjoamalla ja rakennuttamalla kohtuuhintaisia asuntoja niitä tarvitseville sekä tekemällä asunnottomuuteen liittyvää tutkimustyötä. Y-Säätiöön kuuluu M2-Kodit, joka tarjoaa noin 10400 omistamissaan kiinteistöissä olevaa asuntoa ja Y-Kodit, joka vuokraa erityisryhmille noin 6700 Y-Säätiön kiinteistöissä tai ulkopuolisten omistamissa kiinteistöissä olevaa asuntoa. Yhteensä Y-Säätiön hallinnassa on noin 17000 asuntoa 50 paikkakunnalla ympäri Suomen.

## 2 ENERGIATEHOKKUUSTOIMINNAN TAUSTAT

Ilmaston lämpenemisen hidastamiseksi astui voimaan vuonna 2005 Kioton sopimus, jonka tarkoitus on ensimmäisenä oikeudellisesti sitovana sopimuksena velvoittaa YK:n jäsenvaltiot rajoittamaan kasvihuonepäästöjään. Sopimuksen tavoitteena oli vähentää päästöjä kahdeksan prosenttia vuoden 1990 tasosta. Suomen tavoite oli rajoittaa päästöjen määrä vuoden 1990 tasolle. EU:ssa Kioton sopimuksen tavoitteiden pohjalta on laadittu 2020 asti voimassa olevat ilmasto- ja energialainsäädännöt, joiden keskeinen osa on energiatehokkuusdirektiivi. Lainsäädäntöjen uudistukset vuosille 2021-2030 on julkaistu vuonna 2018. (Kioton pöytäkirja)

### 2.1 Energiatehokkuusdirektiivi

Energiatehokkuuden parantamiseksi EU on asettanut vuonna 2012 energiatehokkuusdirektiivin (EED) ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) Energiatehokkuusdirektiivin tarkoitus on parantaa jäsenmaiden energiatehokkuutta 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä ja 27 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. EU:n jäsenmaissa energiatehokkuusdirektiivi otettiin käyttöön kansallisten lakien avulla. Direktiivejä on päivitetty koskemaan vuosien 2021-2030 tavoitteita vuonna 2018. Direktiivin mukaan jäsenmaiden on toimitettava kolmen vuoden välein kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma. (Energiatehokkuustoimista on taloudellista hyötyä)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin päämäärä on vähentää rakennusten energian käytön päästöjä uudis- ja korjausrakentamisessa. Vuonna 2018 voimaan astuneen muutoksen tavoitteena on nopeuttaa rakennusten peruskorjauksia kustannustehokkaasti ja ottaa rakennuksissa käyttöön uutta teknologiaa. Uudistetun direktiivin mukaan jäsenmaiden tulee laatia peruskorjausstrategia, jonka avulla rakennuskanta voidaan muuttaa vähähiiliseksi ja energiatehokkaaksi vuoteen 2050 mennessä. Direktiivin uudistuksien tulisi olla voimassa kansallisten säädösten muodossa vuoden 2020 alkupuolella. (Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi)

## 2.2 Energiatehokkuusdirektiivin vaikutus Suomessa

Energiatehokkuusdirektiivi pantiin Suomessa toimeen energiatehokkuuslailla, joka astui voimaan vuoden 2015 alusta ja laki sen muuttamisesta vuonna 2017. uudistetun direktiivin myötä lakeja uudistetaan vuonna 2020. Energiatehokkuuslaissa säädetään suurten yritysten energiatehokkuuden edistämisestä energia-katselmuksin ja energian tuotannon tuotannon tehostamisesta. Lakia sovelletaan energiaa jakeleviin ja tuottaviin yrityksiin, verkkoihin ja laitoksiin sekä energiakatselmusvelvollisiin suuriin yrityksiin. (1429/2014)

Energiatehokkuuslaki määrittää suurille yrityksille tehtäväksi energiakatselmuksen, jolla selvitetään yrityksen energiakatselmuksiprofiili. Energiakatselmus koskee yrityksen rakennuksia, liikennettä sekä teollista ja kaupallista toimintaa. Vähintään neljän vuoden välein tehtävä energiakatselmus sisältää kohdekatselmuksia energiankäyttökohteisiin, joilla arvioidaan energiakulutuksen rakennetta ja kustannustehokkaasti tehtäviä energiansäästötoimenpiteitä. Kohdekatselmuksia ei tarvitse tehdä yrityksen kaikkiin energiankäyttökohteisiin, vaan laki määrittää vähimmäismäärän energiankäyttökohteiden perusteella. Kohdekatselmuksista sisältävästä energiakatselmuksesta tehdään energiakatselmusraportti, jonka toteutusta energiavirasto valvoo. Suurella yrityksellä on myös oltava koulutettu energiakatselmuksen vastuhenkilö. (1429/2014)

Energiatehokkuuslaki määrittää energian mittaamisesta siten, että kaukolämmön tai jäähdytyksen mittausta uudistettaessa tai mittaria asennettaessa uuteen liittymään, on kuluttajalle tarjottava mittari, joka mittaa tarkasti ja tarjoaa tietoa kulutuksen ajoituksesta sekä tietoa mittauksen hyödyntämismahdollisuuksista. Laskutus on toteutettava todellisen kulutuksen mukaisesti vähintään neljä kertaa vuodessa. (1429/2014)

Laki määrittää myös, kun uuttaa sähköntuotantolaitosta suunnitellaan, on siitä tehtävä analyysi mahdollisuuksista käyttää tehokkaasti yhteistuotantolaitoksena. Myös teollisuuslaitosta suunniteltaessa on selvitettävä sen hukkalämmön mahdollinen hyötykäyttö kaukolämmössä. (1429/2014)



Uudistetun direktiivin myötä energiatehokkuuslakia tullaan päivittämään rakennusten peruskorjausten nopeuttamiseksi energiatehokkaammiksi ja sähköautojen latausmahdollisuuksien parantamiseksi. (EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivi sinettiä...)

### **2.2.1 Energiatehokkuussopimukset**

Vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset ovat osa energiatehokkuusdirektiivin säädösten toteuttamista ja ensisijainen keino tehostaa energiatehokkuutta. Se myös tukee rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa ja auttaa saavuttamaan tavoitteet uusiutuvan energian käytön tehostamisessa. Energiatehokkuussopimuksilla on tarkoitus kattaa yli puolet energiatehokkuusdirektiivin energiansäästötavoitteista. Energiatehokkuussopimukseen liittyneet asettavat omalle toiminnalleen energiansäästö tavoitteet ja tekevät energiatehokkuustoimenpiteitä saavuttaakseen ne. Liittyjän todellinen kokonaisenergiankulutus ei tarvitse laskea sopimuksen tavoitevuosina, vaan kulutuksen väheneminen laskeaan energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksista. Toimenpiteet raportoidaan vuosittain seurantajärjestelmään sopimuskauden aikana. Sopimukseen liittyjälle voidaan tapauskohtaisesti myöntää valtion tukea energiatehokkaan teknologian käyttöönottoon. Tällä hetkellä käynnissä on 2017 käynnistynyt sopimuskausi, joka päättyy vuonna 2025. (Energiatehokkuussopimukset)

Vuonna 2017 käynnistyneellä sopimuskaudella on neljä eri alan sopimusta:

- Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimus
- Kunta-alan energiatehokkuussopimus
- Kiinteistöalan energiatehokkuussopimus
- Lämmityspolttonesteiden jakelun energiatehokkuussopimus

Eri alojen energiatehokkuussopimukseen sisältyy useita eri toimialojen toimenpideohjelmia, joiden tavoitteet ja raportointi on kohdistettu kyseisille toimialoille. Elinkeinoelämän sopimuksessa on eniten toimenpideohjelmia ja se koskee palvelualan, teollisuuden ja energia-alan yrityksiä. Kiinteistöalalla on kaksi toimenpideohjelmaa, jotka käsittävät toimitilakiinteistöt (TETS) ja asuinkiinteistöt (VAETS). (Energiatehokkuussopimukset)

Asuinkiinteistöjen VAETS toimenpideohjelma on vuokra-asunto yhteisöille tarkoitettu ohjelma, johon liittyy yleensä myös kunnat vuokra-asuntojensa osalta. VAETS sopimuksen toteuttaja on RAKLI ry, jolla se toteuttaa ympäristöministeriön, työ- ja elinkeinoministeriön, energiaviraston ja RAKLI:n allekirjoittamaa sopimusta kiinteistöalan energiankäytön tehostamisesta. RAKLI:n tavoitteena oli saada toimenpideohjelman piiriin 80% kohdeyhteisöjen hallinnoimien asuntojen huoneistoalasta vuoden 2018 loppuun mennessä. Toimenpideohjelman tavoitteellinen energiansäästötavoite on vuoteen 2025 mennessä 7,5 prosenttia. (Energiatehokkuussopimukset)

VAETS toimenpideohjelmassa energiansäästötoimenpiteiden raportoinnin lisäksi liittyjien tavoite on myös tehdä sellaisia toimia, jotka parantavat asukkaiden tietoisuutta energiankäytöstä, pitää oman henkilökuntansa tietoisena energiatehokkuuden jatkuvasta parantamisesta, ottaa energiatehokkuus huomioon hankinnoissa, käyttää mahdollisuuksien mukaan uusiutuvaa energiaa sekä ottaa energiatehokkuus huomioon huoltoyhtiöiden valinnassa ja tehtävien määrittelyssä. Liittyjän tavoitteena on ottaa energiatehokkuuden parantaminen huomioon omissa johtamisjärjestelmissä. (Energiatehokkuussopimukset)

### **2.2.2 Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset**

Energiatehokkuusdirektiivin myötä asetusten vaatimukset rakennusten energiatehokkuudesta ovat kasvaneet ja vuonna 2018 voimaan astuneiden asetusten perusteella uudisrakentamisessa on tavoiteltava lähelle nollanenergiatasoa. Uudet vuonna 2018 voimaan astuneet määräykset asetukset käsittelevät rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa sekä rakennusten energiatehokkuutta. Energiatehokkuutta käsittelevässä asetuksessa asuintalojen vaatimuksissa ei ole kovin suuria kiristyksiä, mutta liike- ja toimistorakennuksista halutaan energiatehokkaampi. Asetusten tavoite on kuitenkin, että energiatehokkuutta ei haeta sisäilmaolosuhteiden kustannuksella. Rakennusten energiatehokkuus todetaan edelleen E-luvun laskennalla. Myös rakennuksen uusiutuvan energian tuotanto otetaan huomioon rakennuksen energiatehokkuutta määriteltäessä. (Rakennusten energiatehokkuutta parannetaan...)

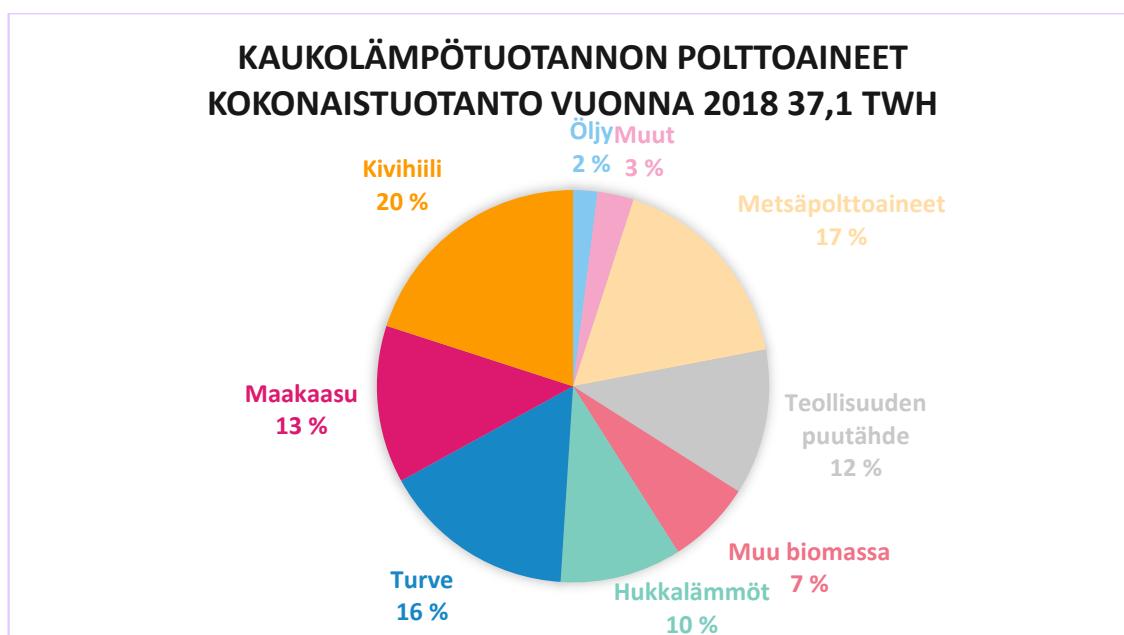
### 3 KAUKOLÄMPÖ KIINTEISTÖISSÄ

#### 3.1 Käyttö

Kaukolämpö on Suomessa suosituin lämmönlähde kiinteistöjen lämmityksessä. Lähes puolet rakennuskannasta lämmitetään kaukolämmöllä ja kaukolämpöverkosto on 144 kunnassa aina pohjoisinta Suomea myöden. Osasyynä tähän on myös, että kaukolämpö määriteltiin joillakin alueilla rakennuksen lämmitysmuodoksi jo asemakaavassa. Kaukolämpöä tuotettiin Suomessa vuonna 2018 37,1 terawattituntia ja kaukolämpötalouksia on 1,46 miljoonaa. Asukaslukuun nähden kaukolämpöä tuotetaan Suomessa eniten Pohjoismaista. Kaukolämpöä pidetään asiakkaalle joustavan lämmitysmuotona, koska lämmön tuotantoa voidaan muuttaa ilman asiakkaan investointeja. (Lämmitysjärjestelmän valinta, kaukolämmön tuotanto, miten kaukolämpö toimii, kaukolämpövuosi 2018)

Kaukolämpöä tuotetaan erillisissä lämpölaitoksissa ja nykyään enemmän yhteistuotantolaitoksissa, joissa lämpöä saadaan sähköntuotannon sivutuotteena. Yhteistuotannon tehokkuuden takia sen osuus lämmöntuotannosta onkin kasvanut merkittävästi, koska tällä tuotantotavalla voidaan voimalaitoksia käyttää mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Yhteistuotannon onkin todettu olevan jopa kaksi kertaa tehokkaampaa erillistuotantoon nähden (Lämmitysjärjestelmän valinta, miten kaukolämpö toimii)

Kaukolämpö tuotetaan pääosin polttolaitoksissa, joissa polttoaineena käytetään uusiutuvia ja uusiutumattomia polttoaineita. Puun osuus eri muodoissaan on tällä hetkellä suurin lämpölaitosten käyttämistä polttoaineista, mutta vieläkin käytetään polttoaineena huomattavia määriä kivihiiltä, turvetta ja maakaasua. Kivihiilen käyttöä ollaan vähentämässä ja kaukolämpöyhtiöt investoivat sen käytön vähentämiseen. Kivihiilen osuus polttoaineista tippui vuonna 2018 3 prosenttia edellisvuoteen verrattuna. Maakaasun käyttö on kuitenkin lisääntynyt samalla aikavälillä 10 prosentista 13 prosenttiin. Öljyn osuus on kuitenkin pientä ja sitä käytetään lähinnä pienissä varalaitoksissa, joita käytetään huippukulutuksen aikaan hetkelisesti. (Lämmitysjärjestelmän valinta, kaukolämpövuosi 2018)



Kuvio 1. Kaukolämmön polttoaineiden osuudet (Lämmitysjärjestelmän valinta)

Jätteenpolto on yleistynyt viime vuosien aikana 2013 voimaan tulleen uuden jätteenpoltoasetuksen myötä ja tämän jälkeen Suomeen on valmistunut useita jätettä polttoaineena käyttäviä yhteistuotantolaitoksia, joilla pyritään korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Jätteenpolton on mahdollistanut kehittynyt savukaasujen suodatustekniikka ja sitä voidaan pitää osana kiertotaloutta. Pääosin kaukolämpö tuotetaan siis polttolaitoksissa, mutta nyt jo pienissä määriin ollaan otettu käyttöön lämpöpumpputekniikalla tuotettua lämpöä ja teollisuuden hukkalämmön, savukaasujen ja jätevesien lämmöntalteenoton käyttö on jo melko laajaa. (Lämmitysjärjestelmän valinta, jätteenpolto, jätteenpolton selvitys, kaukolämpövuosi 2018)

Kaukolämpöä markkinoidaan lähellä tuotettuna ympäristöystävällisenä lämmitysmuotona, mutta sen tuotannon aiheuttamat kasvihuonepäästöt riippuvat käytetystä polttoaineesta ja voimalaitoksen tehokkuudesta. Nykyaikaisessa yhteiskäyttölaitoksessa hyvällä hyötysuhteella uusiutuvaa polttoainetta, esimerkiksi teollisuuden puutähdettä, käytettäessä voidaan kaukolämmön tuotannon olevan erittäin ympäristöystävällistä niin kasvihuonepäästöjen, kuin muiden ympäristövaikutusten perusteella. Nykyaikaisessa laitoksessa savukaasut puhdistetaan tehokkaasti ja polttotapahtuma on optimaalinen, joten hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös hiukkaspäästöt ovat pieniä. Paikalliset päästöt ovat myös pienempiä ja lämpölaitoksen aiheuttamia päästöjä seurataan ilmanlaatumittauksilla. Kuluvana

vuosikymmenenä kaukolämmön tuotannon hiilidioksidipäästöjä ollaan saatu vähennettyä jopa 26 prosenttia. (Lämmitysjärjestelmän valinta, rakennusten lämmitysjärjestelmän energiankulutus)

### **3.2 Historia**

Kaukolämpö syntyi tarpeeseen kehittää turvallisempi ja ympäristöystävällisempi lämmitysmuoto aikana, jolloin pääosa kiinteistöistä lämmitettiin paikallisesti puulla. Kaukolämpö alkoi yleistymään 1950 ja -60-luvuilta lähtien, jolloin esimerkiksi Tampereella ensimmäinen kiinteistö liitettiin vesikaukolämpöverkkoon vuonna 1964 ja Helsingissä vuonna 1957. Tämän jälkeen kaukolämpö laajeni nopeasti kokonaisuun lähiöihin. (Tampereen sähkölaitoksen historia, Helsingin Energian historia)

Lämpöä tuotettiin alkuun lähinnä raskasta polttoöljyä ja kivihiiltä polttamalla. Öljykriisin aikaan kuitenkin herättiin öljyn mahdolliseen suureen hinnanvaihteluun, joten turvetta alettiin polttamaan öljyn sijaan. Tämän myötä myös öljyn aiheuttamat rikkipäästöt vähenivät ja kaupunkien ilmanlaatu parani. 1980-luvulla otettiin voimalaitosten polttoaineena käyttöön maakaasu, joka rikkittömänä paransi ilmanlaatua entisestään. Tällä vuosikymmenellä vanhoja maakaasu- ja turvelaitoksia on muutettu toimimaan biopolttoaineilla ja uusia biolaitoksia sekä jätteenpolttolaitoksia on rakennettu, joilla pyritään pääsemään eroon uusiutumattomista polttoaineista. Biopolttoaineita käytettäessä polttoainetta on saatavissa läheltä, joten kuljetuksen aiheuttamat päästöt vähenevät. (Tampereen sähkölaitoksen historia, Helsingin Energian historia)

### **3.3 Tulevaisuus**

Kaukolämpöala on ollut kuluvalla vuosikymmenellä muutoksen alla, kun vanhan aikaisena ja raskaana pidetty kaukolämmitys joutuu kilpailemaan teknologian kehityksen myötä kehittyneiden vaihtoehtoisten lämmöntuotantomuotojen kanssa. Kaukolämmön tuotantomuotojen on myös kehityttävä entisestään kuluttajien ollessa entistä enemmän ympäristövalveutuneita. Fossiilisten polttoaineiden käyttö

on lopetettava ja tilalle on tuotava muun muassa lämpöpumpputekniikkaa ja aurinkolämmön ja jäteveden lämmöntalteenoton hyödyntämistä. (Miten kaukolämpö toimii, tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut)

Rakentamismääräysten kiristyvien energiavaatimusten myötä uudet rakennukset kuluttavat huomattavasti vähemmän lämpöä, kuin ennen, joten lämmönlähteeksi on monessa tapauksessa etenkin pientalojen osalta valikoitunut esimerkiksi lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä järjestelmä. Tähän vaikuttaa myös kaukolämmön hinnan nopea kasvu suhteessa sähkön hintaan. Kiristyvä kilpailu lämmitysmarkkinoilla luo epävarmuutta kaukolämmön tulevaisuuteen. (Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut)

Kaukolämmön hinnan nousun syynä voidaan pitää polttoaineiden muuttuvia hintoja ja raskaan ja ikääntyvän kaukolämpöverkoston ylläpidon nousevat kustannukset. Tulevaisuudessa kaukolämpöyhtiöiden onkin kehitettävä verkostostaan kevyempiä ja muuntautuvampia sekä kuluttajalaitteiden on oltava edullisempia. (Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut)

Kaukolämpöyhtiöiden onnistuessa kehittämään palveluitaan nykyaikaiseksi kaukolämpö on varmasti tulevaisuudessakin kilpailukykyinen lämmitysmuoto. Uusien palvelumallien kehitys on tässä avainasemassa. Asiakkaat arvostavat lämmitysjärjestelmää valittaessa eniten luotettavuutta ja sen jälkeen tulevat energian- ja investoinnin hinta ja ympäristöystävällisyys. Näihin asioihin energiayhtiöt paneutuvat rakentaessaan tulevaisuuden kaukolämpöä. (Kaukolämmön tuotanto, tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut)

Yksi tärkeä tavoite on rakentaa kaukolämpöverkoista kaksisuuntaisia, jolloin asiakas voi syöttää kiinteistönsä ylimääräisen lämmön takaisin kaukolämpöverkoon. Nykyajan kiinteistö saattaa tuottaa monessa tilanteessa enemmän lämpöä, kuin itse käyttää. Näiden kiinteistöjen osuus kasvaa koko ajan, kun tavoitteena on kiristää rakentamismääräyksiä siten, että vuoden 2021 alusta uudisrakennuksen tulee täyttää lähes nollaenergiatalon tason. (Rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit) Digitalisaation myötä kehittyneen mittaustekniikan kehitys mahdollistaa energiavirtojen luotettavan mittaamisen. Kaksisuuntaisen ver-

kostolla toimittaessa tulee eteen lämmönvarastoinnin tarve, kun lämpöä olisi tarjolla kuluttajilta silloin, kun lämmön kulutus on pientä. Tähän on kehitteillä lämmön kausivarastointia. Monessa lämpöyhtiössä kaksisuuntainen verkko ja varastointiratkaisut onkin tällä hetkellä kehityksen ja pilotoinnin alla. (Kaukolämmön tuotanto)

Lämpöyhtiöt ovat myös kehittäneet uusia palvelumalleja, joissa he tarjoavat asiakkaille normaalista poikkeavin rajapinnoin energiansäästöratkaisuja, kokonaisvaltaisia lämmityslaitetoimituksia joustavin rahoitusvaihtoehtoin ja myyvät energian sijaan asiakkaalle olosuhdetta. Esimerkiksi Fortum tarjoaa asiakkailleen järjestelmää, jolla lämmitystä ohjataan sisälämpömittauksiin perustuvalla tekoälyllä. Järjestelmällä tavoitellaan energiansäätöä ja parempia sisäilmaolosuhteita. Lämpöyhtiö hyötyy tästä voidessaan ohjata lämpölaitoksien toimintaa tehokkaammin, kun he voivat vaikuttaa kiinteistöjen lämmitykseen kulutushuippujen aikana. Helen Oy tarjoaa asiakkailleen lämmönjakokeskusten uusintaa avaimet käteen -palveluna ja erilaisin rahoitusvaihtoehtoin, jolloin he vastaavat lämmönjakokeskusten huollosta, seurannasta ja mahdollisesta uusinnasta. Lahti Energia Oy pilotoi Kaukolämpö 2.0 -palvelua, jossa he vastaavat sovitulla kuukausimaksulla kiinteistön lämmityslaitteista ja tarvittaessa tekevät kiinteistöön energiansäästötoimenpiteitä. Asiakas saa sovitun sisäilmaolosuhteen, eikä maksa energiasta erikseen. (Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut, älykkäät lämmitysratkaisut, älykäs lämmönjakokeskus, kaukolämpötyömaat)

### **3.3.1 Kaukolämmön kysynnänjousto ja älykkäät säätöjärjestelmät**

Kaukolämmön kysynnänjoustolla tarkoitetaan lämmönkulutuksen ajallista siirtämistä edullisempaan hetkeen eli hetkellistä kysyntäpiikkiä pyritään tasaamaan pidemmälle aikavälille. Kysynnänjousto ei ole energiansäästötoimenpide, vaan sillä pyritään käyttämään kaukolämpölaitoksia mahdollisimman optimaalisesti ja välttämään varatuotantolaitosten käynnistämistä. Varatuotantolaitokset käyttävät tyypillisesti polttoaineenaan esimerkiksi öljyä, joten kysynnänjoustolla lämpöyhtiöt pyrkivät saavuttamaan kustannussäästöjä ja vähentämään ympäristöhaittoja. Kysynnänjouston toimiessa optimaalisesti kaukolämpöyhtiöt voivat pystyä lyk-

käämään lämpöverkostojen laajennuksia, kun samalla vesivirralla voidaan palvella useampia asiakkaita, koska huipputehot pienenevät. (Kaukolämmön kysyntäjousto)

Kaukolämmön kysynnänjousto on osa kaukolämpö verkon muuttumista joustavammaksi, kun kaukolämmön peruskuorma vähenee asiakkaiden energiansäästötoimenpiteiden ja lämmön omatuotannon takia. Kysynnänjouston toteuttaminen vaatii kaukolämpöyhtiöt yhteistyöhön asiakkaiden kanssa, jotta kiinteistöiden ja lämpölaitosten välille saadaan reaaliaikainen yhteys lämmityksen säädön toteuttamiseksi. (Kaukolämmön kysyntäjousto)

Lämpöyhtiöiden kaukolämpöjärjestelmät poikkeavat toisistaan verkon rakenteen, tuotantorakenteen ja kulutusprofiiliin osalta, joten kysynnänjousto ei toimi jokaisessa tapauksessa samalla tavalla. Parhaimman hyödyn saadaan, kun voidaan jättää käynnistämättä kalliilla polttoaineilla toimivia varalaitoksia, mutta esimerkiksi yhteistuotantolaitoksissa, joissa samassa prosessi tuotetaan sähköä, hyödyt saattavat jäädä pienemmiksi, kun sähköntuotannon tarve on otettava huomioon. Kysynnänjouston hyöty nähdään suurimmaksi keväisin ja syksyisin sekä talvella, kun päivän lämpötilaerot ovat suurimpia. (Kaukolämmön kysyntäjousto)

Kiinteistöissä kysynnänjousto näkyy siten, että lämpöyhtiöltä tulee kiinteistöön ohjaussignaali ajanjaksosta, jolloin kulutusta pitäisi vähentää. Kulutuksen vähentämistä ei voida toteuttaa ilmanvaihdon tai käyttöveden lämmityksestä, vaan se on tehtävä lämmityksestä. Lämmityksen hetkellinen vähentäminen ei näy sisälämpötilan laskemisena välittömästi, koska rakenteisiin varautuu lämpöä ja vaikutusta sisälämpötilaan voidaan vähentää yllämmittämällä ennen tai jälkeen kulutushuipun. Sisälämpötilaan ja etenkin lämpötilan vaihteluun vaikuttaa rakennuksen rungon materiaali. Betonirakenteisen talon lämmönvaraavuus on parempi, kuin kevytrakenteisen, esimerkiksi puurakenteisen, talon. Betonirakenteen terminen massa vähentää huomattavasti lämpötilavaihtelua ja huipputehon leikkauksessa tästä on hyötyä, kun sisälämpötilan muutos on vähäisempää. (Betonin lämmönvaraussyky) Joka tapauksessa järjestely on toteutettava siten, että asiakkaalle ei aiheuteta haittaa. Asiakkaiden on myös hyödyttävä sitouduttuaan kysynnänjouston toteuttamiseen, joten kaukolämpöyhtiöiden on siirrettävä saa-



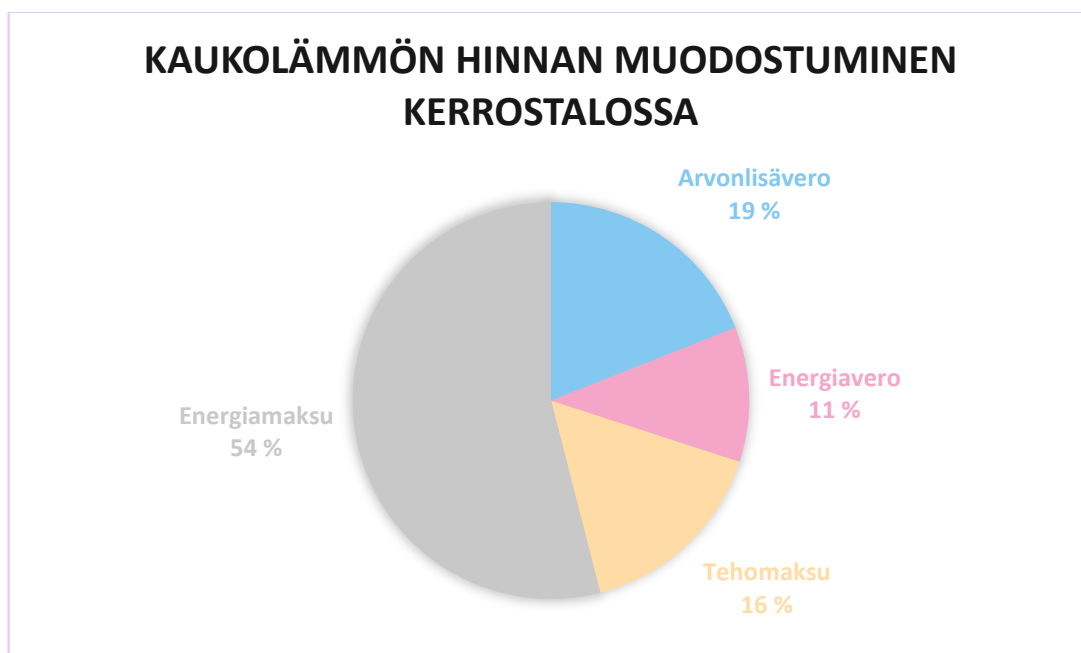
mansa hyödyt asiakkaille hinnoittelua muuttamalla tai tarjoamalla esimerkiksi ympäristöystävällistä kaukolämpösopimusta ilman lisämaksua. (Kaukolämmön kysyntäjousto)

Toimiakseen kysynnänjousto tarvitsee riittävän määrän asiakkaita, joiden kiinteistöissä on automatiikan ja talotekniikan osalta valmius lämmityksen säätöön etäyhteyden kautta. Etua on myös järjestelmästä, jossa lämmityksen ohjaukseen vaikuttaa asuntojen huonelämpötila-anturien mittaukset, jolloin lämmitystä ei ohjata ainoastaan ulkolämpötilakäyrän mukaan. Tämänkaltaisia palveluita tarjoaa Suomessa jo useampi yritys. (Kaukolämmön kysyntäjousto)

Digitalisaatio on mahdollistanut kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien etäohjauksen. Etäohjaus voidaan tarjota asiakkaille palvelumuodossa, jossa palveluntarjoaja hoitaa lämmityksen ohjauksen pilvipalveluiden kautta. Järjestelmien toimintaperiaate vaihtelee ja kevyemmissä järjestelmissä lämmityksen säätö tapahtuu edelleen ulkolämpötilakäyrän perusteella, mutta siihen haetaan kompensointeja esimerkiksi sääennusteen ja huonelämpötilojen avulla. Kehittyneimmissä palveluissa lämmitystä ohjataan ainoastaan tekoälyn avulla, johon vaikuttaa sääennusteet, huonelämpötilat, kulutushuiput ja rakennusten lämpötilakäyttäytyminen. Järjestelmillä on todettu saavutettavan lämmitystä optimaalisesti säädettäessä energiansäästöä, kun yllilämmittäminen vähenee ja kiinteistön huipputehon pienenemistä, kun lämmitystä ohjataan pienemmälle huipputehon aikaan. Huipputehon pieneminen vaikuttaa kaukolämpöyhtiöstä ja -sopimuksesta riippuen asiakkaan maksamaan kaukolämmön perusmaksuun. Järjestelmien tuottama kustannussäästö koostuu siis huipputehon kautta perusmaksun alenemisesta ja konkreettisesta lämmön kulutuksen pienemisestä. Älykkäät säätöjärjestelmän ovat palveluntuottajasta riippuen esimerkiksi rakennusautomaation etäyhteyden lisäpalveluita tai ne voivat tarjota älykkään säätöjärjestelmän lisäksi lisäpalveluina rakennusautomaation valvomosovelluksia tai kulutusseurantapalvelua. (Leanheat, Lämpömestaripalvelu, Älykkäät lämmityksen ohjauspalvelut, kaukolämmön kysyntäjousto)

### 3.3.2 Kustannusten kehitys

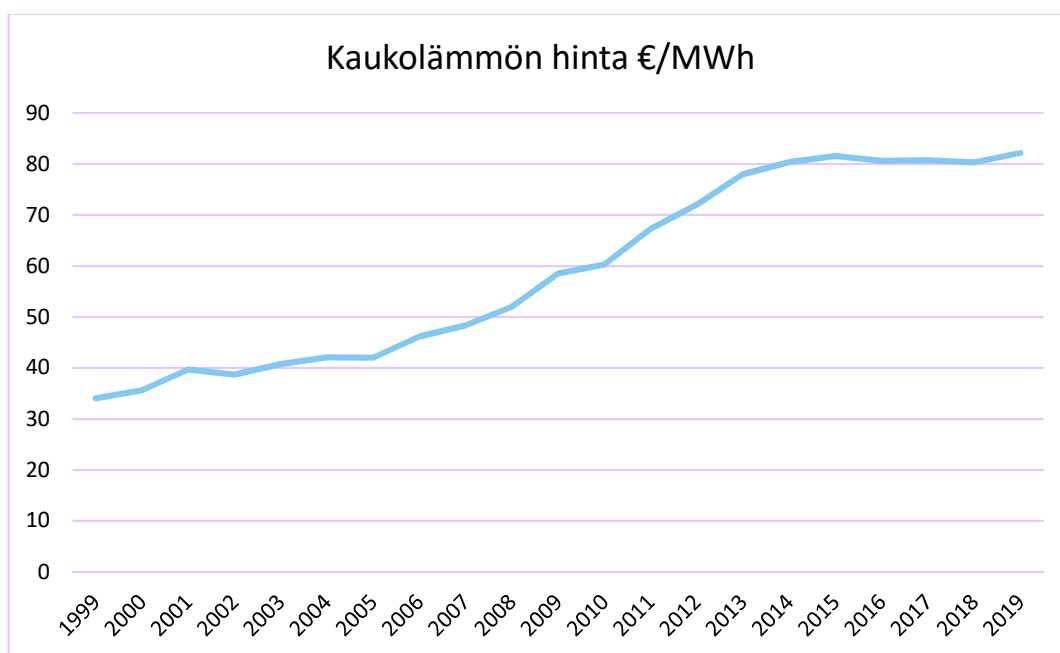
Kaukolämmön hintaan vaikuttaa energiayhtiö ja sen tuotantotapa, joten sen hinta vaihtelee paikkakunnittain. Kaukolämmön hinta koostuu kolmesta osasta: liittymismaksusta, energiamaksusta ja tehomaksusta. Liittymismaksu maksetaan kaukolämpöverkkoon liittyttäessä ja siihen vaikuttaa liittymän koko ja etäisyys lämpölaitoksesta ja verkostosta. Energiamaksua maksetaan kiinteistökohtaisesti mitattuna käytetystä energiasta. Tehomaksu on perusmaksu, johon vaikuttaa liittymän koko ja käytetty teho tai vesivirta. Perusmaksun määrittely vaihtelee kaukolämpöyhtiöittäin. Kuluttajan käytöstä maksama maksu koostuu tehomaksun ja energiamaksu lisäksi energia- ja arvonlisäveroista. (Kaukolämmön hinta)



Kuvio 2. Kaukolämmön kustannusten muodostuminen. (Energiateollisuus Ry, Kaukolämmön hinta)

Kaukolämmön hinnoittelua ohjataan kilpailulainsäädännöllä ja sen on perustuttava pääasiassa tuotantokustannuksiin ja oltava kohtuullista. Tuotantokustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi polttoaineen hinta ja päästökauppa. Kaukolämpölaitokset ovat päästökaupan piirissä, vaikka kaukolämpölaitokset ovat saaneet tähän asti ilmaisia päästöoikeuksia. (Energiateollisuus Ry, Kaukolämmön hinta)

Kaukolämmön hinnan nousu on ollut suurta 2000-luvun alun jälkeen (Kuvio 3). Kokonaishinta megawattitunnista kaukolämpöä, johon sisältyy energia- ja tehomaksu, on lähes kaksinkertaistunut 15 vuodessa. Tämä johtuu raskaan kaukolämpöverkon ylläpidon kasvaneista kustannuksista, verotuksen muutoksesta, lämpöyhtiöiden tulospaineista ja joissain tapauksissa polttoaineen hinnan noususta. Kaukolämmön hinnan nousu on aiheuttanut sen, että kaukolämpö ei ole kaikissa tapauksissa paras valinta uuden rakennuksen lämmitysmuotoa valittaessa. Lämpöpumpputekniikalla toteutettu lämmitysjärjestelmä on yleistynyt myös alueilla, joissa kaukolämpöä olisi saatavilla. Kaukolämmössä olevien kiinteistöjen lämmitysmuotoja on vaihdettu esimerkiksi maalämpöön kustannussäätöjen takia kalliimpien kaukolämpöverkkojen alueilla. (Kaukolämmön hintatilasto, Seppälä, A, Laatikainen T)



Kuvio 3. kaukolämmön hinnan keskiarvon kehitys vuosina 1999-2019 suuressa kerrostalossa. (Energiateollisuus Ry, kaukolämmön hintatilasto)

## 4 LÄMPÖTILATUNTEMUS JA SISÄILMAOLOSUHTEET

Ihminen viettää tyypillisesti paljon aikaa kotonaan, joten on tärkeä, että asunnossa on viihtyisät sisäilmaolosuhteet. Tämä tarkoittaa sitä, että pintojen ja ilman lämpötilan, ilman kosteuden on oltava sopivat ja tasaiset sekä ilman on oltava puhdasta. Myös ilman liike asunnon sisällä tulisi olla maltillista. Nämä ovat asioita, jotka on otettava mahdollisuuksien huomioon älykkäiden säätöjärjestelmien säädössä, kun rakennuksen lämpötilaa ohjataan pääasiassa mitatun sisälämpötilan mukaan.

### 4.1 Ihmisen lämpötilatuntemus

Ihmisten lämpötilatuntemuksessa on jonkin verran eroa ja se johtuu aineenvaihdunnan, vaatetuksen ja fysiologisten ominaisuuksien eroista. Valtaosa ihmisistä on tyytyväisiä sisäilman lämpötilan ollessa asuinhuoneistossa noin 21 °C. Tyypillisesti asuinkiinteistöjen lämmitysjärjestelmät suunnitellaan siten, että asukkaalla on mahdollista säätää patteritermostaattien avulla sisäilman lämpötilaa muuttaman asteen oman mieltymyksensä mukaan. (Seppänen 2001, 7)

Suosittelavaa on, että asunnon sisälämpötila seuraisi jonkin verran ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvoa, jolloin lämpötilatuntemus pysyisi tasaisena ihmisen vuodenaika riippuvaisesta pukeutumisesta huolimatta. Sisälämpötilaa ei kuitenkaan kannata säätää suoraan ulkolämpötilan lyhytaikaisten muutosten takia, koska ihmisten sisäpukeutuminen seuraa enemmän vuodenaikaa, kuin sen hetkistä ulkolämpötilaa. (Seppänen 2001, 8)

Lämpötilatuntemuksen vaikuttaa myös ihmisen toiminta. Paikallaan ollessa mukava lämpötila on korkeampi, kuin ihmisen liikkeessä tehdessään esimerkiksi ruumiillista työtä. Sisälämpötila ei myöskään saisi muuttua liian nopeasti, jotta ihmisen lämpötilatuntemus ei heikkene. (Seppänen 2001, 9)

Sisäilman suhteellisella kosteudella on myös vaikutus lämpötilatuntemukseen, kun ilman kosteus esimerkiksi talvella laskee alle 20 prosentin, tulisi ilman lämpötilan vastaavasti nousta, jotta lämpötilatuntemus pysyisi samana. Lämpötilan tulisi nousta 0,3 °C jokaista suhteellisen kosteuden 10 prosentin alenemaa kohden. (Seppänen 2001, 15)

Asunnon pintojen lämpötila vaikuttaa lämpötilatuntemukseen lämpötilan säteilynä ja kylmät lattiat heikentävät tuntemusta etenkin asunnoissa, joissa yleensä oleskellaan ilman jalkineita. (Seppänen 2001, 19)

Ilman poikkeavan suuri liike eli veto aiheuttaa iholla poikkeuksellisen suurta lämmönsiirtoa, joka heikentää lämpötilatuntemusta. Vedon tuntemukseen vaikuttaa ilman lämpötila, jolloin ihminen tuntee vedon häiritsevämmäksi, jos sisälämpötila on optimilämpötilaa alhaisempi. (Seppänen 2001, 19)

## **4.2 Asunnon sisäilmaolosuhteet**

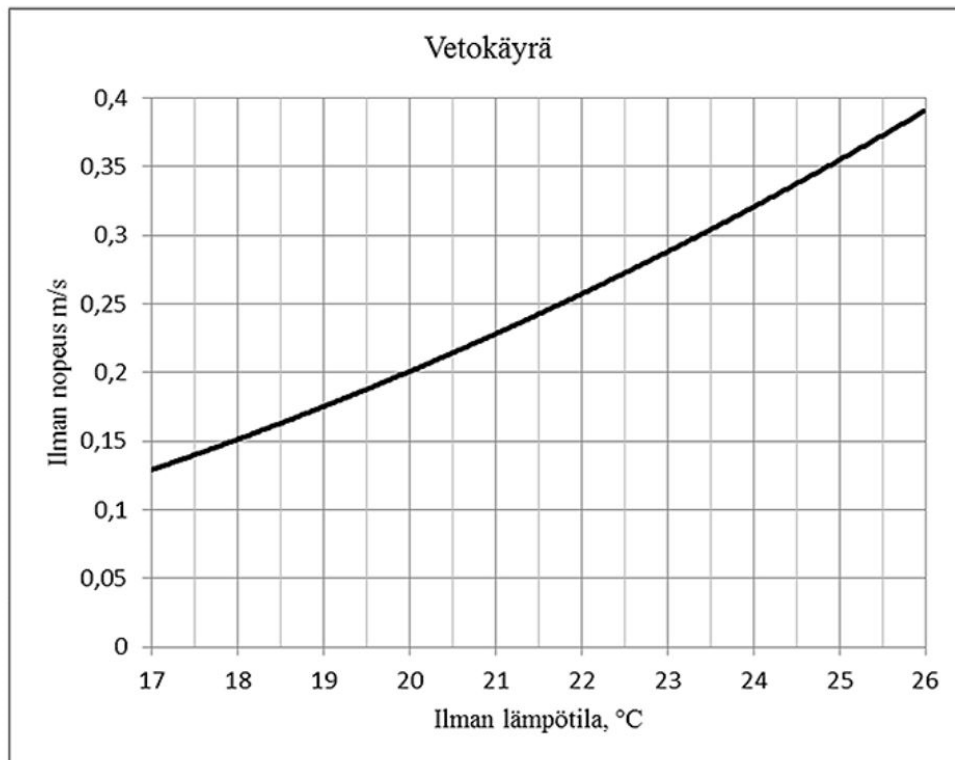
Sisäilmaolosuhteet on määritelty sisäilmastoluokituksessa, jossa olosuhteet on määritelty kolmeen luokkaan: S1 yksilöllinen sisäilmasto, S2 hyvä sisäilmasto ja S3 tyydyttävä sisäilmasto. Luokituksille on määritelty suositellut arvot sisäilman lämpötilalle, suhteelliselle kosteudelle, lattian lämpötilalla, ilman nopeudelle ja pystysuuntaiselle lämpötilaerolle. Sisäilmastoluokitusta on tarkoitus käyttää uudis- ja korjausrakentamisen suunnittelussa, jotta rakennukset olisivat sisäilmaolosuhteiltaan terveellisiä ja viihtyisiä. (Sisäilmastoluokitus 2018)

Sisäilmaolosuhteiden toimenpiderajat määritellään sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista ja sitä sovelletaan terveydensuojelulain 763/1994 perusteella tehtävään olosuhteiden valvontaan. Asetuksessa määritetään sisäilma lämpötilalle, suhteelliselle kosteudelle ja ilman nopeudelle toimenpiderajat eli arvot, joista poikettaessa, on ryhdyttävä korjaaviin toimenpiteisiin. Asetuksen mukaan kiinteistön lämmityksestä vastaavan tahon on ryhdyttävä korjaaviin toimenpiteisiin, kun olosuhteet poikkeavat taulukko 1:n arvoista. (545/2015)

Asetuksessa 545/2015 esitetty vetokäyrä kuvaa ilman virtausnopeuden enimmäismäärää eri lämpötiloissa. Mitä korkeampi ilman lämpötila on, sitä suurempi ilman virtausnopeus voidaan hyväksyä. Käytännössä tämän mukaan vetoisissa rakennuksissa joudutaan pitämään korkeampaa sisäilman lämpötilaa, kuin tiivissä rakennuksessa. (545/2015)

	Lämpötilojen toimenpiderajat	Lämpötilaindeksi TI
<i>Asunnossa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61

Taulukko 1. Lämpötilojen toimenpiderajat (Lähde 545/2015)



Kaavio 1. Ilman virtausnopeuden enimmäismäärä

Kuvio 4. Vetokäyrä (Asetus 545/2015)

## 5 KAUKOLÄMMÖN ÄLYKKÄIDEN SÄÄTÖJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖ VUOKRATALOYHTIÖSSÄ

### 5.1 Järjestelmien esittely

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kolmen eri kaukolämmön älykkään säätöjärjestelmän toimintaa ja tuloksia kiinteistön omistajan näkökulmasta. Järjestelmistä käytetään tässä työssä nimityksiä: säätöjärjestelmä 1, 2 ja 3. Esimerkkikohteiksi valitaan kuusi kiinteistöä, joissa säätöjärjestelmä on käytössä.

Perinteisesti kaukolämmitetyn kiinteistön lämmitystä ohjataan lämmönsäätimellä, joka säätää lämmitysverkoston menoveden lämpötilan ulkolämpötilakäyrän mukaan. (Lämmityksen säätökäyrä ja käyttöveden oikea lämpötila) Digitalisaation ja anturitekniikan kehityksen myötä lämmönsäätö on mahdollista toteuttaa tarkemmin, kun säätöön otetaan huomioon muun muassa asuntojen sisälämpötilat, sääolosuhteiden ennakointi ja rakennusten lämpötilakäyttäytyminen. Kiinteistön säätöjärjestelmä saa edellä mainitut tiedot kiinteistön etäyhteyden välityksellä, jolloin jokaiseen hetkeen luodaan ulkolämpötilakäyrää tarkempi menoveden asetusarvo. Tarpeenmukaisemmalla lämmityksen ohjauksella tavoitellaan säästöjä energiankulutuksessa sekä parempia sisäilmaolosuhteita, kun sisälämpötilat pysyvät tasaisempina. Älykkäät säätöjärjestelmät mahdollistavat myös kiinteistön kaukolämmön huipputehon pienentämisen, kun lämmitysverkoston lämmitystä ohjataan pienemmäksi lämpimän käyttöveden kulutushuippuina. (Lämmityksen optimointi)

Kaikkien kolmen säätöjärjestelmän lämmityksen ohjaus perustuu kokonaan tai osittain asuntoihin asennettavien lämpötila-anturien mittaukseen. Kevyimmillään anturien mittaustietoa käytetään normaalin ulkolämpötilakäyrän mukaisen säädön kompensointiin ja kehittyneimmillään kiinteistön lämmitystä ohjataan monen eri tiedon avulla luotuun lämmityksen käyttäytymismallin perusteella. (Leanheat, Lämpömestaripalvelu, Älykkäät lämmityksen ohjauspalvelut)

Anturit asennetaan asuntoihin keskeiselle paikalle huoneiston sisäseinälle, jossa se on mahdollisimman kaukana lämmönlähteistä. Tyypillinen paikka anturille on

olohuoneen sisäseinällä valokatkaisijan yläpuolelle, mutta paikka määritellään asennushetkellä asuntokohtaisesti. Anturien asennuksen tekee normaalisti palveluntuottajan aliurakoitsija.

Kaikkiin kolmeen säätöjärjestelmään kuulu pilvipalvelu, josta voidaan vähintään seurata kiinteistön lämmitysjärjestelmän mittaustietoja sekä asuntojen lämpötila ja kosteustietoja. Asuntojen sisäilmaolosuhteet on usein esitetty hetkellisenä tietona sekä graafina, johon voidaan suodattaa mittaustiedot pidemmältä ajalta. Kiinteistön ylläpidossa tietoa voidaan käyttää hyväksi olosuhdereklamaatioiden käsittelyssä ja lämmitysjärjestelmän korjauksia budjetoitaessa. Palvelusta riippuen tarjolla on myös palvelun tuottajan puolesta kiinteistön teknistä seuranta, johon saattaa sisältyä säännöllinen tekninen tarkastuskäynti kohteella, raportointi palvelun tilaajalla ja poikkeamista huoltopyynnön lähettäminen suoraan urakoitsijalle tai huoltoyhtiölle.

Alla on kerrottuna jokaisen säätöjärjestelmän erityispiirteitä. Erityispiirteitä listatessa on kuitenkin huomioitava, että alla olevat ovat työn kirjoitushetkellä saatavilla olevien tietojen mukaisia ja palveluntuottajat kehittävät ja laajentavat järjestelmiään jatkuvasti, joten tiedot vanhenevat nopeasti. (Leanheat, Lämpömestari-palvelu, Älykkäät lämmityksen ohjauspalvelut)

### **Säätöjärjestelmä 1**

- Lämmityksen säätöön vaikuttaa sisälämpötila- ja sääkompensointi
- Lämmitysjärjestelmän tarkastuspalvelu
- Lämpötilareklamaatioiden hoitaminen etänä ja paikan päällä
- Automaation valvomo vakiona
- Huipputehon leikkaus lisätuotteena
- Automaatiomerkki riippuvainen
- Toimenpidesuositukset kiinteistön omistajalle

### **Säätöjärjestelmä 2**

- Lämmityksen säätöön vaikuttaa sisälämpötilat ja ulkolämpötila.
- Mobiilisovellus ja älytermostaatit, joilla asukkaiden on mahdollisuus vaikuttaa olosuhteisiin.



- Automaatiomerkki riippumaton
- Huipputehonleikkaus

### **Säätöjärjestelmä 3**

- Lämmityksen säätöön vaikuttaa sisälämpötilat, sääennuste ja rakennuksen lämpötilakäyttäytyminen.
- Lämpölaitoksen ohjaussignaalia voidaan käyttää lämmityksen säätöön.
- Huipputehonleikkaus ja perusmaksupäivitykset.
- Asiantuntijat seuraavat järjestelmän toimintaa
- Toimenpidesuositukset kiinteistön omistajalle
- Poikkeamista ilmoitus suoraan huoltoyhtiölle tai isännöitsijälle
- Automaatiomerkki riippumaton

#### **5.1.1 Tietoturva**

Älykkäät säätöjärjestelmät tarvitsevat toimiakseen verkkoyhteyden kiinteistöön, jota kautta siirtyy tietoa kiinteistön ja pilvipalvelun välillä säätöön vaikuttavista tiedoista. Yhteyden toimivuus on tärkeä säädön toimivuuden kannalta, joten yhteyden pitää olla luotettavasti toimiva ja estetty mahdollisilta ulkopuolisilta hyökkäyksiltä. Asuinkiinteistössä tietomurto rakennusautomaatioon voi aiheuttaa lämmityksen tai ilmanvaihdon pysähtymisen, joka olisi suhteellisen helposti korjattavissa. Tietomurron tehnyt verkkorikollinen voi käyttää avoimessa verkossa olevaa laitetta esimerkiksi palvelunestohyökkäykseen, roskapostitukseen tai yrityksen tai rakennuksen sisäverkon tietomurtoon. Tämän kaltaisella tietomurrolla voi olla vakavat seuraukset. (Puutteellinen rakennusautomaatiolaitteiden suojaus verkossa altistaa kyberuhille)

Suojaamattomat automaatiolaitteiden etäyhteydet ovat valitettavasti Suomessakin yleisiä. Näillä tarkoitetaan yhteyksiä, joita ei ole suojattu asianmukaisesti ja ulkopuolisen on helposti pääsy internet -yhteyden kautta rakennusautomaation asetuksiin. Viestintävirasto tekee vuosittain kartoituksen, jolla on tarkoitus havaita

suojaamattomat etäyhteydessä olevat automaatiolaitteet. 2018 tehdyssä kartoituksessa havaittiin yli 2000 suojaamatonta yhteyttä, joiden kautta oli mahdollisuus päästä muuttamat automaation asetuksia. (Tuhansia rakennusautomaatiolaitteita suojaamattomina suomalaisissa verkoissa)

Rakennusautomaatiolaitteen suojaaminen tietomurrolta voidaan kuitenkin helposti toteuttaa suojattua VPN yhteyttä käyttävällä palomuurilla tai laitteen omaa palomuuria käyttämällä. Mobiiliyhteyttä käytettäessä on tärkeää poistaa liittymältä maksulliset palvelut ja varmistaa, että laitteen SIM-kortti on paikassa, josta sitä ei voida helposti anastaa. Tietoturvaohjelmat muuttuvat kuitenkin jatkuvasti, joten tärkeää on pitää suojauslaitteet ajan tasalla esimerkiksi huoltosopimuksen avulla. (Tuhansia rakennusautomaatiolaitteita suojaamattomina suomalaisissa verkoissa)

Y-Säätiön kiinteistöjen etäyhteydet on suojattu palomuurien ja etäyhteyden voi muodostaa vain sallituista IP-osoitteista. Etäyhteyksiä hallinnoi Y-Säätiöllä palveluntuottaja, joka seuraa yhteyksien toimintaa ja päivittää järjestelmiä tarpeen vaatiessa.

## **5.2 Esimerkkikohteiden esittely**

Y-Säätiön kiinteistökanta muodostuu pääasiassa asuinkerrostaloista. Tavallinen kiinteistö on 1980-2000 -luvulla rakennettu kaukolämmitteinen ja koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettu kerrostalo. Tämän tyyppisiä on myös esimerkkikohteiksi valitut kiinteistöt yhtä lukuun ottamatta.

Y-Säätiöllä säätöjärjestelmiä on otettu käyttöön vaiheittain ja kokeilumielessä vuodesta 2016 alkaen ja viimeisimmän järjestelmän kokeilukäyttö on alkanut vuoden 2019 tammikuussa. Osasta kiinteistöjä kulutustietoja säästöistä on usealta vuodelta, mutta osasta vain edelliseltä lämmityskaudelta.

Säätöjärjestelmä 1 on Y-Säätiöllä käytössä Kapulantie 5:ssä Hyvinkäällä ja Tullisuontie 5:ssä Helsingissä. Järjestelmä on ollut käytössä vuoden 2016 lopusta

alkaen ja huoneanturit on asennettu 10 prosenttiin asunnoista. Kiinteistöihin uusittiin rakennusautomaatiopäätteen käyttöönoton yhteydessä. Molemmat kiinteistöt ovat kaukolämmitteisiä ja koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettuja.

Esimerkkikohteet	Huoneistoala m <sup>2</sup>	Asuntoja kpl	Rakennusvuosi
Kapulantie 5	1305	24	1993
Tulisuontie 5	5766	93	1991

Taulukko 2. (M2 Kodit)



Kuva 1. Kapulantie 5 (M2-Kodit internetsivut)



Kuva 2 Tulisuontie 5 (M2-Kodit internetsivut)

Säätöjärjestelmä 2 on käytössä Y-Säätiön kiinteistöissä Poteronkatu 2:ssa ja Insinöörinkatu 86, 90:ssä Tampereella. Järjestelmä otettiin käyttöön vuoden 2019 alusta asentamalla jokaiseen huoneistoon lämpötilaa ja kosteutta mittaava anturi sekä lämmönsäätimeen tehtiin muutokset, jolla säätöä ohjataan palvelun kautta.

Poteronkatu 2 on kaukolämmitteinen kerrostalo. Insinöörinkatu 86, 90 käsittää kaksi kerrostaloa ja rakennukset ovat saman kaukolämmön lämmönjakokeskuksen alla.

<b>Esimerkkikohteet</b>	<b>Huoneistoala m<sup>2</sup></b>	<b>Asuntoja kpl</b>	<b>Rakennusvuosi</b>
Poteronkatu 2	1691	31	2004
Insinöörinkatu 86, 90	4158	72	1992

Taulukko 3. (M2 Kodit)



Kuva 3. Poteronkatu 2 (M2-Kodit internetsivut)



Kuva 4. Insinöörinkatu 86, 90 (M2-Kodit internetsivut)



Säätöjärjestelmä 3 on käytössä Kalastajamäki 3:ssa ja Kompassikatu 7:ssä Espoossa. Kalastajamäki 3 on koneellisella poistoilmanvaihdolla ja patterilämmitteisellä kaukolämmöllä varustettu asuinkerrostalo. Kalastajamäki 3:ssa säätöjärjestelmä otettiin käyttöön vuoden 2016 lopussa asentamalla huoneanturit jokaiseen asuntoon. Kompassikatu 7:ssä säätöjärjestelmä on ollut käytössä vuoden 2019 alusta. Kiinteistössä on 31 asuntoa, joissa kaikissa on huoneanturi. Ilmanvaihto on toteutettu keskitetyllä tulo/poisto ilmanvaihdolla.

Esimerkkikohteet	Huoneistoala m <sup>2</sup>	Asuntoja kpl	Rakennusvuosi
Kalastajamäki 3	4120	69	1998
Kompassikatu 7	1613	31	2011

Taulukko 4. (M2 Kodit)



Kuva 5 Kalastajamäki 3 (M2-Kodit internetsivut)



Kuva 6 Kompassikatu 7 (M2-Kodit internetsivut)

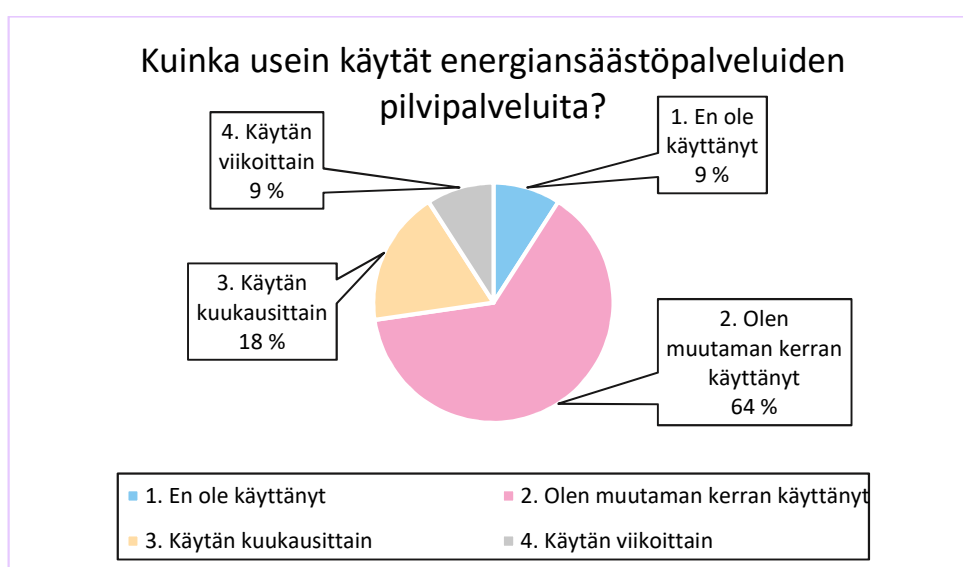
### 5.3 Isännöinnin työkaluna

Säätöjärjestelmien pääasiallinen tehtävä on tuottaa säästöjä energiankulutuksessa lämmitysjärjestelmän tarkemman säädön avulla, mutta järjestelmien pilvipalveluista on hyötyä myös kiinteistön sisäilmaolosuhteiden tarkkailussa ja poikkeamiin reagoinnissa. Pilvipalveluista nähdään jokaisen anturoidun asunnon lämpötila- ja kosteustieto sekä näiden historiatiedot. Tietoa voidaan käyttää lämpötilatason oikeaan määrittämiseen, lämmitysverkoston tasapainon selvittämiseen, korjauksen budjetointiin ja tasapainotuksen tekemiseen. Lämpötilareklamaatiotilanteessa voidaan palvelun kautta tarkastaa lämmitysjärjestelmän toiminta ja asunnon suuntaa-antava lämpötilataso. Kosteustietoja voidaan käyttää esimerkiksi ilmanvaihdon toiminnan tarkastelussa. (Paremmat sisäolosuhteet pienimmillä energia- ja ylläpitokustannuksilla) Järjestelmien on todettu olevan hyödyllisiä isännöinnin työkaluna, jolloin huoltoyhtiölle lähtevien tarkastuspyyntöjen määrää on voitu vähentää, kun mahdollisen aikaisemman yllämmityksen päättymisen vaikutukset lämpötilareklamaatioihin järjestelmien käyttöönoton jälkeen tasoittuu.

#### 5.3.1 Kysely älykkäistä lämmönsäätöjärjestelmistä

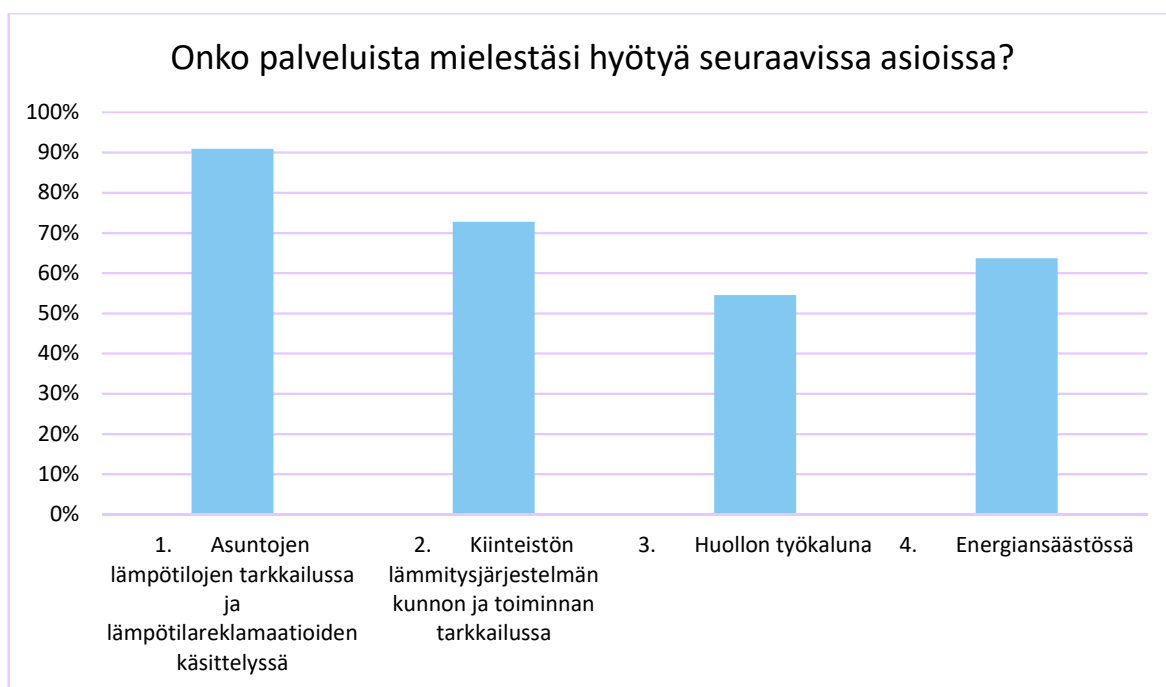
Y-Säätiössä palveluiden tunnukset on jaettu kiinteistöjen hallinnollisesta ja teknisestä ylläpidosta vastaaville isännöitsijöille, teknisille isännöitsijöille ja kiinteistöpäälliköille. Isännöitsijöiden ja teknisten isännöitsijöiden tehtävä on vastata kohdekohtaisesti hallitsemiensa kiinteistöjen energiankulutuksen ja -kustannusten seurannasta. Vuosittainen energiakustannusten budjetointi on isännöitsijän vastuulla. He myös vastaavat ensikädessä asuntojen sisäilmaolosuhteista ja aloittavat toimenpiteet olosuhteiden heikentyessä. Heidän tukenaan olosuhteongelmien teknisten asioiden selvittelyissä toimii talotekniikka-asiantuntija. Tällä ryhmälle toteutettiin kysely, jossa selvitettiin heidän mielipidettä säätöjärjestelmien hyödyistä, käytöstä ja vaikutuksesta päivittäiseen kiinteistön ylläpitoon.

Kysely lähetettiin 26 henkilölle, mutta vastauksia kysymyksiin saatiin vain 11:sta henkilöltä. Kaksi vastaajaa ilmoitti, että heidän hallinnoimissa kohteissa ei palveluita ole käytössä, joten he eivät kyselyyn vastanneet. Vastaajista jokainen oli tietoinen käytössä olevista järjestelmistä ja tiesivät mihin tarkoitukseen niitä käytetään. Pienen vastausprosentin johdosta voidaan olettaa, että kyselyyn vastasi henkilöt, jotka olivat tutustuneet järjestelmiin ja käyttivät niitä. Yhtä lukuun ottamatta kaikki vastanneet olivat käyttäneet järjestelmien pilvipalveluita omassa työssään. Suurin osa on kuitenkin käyttänyt palvelua vain muutaman kerran, joten ainakaan vielä palvelut eivät ole käytössä isännöinnin päivittäisenä työkaluna. Vain yksi vastaajista ilmoitti käyttävän palveluja viikoittain. (Kuvio 5)



Kuvio 5.

Kyselyyn vastanneista jokainen piti palveluita hyödyllisenä ja suurin hyöty nähtiin asuntojen lämpötilan tarkkailussa ja lämpötilareklamaatioiden käsittelyssä. Yllättäen vain vähän yli puolet vastasivat palveluista olevan hyötyä energiansäästöissä. Kiinteistön lämmitysjärjestelmän kunnon ja toiminnan tarkkailua sekä huollon työkaluna järjestelmiä pitivät hyödyllisinä hieman yli puolet vastanneista (Kuvio 6).



Kuvio 6.

Yhtenä kyselyn aiheena oli lämpötilareklamaatioiden muutos palveluiden käyttöönoton jälkeen. Vastanneista 36 prosenttia oli sitä mieltä, että asukkaiden lämpötilareklamaatiot olivat lisääntyneet. (Kuvio 7) Reklamaatioiden aiheena oli pääasiassa asuntojen kylmyys. Vastauksissa otettiin esille myös anturien määrä ja toivottiin, että etenkin isoimpiin huoneistoihin laitetaan useampia sisäilma-antureita.



Kuvio 7.

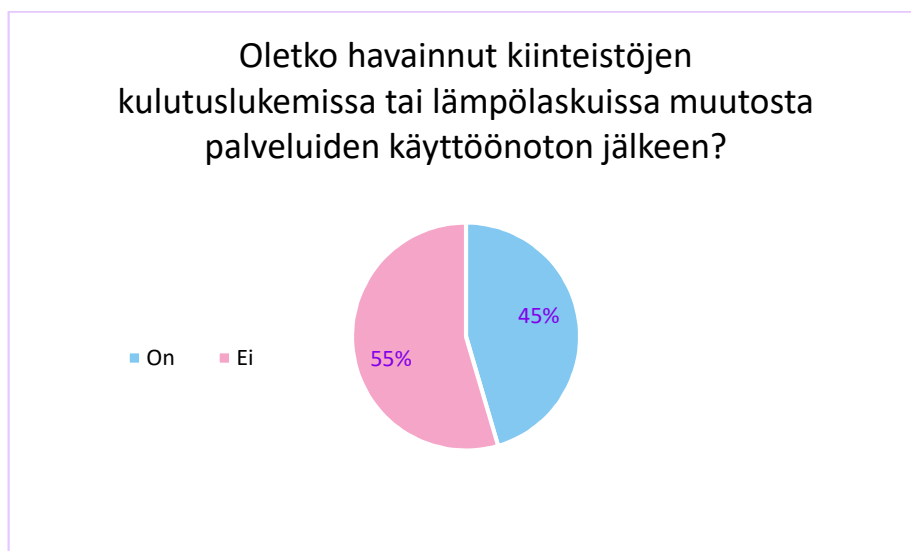


Palveluiden yksi tarkoitus on luoda asukkaille miellyttävät ja tasaiset sisäilmaolosuhteet. Suurin osa vastaajista ilmoitti, että asukkailta ei ole tullut myönteistä palautetta palveluiden käyttöönoton jälkeen. Vain yksi vastaajista oli saanut myönteistä palautetta, mutta palautteen sisältöä ei oltu kerrottu tarkemmin. (Kuvio 8)



Kuvio 8.

Energiansäästöpalveluiden käyttöönoton jälkeen kiinteistöjen lämpöenergian kulutus on laskenut lähes poikkeuksetta noin 5-10 prosenttia. Tästä huolimatta jopa 55 prosenttia vastanneista ilmoittaa, että eivät ole havainneet muutoksia kaukolämpölaskuissa tai kulutuslukemissa. Tätä huomiota tukee myös kyselyn tieto, että vain 64 prosenttia ajattelee palveluilla olevan hyötyä energiansäästöissä. (kuvio 9)



Kuvio 9.

Kyselyn lopuksi oli mahdollisuus antaa vapaasti kommenttia palveluista ja niiden kehittämisestä. Kommenteissa toivottiin, että palveluiden lukumäärää vähennettäisiin, jotta käytössä ei olisi kovin montaa samankaltaista palvelua, vaan mahdollisimman monta kiinteistöä olisi saman palvelun alla. Järjestelmien toivottiin myös kehittyvän siten, että asukkaalla olisi mahdollisuus vaikuttaa määritellyissä rajoissa oman asuntonsa lämpötilaan. Pilvipalveluiden käyttöä toivottiin helpomaksi ja sisältävän myös kulutuksen seurantaa, josta voidaan kulutuspoikkeamat havaita helpommin. Yhdessä kommentissa epäiltiin palveluiden olevan vain yksi helposti rikkoutuva järjestelmä lisää kiinteistöihin.

### 5.3.1 Kyselyn tulosten analysointi

Yleisesti ottaen kyselyssä suhtauduttiin palveluihin myönteisesti, vaikka kokemusta niiden käytöstä on tässä vaiheessa rajallisesti. Isännöintiryhmästä kyselyyn vastasi pieni osa ja vastaajat olivat todennäköisesti eniten järjestelmistä kiinnostuneita tai niitä käyttäneitä. Voidaan epäillä, että vastaamatta jättäneessä ryhmässä palveluihin suhtautuminen ei olisi yhtä positiivista, kuin tämä kysely osoittaa.

Kuvio 4:n tulosten mukaan pilvipalveluja käytetään melko harvoin. Suurin osa on käyttänyt vain muutaman kerran, mikä kertoo siitä, että nykyisellään järjestelmien käyttö jokapäiväisenä työkaluna ei ole toteutunut. Pilvipalveluja käytetään luultavasti vain ongelmatilanteissa, jolloin halutaan selvittää asunnon lämpötilataso. Kuitenkin viikoittain käytettynä voitaisiin ennakoivasti estää esimerkiksi lämpötilaongelmien syntymistä, sillä iso osa vastanneista piti järjestelmiä hyödyllisenä lämpötilojen tarkkailussa ja lämmitysjärjestelmän toiminnan tarkkailussa. Vähäiseen järjestelmien käyttöön syynä voi olla, että isännöitsijöillä ja teknisillä isännöitsijöillä on paljon muuta työtä, joten ennakoivaan ongelmien etsimiseen ei välttämättä löydy aikaa. Pilvipalvelun käytön osaaminen ja lämmitysjärjestelmän toiminnan tunteminen pitää olla riittävällä tasolla, jotta pilvipalvelun käyttö on luontevaa. Tärkeänä asiana on etenkin teknisten isännöitsijöiden kouluttaminen ohjelmiston käyttöön ja heidän lämmitysjärjestelmän tuntemuksen varmistaminen,

kun järjestelmistä halutaan paras mahdollinen hyöty. Mahdollisuus on myös palkata tai ostaa palveluna riittävä määrä energia-alan osaajien työtä.

Lämpötilareklamaatiot lisääntyvät osassa kohteissa palveluiden käyttöönoton myötä. Kommenttien perusteella voidaan todeta, että ainakin osa kylmyysvalituksista johtui asuntojen aiemmasta korkeammasta lämpötilasta, joka palveluiden käyttöönoton jälkeen on laskenut suositellulle tasolle. Asukkaat, jotka ovat tottuneet yllämpimään asuntoon, voivat kokea 2-3 °C lämpötilan pudotuksen negatiivisena lämpötilatuntemuksena. Tämän takia onkin tärkeää laskea lämpötila tavoitellulle tasolla hitaasti vaiheittain, jotta asukkaat ehtivät tottua muuttuvaan lämpötilaan. Tämän toivotaan vähentävän myös lämpötilareklamaatioita.

Etenkin isoissa asunnoissa lämpötilaerot asunnon sisällä voi olla merkittäviä ja kyselyn perusteella nähtiin tarpeelliseksi asentaa useampia sisäilma-antureita samaan asuntoon. Yksi anturi asunnossa ei anna kuvaa lämpötilasta koko huoneiston osalta, joten esimerkiksi kaksi tasoisissa asunnoissa voisi olla järkevää sijoittaa anturi molempiin kerroksiin. Suuremmassa mittakaavassa useamman anturin lisäämiselle on kustannusvaikutuksia ja se vaikuttaa hankkeen kannattavuuteen.

Järjestelmiä myydään ensisijaisesti energiansäästöpalveluina ja tulosten mukaan energiankulutus laskee järjestelmien myötä. Kyselyn perusteella lähes puolet vastanneista eivät olleet huomanneet muutoksia kulutuksessa. Kulutusmuutosten havaitseminen vaati kuitenkin hyviä kulutusseurantajärjestelmiä, niiden aktiivista käyttöä ja toteutettujen energiansäästötoimenpiteiden tulosten seurantaa. Kaukolämpölaskuilta muutos voi olla heikosti havaittavissa, koska laskut tulevat kuukausittain ja laskuilla laskutetaan todellisen kulutuksen mukaan normeeratun kulutuksen sijaan, jolloin yksittäisten laskujen summien erot aikaisempaan ovat pieniä.

## 6 VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEEN JA PÄÄSTÖIHIN

### 6.1 Energiankulutuksen muutokset

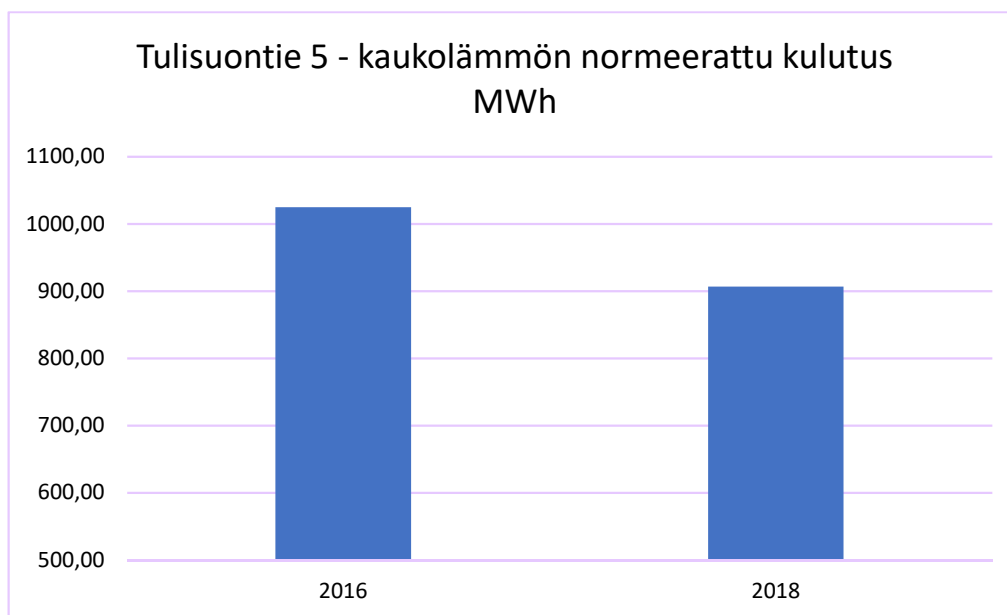
Kaikissa esimerkkikohteissa kaukolämmönkulutus on pienentynyt, kun kulutusta vertaillaan samaan ajanjaksoon, jolloin palvelu ei ollut käytössä. Osassa esimerkkikohteita säätöjärjestelmät ovat olleet käytössä niin vähän aikaa, että todelliset vaikutukset kulutukseen selviävät vasta tulevaisuudessa. On huomattu, että monessa tapauksessa parhaat tulokset lämmönkulutuksen vähenemiseksi tulee vasta toisena lämmityskautena. Osassa kiinteistöjä, joihin säätöjärjestelmä on asennettu ei ole normeeratut kulutukset juurikaan laskeneet. Syynä tähän on voinut olla huomattavan suuri lämmitysverkoston epätasapaino, jolloin kylmimpien asuntojen määrä on niin suuri, että menoveden lämpötilaa ei ole voitu laskea tai asuntojen lämpötilataso on ollut valmiiksi erittäin alhainen. Varmaa syytä tähän ei ole kuitenkaan saatu.

Esimerkkikohteiden valinnassa on pyritty huomioimaan se, että kiinteistöissä ei ole tehty merkittäviä vaipan lämmöneristävyyteen tai tekniikkaan liittyviä korjauksia tai saneerauksia, joilla olisi vaikutusta energiankulutukseen. Y-Säätiön kiinteistöihin on kuitenkin asennettu paljon esimerkiksi vedensäästökalusteita samalla ajanjaksolla, joten vedenkulutuksen muutoksen vaikutus pyritään huomioimaan energiasäästöjä analysoitaessa. Kulutustiedot on haettu Y-Säätiön kulutustietopalvelusta (Liite 1)

Tulisuontie 5:ssä ja Kapulantie 5:ssä on käytössä säätöjärjestelmä 1, joka on otettu käyttöön vuoden vaihteessa 2016 ja 2017. Vertailuvuosisiksi otettiin 2016 ja 2018. 2018 kulutuslukemat edustavat parhaiten todellisia kulutuslukuja, kun vuoden 2017 alussa tehtiin vielä järjestelmän käyttöönottoimenpiteitä ja niillä saattoi olla vaikutusta vuoden 2017 alun lämpöenergiankulutukseen. Kulutuslukemina käsitellään ulkolämpötilakorjattuja eli normeerattuja lukemia, jotta vertailuun ei vaikuta ulkolämpötilat.

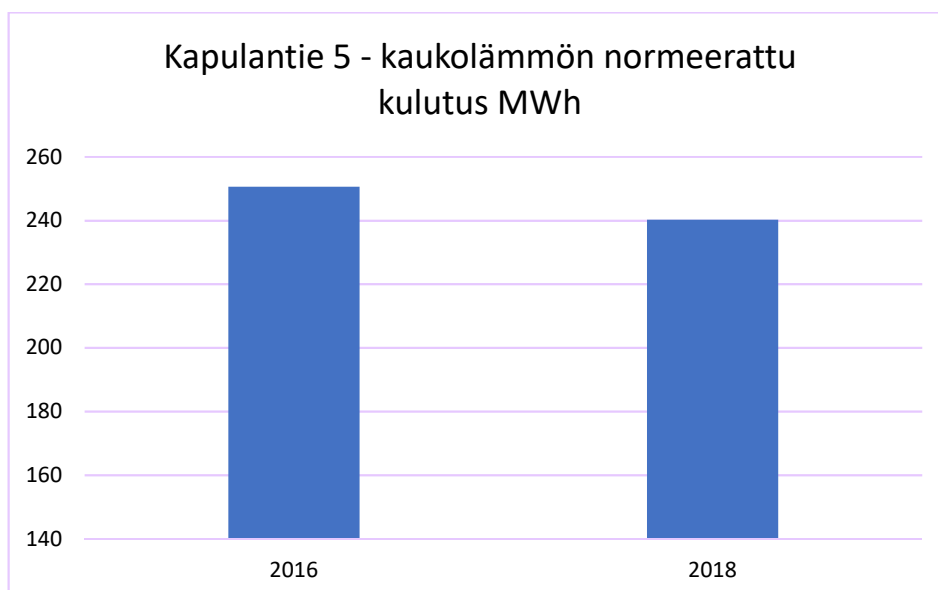
Tulisuontiellä vuoden 2016 kaukolämmön normeerattu lämpöenergiankulutus oli 1025 megawattituntia ja vuonna 2018 se oli 907 megawattituntia, joten kulutus

on laskenut noin 11,5 prosenttia. Samalla ajanjaksolla käyttöveden kokonaiskulutus on kuitenkin laskenut noin 9 prosenttia, joten osa lämpöenergiainsäästöistä selittyy vedenkulutuksen pienenemisellä. (Kuvio 10)



Kuvio 10. (M2-Kodit kulutusseuranta)

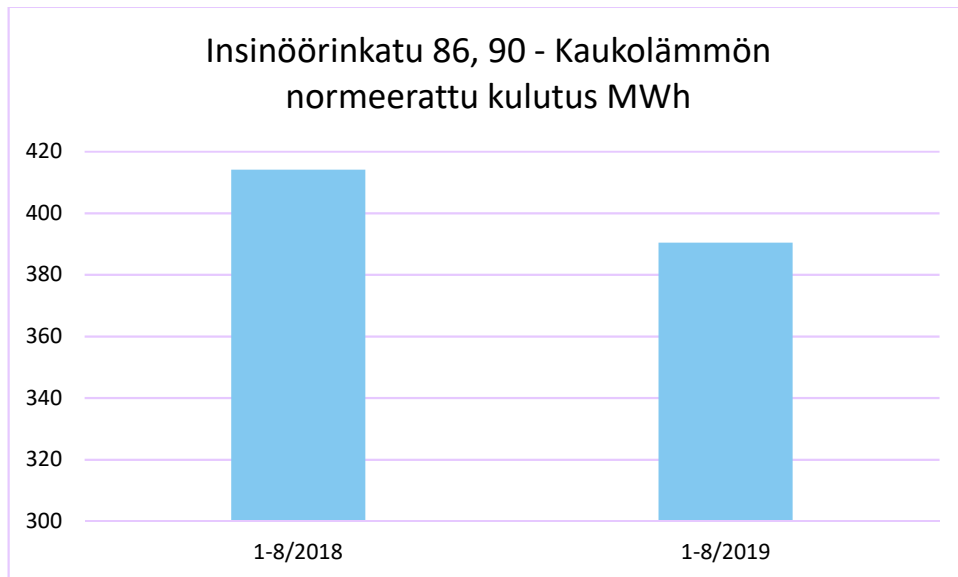
Kapulantiellä vuonna 2016 lämpöenergiaa kului 250 megawattituntia ja vuonna 2018 240 megawattituntia, joten lämpöenergiaa säästyi noin 4,1 prosenttia. Veden kulutus on kuitenkin noussut näiden vuosien välillä 5,4 prosenttia, joten ilman vedenkulutuksen kasvua lämpöenergiainsäästöt olisivat hieman suuremmat. (Kuvio 11)



Kuvio 11. (M2-Kodit kulutusseuranta)

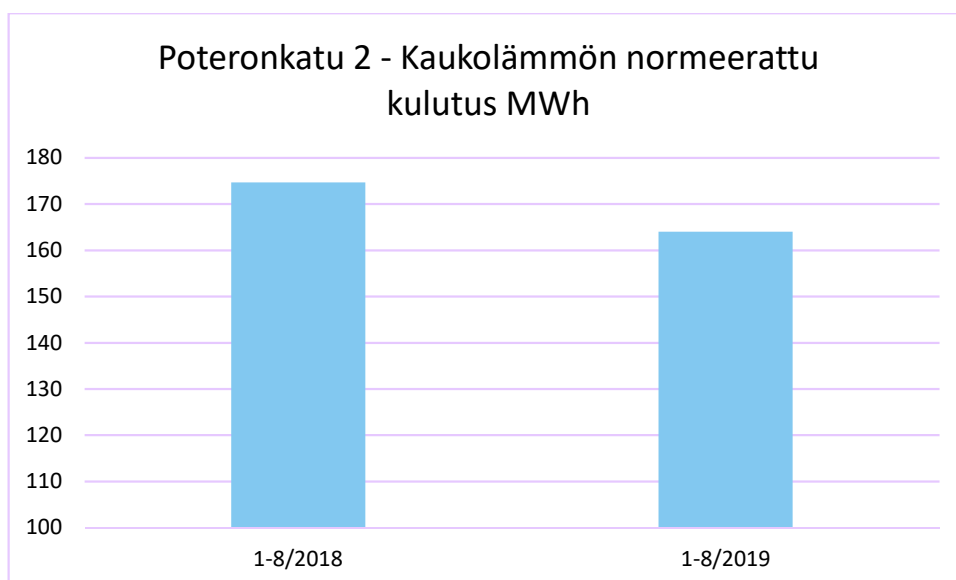
Säästöjärjestelmä 2 otettiin käyttöön Insinöörinkadulla ja Poteronkadulla vuoden 2019 alusta, joten vertailukelpoista kulutustietoa on tämän työn kirjoittamishetkellä kahdeksan kuukauden ajalta. Tammi-elokuun kulutuslukemia verrataan edellisvuoden vastaavaan aikaan. Järjestelmä ei siis ole ollut käytössä edes kokonaista lämmityskautta, joten energiansäästön voidaan olettaa kasvavan yhden tai kahden lämmityskauden jälkeen.

Insinöörinkadulla normeerattu kaukolämmön kulutus on laskenut 5,7 prosenttia 414 megawattitunnista 390 megawattituntiin. Kiinteistön vedenkulutus on laskenut samalla aikavälillä 2,7 prosenttia, joten sen sillä on pieni vaikutus energiankulutuksen pienenemiseen. (Kuvio 12)



Kuvio 12. (M2-Kodit kulutusseuranta)

Poteronkatu 2:ssa energiansäästö on alkuvuoden aikana ollut Insinöörinkadun kanssa samaa tasoa. Lämpöenergiaa on säästynyt noin 6,1 prosenttia vuoden, kun vuoden 2018 kulutusta 175 megawattituntia verrataan 2019 lukemaan 164 megawattituntia. Vedenkulutuksessa on havaittavissa pieni, 2,5 prosentin, lasku kyseisellä aikavälillä. (Kuvio 13)

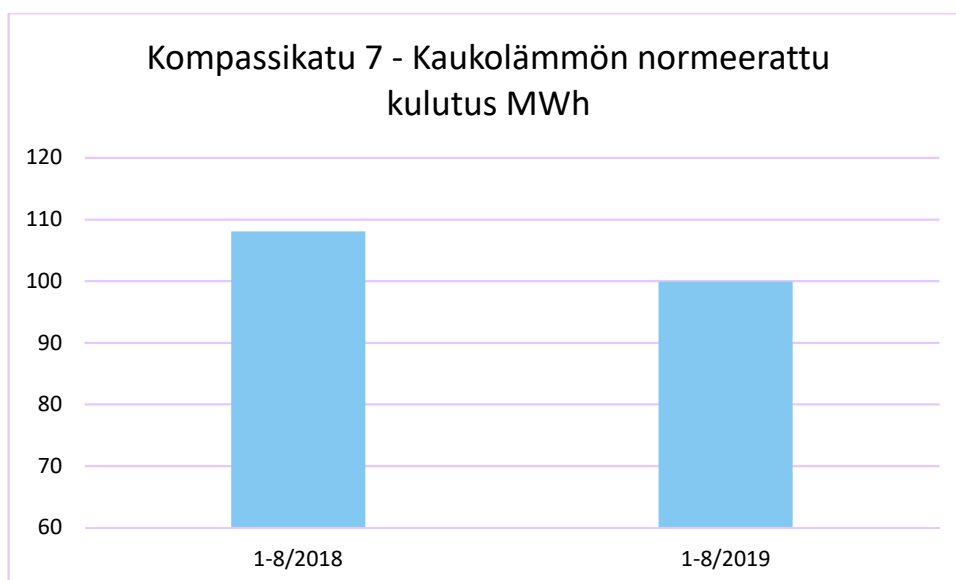


Kuvio 13. (M2-Kodit kulutusseuranta)

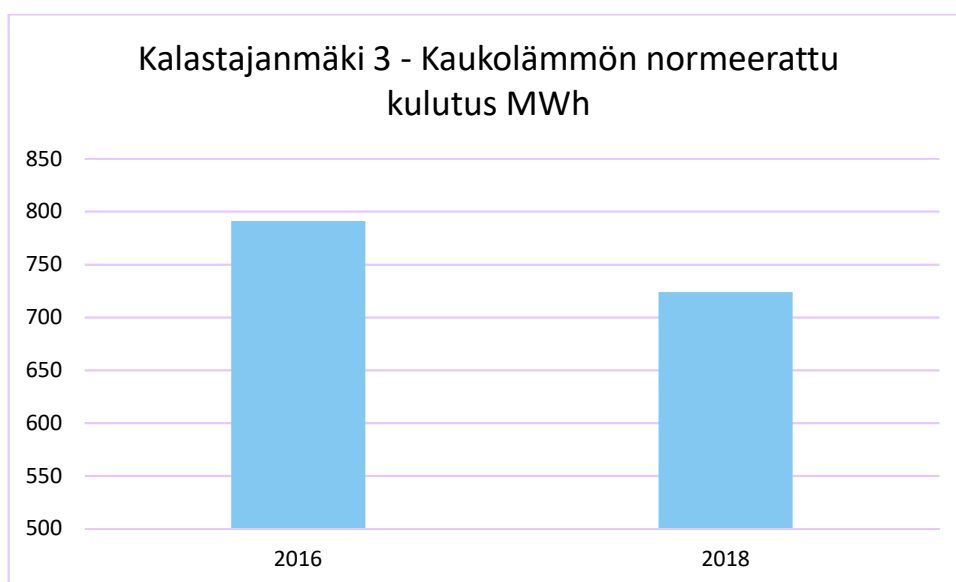
Säätöjärjestelmä 3 on otettu käyttöön Y-Säätiössä kahdessa vaiheessa. Kompassikadulla järjestelmä otettiin käyttöön vuoden 2019 alusta, joten edellisten kohteiden tapaan vertailtavia kulutustietoja on vain vuoden 2019 ensimmäiseltä kahdeksalta kuukaudelta. Kalastajanmäki 3:ssa järjestelmä otettiin käyttöön ensimmäisessä erässä vuoden 2017 alussa, joten sen osalta vertaillaan vuosien 2016 ja 2018 kulutuslukemia.

Kompassikadulla ensimmäisellä lämmityskaudella lämpöenergian normeerattu kulutus laski 7,5 prosenttia 108 megawattitunnista 100 megawattituntiin. Vedenkulutus on kuitenkin noussut samalla aikavälillä jopa 6,7 prosenttia, joten lämpimän käyttöveden lämmittämisen osuus kaukolämmön kulutuksesta on aiempaa suurempi. Samalla vedenkulutuksella vertailtuna säätöjärjestelmän tuottamat lämpöenergian säästöt ovat hieman suuremmat. (Kuvio 14)

Kalastajanmäessä energiankulutus on tippunut vertailuvuosien 2016 ja 2018 välillä 8,5 prosenttia 791 megawattitunnista 723 megawattituntiin huolimatta 6,9 prosenttia kasvaneesta vedenkulutuksesta. (Kuvio 15)



Kuvio 14. (M2-Kodit kulutusseuranta)



Kuvio 15. (M2-Kodit kulutusseuranta)

## 6.2 Huipputehon muutokset

Kiinteistön lämmitysjärjestelmän ollessa reaaliaikaisesti säädettävissä etäyhteyden avulla, voidaan myös kiinteistön käyttämään kaukolämmön huipputehoon vaikuttaa. Korkeimmillaan teho on yleensä kylmimpänä vuodenaikana lämpimän käyttöveden kulutushuippuina. Tällöin lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa voidaan hetkellisesti pienentää ja kaukolämmön perusmaksun määrittävää tilausvesivirtaama ja -tehoa voidaan tarkistaa pienemmäksi.



Tässä työssä käsiteltävistä säätöjärjestelmistä vain säätöjärjestelmä 3:een kuuluu aktiivinen huipputehon seuranta ja leikkaus. Muihinkin säätöjärjestelmiin tämä on tulevaisuudessa tai tälläkin hetkellä erillishinnasta saatavilla. Huipputehonleikkausta käsitellään tässä työssä vain säätöjärjestelmä 3:n osalta.

Säätöjärjestelmä 3:ssa huipputehopisteitä kerätään tunneittain ja järjestelmä automaattisesti leikkaa tehohuippuja. Kalastajanmäki 3:ssa perusmaksun perustana olevaksi huipputehoksi on määritelty 240 kilowattia ja palvelun käyttöön oton jälkeen palveluntuottajan laskelman perusteella käytetty huipputeho 170 kilowattia.

### **6.3 Säätöjärjestelmien kustannukset ja elinkaarilaskenta**

Tässä kappaleessa on tarkoitus tutkia säätöjärjestelmien tuottamien energiankulutusten ja huipputehon säästöjen tuottamia kustannussäästöjä. Esimerkkikiinteistön osalta tehdään toteutuneiden säästöjen perusteella elinkaarilaskelma nykyarvomenetelmällä. Koko Y-Säätiön kiinteistökannan osalta lasketaan teoreettinen vuotuinen kustannussäästö, mikäli järjestelmä asennettaisiin Y-Säätiön kaikkiin kiinteistöihin ja säästöt olisivat samaa tasoa, kuin esimerkkikiinteistöissä.

Investoitaessa kiinteistöön säätöjärjestelmä, kustannuksia tulee laiteinvestoinista, järjestelmän palvelumaksuista ja niiden huoltokustannuksista. Laiteinvestoinnit sisältävät lähinnä asuntoihin rakennettavan anturiverkoston, etäyhteyden muodostamisen, jos sitä ei valmiina ole, ja kiinteistön lämmönsäätimen uusinnan tai olemassa olevan säätimen uudelleen ohjelmoinnin. Jokaiseen järjestelmään kuuluu vuosittainen palvelumaksu, johon sisältyy lämmön älykäs säätö, pilvipalvelu ja asiantuntijapalvelut tapauskohtaisesti. Järjestelmiin investoitaessa lähtökohta on, että energiakustannusten säästöt kattavat järjestelmien vuosittaiset palvelumaksut ja alkuinvestoinnin. Järjestelmien oheishyödyn lisäksi tavoitteena on, että säätöjärjestelmiin investointi on taloudellisesti kannattava sijoitus.

Säätöjärjestelmän elinkaari on vaikea määrittellä. Rakennusautomaatiojärjestelmissä on tietty elinkaari, mutta automaatiolaitteet on saneerattava joka tapauksessa määräväleihin säätöjärjestelmästä huolimatta. Asuntojen huoneanturien paristojen eliniäksi on määritetty 5-10 vuotta, mutta luultavasti paristojen loppuessa kannattavinta on uusia koko anturi, koska anturin hinta on edullinen pariston hintaan ja sen vaihtotyöhön nähden. Energiatehokkuussopimuksen raportoinnissa älykkään säätöjärjestelmän elinkaarena käytetään tavallisesti 15 vuotta, joten tässäkin laskennassa käytetään sitä. Tähän ajanjaksoon sisältyy huoneanturien uusiminen kertaalleen, mutta rakennusautomaatiolaitteiden uusimista ei lasketa.

Säästöjärjestelmien hinnoittelu on vaihtelevaa. Osa toimittajista tuottaa palvelua kuukausihinnalla, joka sisältää käyttöönoton, anturit ja palvelun. Toinen tapa on, että laitteistot laskutetaan käyttöönoton yhteydessä ja sen jälkeen on vuosittainen tai kuukausittainen palvelumaksu. Tarkkoja julkisia hinnastoja on vaikea löytää, vaan hinnoittelu tapahtuu asiakaskohtaisesti. Tampereen Sähkölaitoksen tarjoaman älykäs kaukolämpö -palvelusta heidän internetsivulla on ilmoitettu palvelun arvonlisäverolliseksi alkaen hinnaksi 5,50 euroa kuukaudessa asuntoa kohden. Julkisista lähteistä ei tarkempaa hintaa palveluille saada, joten käytetään edellä mainittua hintaa elinkaarilaskelmissa.

Laskelmassa on huomioitava myös laitteiden mahdolliset huoltokulut ja lisääntyneet huollon olosuhdemittaukset, kun sisälämpötilaa tapauskohtaisesti laskee. Säästöä voidaan olettaa saatavan energiakustannusten pienenemisen lisäksi järjestelmien datan perusteella selvitetävien ylläpitokorjausten budjetoinnista, jolloin erilliset kartoituskäynnit kiinteistöillä vähenevät.

Kalastajanmäki 3:ssa lämmityksen energiasta maksetaan Fortumille. Fortumin hinnaston mukaan Vakaalämpö -tuotteen energian arvonlisäveroton hinta Espoon alueella vuonna 2019 on 30,40 euroa megawattituntia kohden. Energimaksun lisäksi tulee tehomaksu, joka lasketaan alla olevalla kaavalla. Tehomaksuun perustuu kiinteistön arvioituun huipputehoon. (Tietoa kaukolämmön hinnoista)

$$\text{Tehomaksu} \frac{\text{€}}{\text{a}} = 90,20 * \text{kiinteistön käyttämä huipputeho (kW)} \quad (1)$$

**Kalastajanmäki 3**  
**Lämmitysenergian hinta ja säästöt**

<b>Ennen säätöjärjestelmän käyttöönottoa</b>		
Energian kulutus	791	MWh
Energian hinta	30,4	€/MWh
<b>Energiamaksu</b>	24046,4	€ alv 0%
Huipputeho	240	kW
<b>Perusmaksu</b>	21648	€ alv 0%
Yhteensä	45694,4	€ alv 0%
	56661,056	€ alv 24%

<b>Säätöjärjestelmän käyttöönoton jälkeen</b>		
Energian kulutus MWh	723	MWh
Energian hinta €/MWh	30,4	€/MWh
<b>Energiamaksu</b>	21979,2	€ alv 0%
Huipputeho	170	kW
<b>Perusmaksu</b>	15334	€ alv 0%
Yhteensä	37313,2	€ alv 0%
	46268,368	€ alv 24%

<b>Säätöjärjestelmän tuottama säästö</b>		
<b>Energiamaksu</b>	2563	€ alv 24%
<b>Perusmaksu</b>	7829	€ alv 24%
<b>Yhteensä</b>	10393	€ alv 24%

Taulukko 5. Kalastajanmäki 3:n säätöjärjestelmän tuottama muutos kaukolämmönkustannuksissa

Taulukosta voidaan todeta arvonlisäverollisten energiakustannusten tippuneen säätöjärjestelmän käyttöönoton jälkeen yli 10000 euroa eli 18,4 prosenttia. Tulosta voidaan pitää erittäin hyvänä investointiin nähden. Kohteen huipputehon pienentymisellä saavutettiin jopa 75 prosenttia säästöistä, joten huipputehonleikkaamisella on kustannuksiin suurempi vaikutus, kuin energian kulutuksen säästöllä. Kalastajanmäessä huipputeho on laskenut vertailuvuosina lähes 30 prosenttia, joka on paljon, sillä esimerkiksi lämmönsäätöpalveluita tuottava Leanheat lupaa noin 10-30 prosentin huipputehon pudotuksen. (Paremmat sisäolosuhteet pienemmillä..) Kohteen kaukolämmön huipputeho perustuu arvioituun tehoon ja se tarkistetaan tarvittaessa, joten on mahdollista, että kiinteistön käyttämä huipputeho on ollut arvioitua pienempi jo ennen säätöjärjestelmän käyttöönottoa.

Kustannussäästöt ei kuitenkaan synny ilmaiseksi, joten laskemissa on huomioitava säätöjärjestelmien investointi- ja palvelumaksut, ylimääräiset huollon käynnit olosuhdereklamaatioiden perusteella, laitteiden vuosihuollot ja ylläpitokorjaukset. Taulukko 6:ssä on lueteltu säätöjärjestelmän vuosittaiset kustannukset ja säästöt. Laskelmissa otetaan huomioon rahan arvon inflaatio ja energian hinnan nousu eli eskalaatio. Laskelma tehdään järjestelmän 15 vuoden elinkaarella. 15 vuoden ajanjaksolle huomioidaan anturien vaihto yhden kerran ja sen kustannukseksi on arvioitu Oumanin hinnaston mukaan 150 euroa asuntoa kohden. (Ouman hinnasto) Palvelumaksuksi on laskettu 5,5 euroa asuntoa kohden kuukaudessa (Älykkään kaukolämmön palvelupaketti) ja kustannussäästöihin korjausten vähentyneistä kartoituksista arvioitu 1000 euroa vuodessa. Laskelmassa huomioidaan laitteistojen normaalista poikkeavat huoltokäynnit 500 euroa vuodessa ja kahtena ensimmäisenä vuonna ylimääräiset huollon suorittamat olosuhdemittaukset 500 euroa vuodessa.

Kalastajanmäki 3: vuosittaiset säätöjärjestelmän säästöt ja kustannukset

	Säästö €/a	Kustannus €/a
Perusmaksu	7829	
Energiankulutus	2563	
Ylläpitokorjausten kartoitus	1000	
Palvelumaksut		4554
Ylimääräiset olosuhdemittaukset ja huollon käynnit		500
Laitteiden vuosihuollot		500
Ylläpitokorjaukset		690

Taulukko 6

Lasketaan ensin vuotuisen nettotuoton nykyarvo kaavalla:

$$A = \text{Energiansäästö} + \text{Perusmaksun säästö} + \text{Ylläpitokorjausten kartoitus} - \text{Palvelumaksut} - \text{Ylimääräiset olosuhdemittaukset} - \text{Laitteiden vuosihuolto} - \text{Ylläpitokorjaukset} = 0 \quad (2)$$

$$A = 2563\text{€} + 7829\text{€} + 1000\text{€} - 4554\text{€} - 500\text{€} - 500\text{€} - 690\text{€} = 5148\text{€}$$

Ensimmäisen vuoden nettotuotto on siis 5148 euroa ja siihen on huomioitu yhdelle vuodelle jaettu ylläpitokorjauksen kustannus. Tämä tarkoittaa siis, että järjestelmän tuotot ovat suurempia, kuin kustannukset.

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä, jossa diskontataan säästöt ja kustannukset nykyhetkeen ja vähennetään kustannukset tuotoista. Lasketaan kaavalla:

$$\begin{aligned}
 P_{NA} = & \text{Energiansäästö} * a''_{n \text{ energia}} + \text{Perusmaksun säästö} * a''_{n \text{ perusmaksu}} + \\
 & \text{Ylläpitokorjausten kartoitus} * a'_n - \text{Palvelumaksut} * a'_n - \\
 & \text{Ylimääräiset olosuhdemittaukset} * a'_n - \text{Laitteiden vuosihuolto} * a'_n - \\
 & \text{Ylläpitokorjaukset} * a'_n = 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

Kun tulokseksi saadaan suurempi kuin 0, investointi on kannattava valitulla korkovaatimuksella.

Energian hinnan eskalaatio lasketaan aiemman hintakehityksen perusteella. Laskelmassa käytetään Espoon alueen kaukolämmön energian hintoja vuonna 2004 ja 2019. Laskelmassa käytetään kaavaa:

$$f_{energia} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^{1/t} \tag{4}$$

Kaavassa  $I_1$  on energian hinta vuonna 2004,  $I_2$  on energian hinta vuonna 2019 ja  $t$  on aikaväli vuosina.

$$f_{energia} = \left(\frac{62,29 \text{ €/MWh}}{30,5 \text{ €/MWh}}\right)^{1/15} = 0,0487 = 4,87 \text{ \%/a}$$

Perusmaksun eskalaatio lasketaan samalla kaavalla perusmaksun kehityksen energiankulutuksen megawattituntia kohde:

$$f_{perusmaksu} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^{1/t} \tag{5}$$

$$f_{perusmaksu} = \left(\frac{22,84 \text{ €/MWh}}{9,70 \text{ €/MWh}}\right)^{1/15} = 0,0587 = 5,87 \text{ \%/a}$$

Energian hinnan ja perusmaksun inflaatio eli tässä tapauksessa eskalaatio saatiin selville yllä olevista laskelmista. Diskonttaustekijää varten tulee laskea reaali korko  $r$ :

$$r_{energia} = \frac{i - f_{energia}}{1 + f_{energia}} \quad (6)$$

Nimelliskoroksi  $i$  määritellään tässä laskelmassa 10%

$$r_{energia} = \frac{0,1 - 0,0487}{1 + 0,0487} = 0,0489 = 4,89\%$$

$r_{perusmaksu}$  lasketaan samalla kaavalla:

$$r_{perusmaksu} = \frac{0,1 - 0,0587}{1 + 0,0587} = 0,0390 = 3,90\%$$

Energian hinnan diskonttaustekijä lasketaan kaavalla  $a_n''$ :

$$a_n'' = \frac{1 - (1 + r_{energia})^{-n}}{r_{energia}} \quad (7)$$

$$\text{Energian hinnan diskonttaustekijä} = a_n'' = \frac{1 - (1 + 0,0489)^{-15}}{0,0489} = 10,45a$$

$$\text{Perusmaksun diskonttaustekijä} = a_n'' = \frac{1 - (1 + 0,0390)^{-15}}{0,0390} = 11,20a$$

Energiansäästöjärjestelmien muille säästöille ja kustannuksille lasketaan elinkaaren reaalikorko ja diskonttaustekijä. Nimelliskorkona käytetään edelleen 10 prosenttia ja inflaationa 2 prosenttia.

$$r = \frac{i - f}{1 + f} = \frac{0,1 - 0,02}{1 + 0,02} = 0,0784 = 7,84\% \quad (8)$$

Reaalikoron perusteella lasketaan diskonttaustekijä  $a_n'$ :

$$a'_n = \frac{1-(1+r)^{-n}}{r} = \frac{1-(1+0,0784)^{-15}}{0,0784} = 8,64a \quad (9)$$

Sijoitetaan arvot aiemmin esitettyyn kaavaan, jolloin saadaan nykarvo:

$$P_{NA} = 2563\text{€}/a * 10,45a + 7829\text{€}/a * 11,20a + 1000\text{€}/a * 8,64a - 4554\text{€}/a * 8,64a - 500\text{€}/a * 8,64a - 500\text{€}/a * 8,64a - 690\text{€}/a * 8,64a = 0$$

$$P_{NA} = 69\,160\text{€}$$

Laskelman perusteella elinkaaren nykyarvoksi saadaan positiivinen tulos eli 10 prosentin korkovaatimuksella hanke on kannattava ja se olisi kannattava suurem-  
paakin korkovaatimusta käytettäessä.

Epävarmuutta edellä olevan elinkaarilaskelmaan tuo kuitenkin kaukolämmön hin-  
nan muutokset, jotka voivat huomattavasti poiketa arvioidusta. Toisaalta ener-  
gian hinta ei odoteta kuitenkaan laskevan, kun energiayhtiöt joutuvat tekemään  
iso investointeja vähäpäästöisempiin tuotantomuotoihin. Hinnan noustessa ra-  
halliset säästöt kasvavat. Säästöjärjestelmien palvelumaksuissa on myös suurta  
vaihtelua, joten käytettävissä oleva niin sanottu taulukkohinta voi olla hyvinkin  
kaukana todellisista maksuista. Myös kiinteistön kulutuksen kehitys on epävar-  
maa ja voi muuttua merkittävästi vertailuvuodesta aikaisemmin mainittujen teki-  
jöiden vuoksi. Ylläpitokustannukseksi laskettujen anturien vaihdon kustannukset  
ei vaikuta merkittävästi elinkaaren kokonaissäästöihin ja oletettavaa onkin, että  
anturien hinnat ei nykyisestä nouse voimakkaasti.

Y-säätiön kiinteistökantaan kuuluu 258 eri paikkakunnilla sijaitsevaa kaukoläm-  
mitteistä kiinteistöä, joiden yhteenlaskettu kaukolämmön normeerattu kulutus oli  
vuonna 2018 108 544 MWh.

Jos koko Y-Säätiön kiinteistökannassa otettaisiin käyttöön älykäs kaukolämmön  
säästöjärjestelmä energiankulutuksen ja huipputehon pienentyminen olisi merkit-  
tävää. Säästöjärjestelmien palveluntuottajat lupaavat energiansäästöksi jopa 5-20  
prosenttia, mutta tämän työn esimerkkikohteiden perusteella energiansäästö jää  
alle 10 prosenttiin. Varovasti arvioituna koko kiinteistökannan energiansäästö

säästöjärjestelmien käyttöönoton jälkeen voisi olla noin viisi prosenttia. Tällä säästöprosentilla laskettuna koko kiinteistökannan vuotuinen energiankulutus laskee noin 5427 MWh/a. Energiankulutuksen väheneminen on lähes saman verran, kuin Y-Säätiön Espoon 13 kiinteistön lämmittäminen kuluttaa energiaa tällä hetkellä.

Taulukko 7:ssä on laskettu Y-Säätiön kiinteistökannan kaukolämmityksen kustannukset paikkakunnittain. Energiankulutus on saatu Y-Säätiön kulutusseurantajärjestelmästä ja paikkakuntakohtaiset kaukolämmön energia- ja tehomaksut energiateollisuuden viimeisimmästä hintatietotaulukosta. Laskelman perusteella kiinteistöjen kaukolämmitykseen kuluu vuosittain lähes 8,5 miljoonaa euroa. Säästöjärjestelmien avulla tästä voitaisiin laskennallisesti säästää noin 0,5 miljoonaa euroa, josta energiamaksun osuus olisi 336 000 euroa ja tehomaksun osuus 167 000 euroa. Laskelmassa on käytetty energiansäästönä 5 prosenttia ja tehonsäästönä 10 prosenttia. Kuten esimerkkitapahtuman laskelmissa on osoitettu säästöt voivat olla tätäkin suuremmat yksittäisissä kohteissa, mutta osassa kohteissa voi energian säästö olla pienempi. Säästöt tehomaksusta on laskettu suoraan arvioidun tehonsäästön prosenttiosuutena nykyisestä maksusta ja epävarmuutta siihen tekee se, että kaukolämpöyhtiöillä on erilaisia tapoja määrittää perusmaksu, eikä niitä välttämättä voi tarkistaa vuosittain.

#### Y-Säätiön kiinteistöjen kaukolämmön kulutuksen hinnat ja säästöt

Paikkakunta	Kaukolämmön kulutus MWh (2018)	Energiamaksu €/MWh	Tehomaksu €/MWh	Energiamaksu €	Tehomaksu €
Espoo	5580	62,29	22,84	347578	127429
Harjavalta	189	69,59	7,03	13153	1328
Helsinki	20907	62,35	15,85	1303551	331463
Hyvinkää	3906	61,67	9,23	240883	36033
Hämeenlinna	2326	66,83	18,03	155447	41949
Iisalmi	665	61,67	19,34	41011	12860
Imatra	1785	67,15	6,09	119863	10866
Joensuu	1979	58,26	20,27	115297	40122
Jyväskylä	3016	58,03	16,32	175018	49226
Järvenpää	4847	65,32	21,08	316606	102175
Kangasala	304	79,98	10,16	24314	3089
Kerava	2182	72,68	11,00	158588	24011



Keuruu	219	73,78	10,84	16158	2375
Kirkkonummi	2690	62,29	22,84	167560	61431
Kotka	1905	62,16	13,51	118415	25742
Kouvola	1861	65,00	14,77	120965	27480
Kuopio	2642	57,58	13,74	152126	36295
Lahti	13239	63,70	13,42	843324	177708
Lappeenranta	371	70,50	11,58	26156	4297
Nokia	197	59,17	20,05	11656	3949
Oulu	5476	53,90	8,35	295156	45697
Pirkkala	1908	63,55	12,55	121253	23943
Pori	396	59,62	16,37	23610	6484
Porvoo	4873	66,28	9,54	322982	46502
Rauma	341	50,54	11,57	17234	3944
Rovaniemi	1090	57,83	21,82	63035	23780
Salo	1033	83,18	4,99	85925	5153
Sastamala	144	64,54	14,30	9294	2060
Tampere	4282	63,55	12,55	272121	53734
Turku	1110	76,85	11,79	85304	13090
Tuusula	345	65,32	17,00	22535	5865
Vaasa	150	55,00	8,09	8250	1213
Vantaa	16060	56,37	19,49	905302	313055
Ylöjärvi	526	63,55	12,55	33427	6601

<b>Yhteensä</b>	6733097	1670949
Säästö-%	5 %	10 %
Säästö €	336655	167095
<b>Yhteensä</b>	<b>503750</b>	<b>Euroa</b>

Taulukko 7. Y-Säätiön kiinteistökannan säästöt.

#### 6.4 Energiansäästön vaikutus hiilidioksidipäästöihin

Esimerkkikiinteistönä käytettävä Kalastajanmäki 3 sijaitsee Espoossa ja sen kaukolämmön jakelusta vastaa Fortum Power and Heat Oy. Kaukolämpö tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona, mutta uusiutuvan energian osuus lämmön-  
tuotannosta oli vuonna 2018 vain 9 prosenttia. Kaukolämpö tuotetaan pääosin  
maakaasulla ja kivihiilellä. /50/ Espoon alueella Fortumin ilmoittamat kaukoläm-  
mön tuotannon hiilidioksidin ominaispäästöt olivat vuonna 2018 noin 300  
kgCO<sub>2</sub>/MWh, kun koko Suomen yhteistuotannon keskimääräiset hiilidioksidi-  
päästöt ovat viimeisen viiden vuoden keskiarvona 164 kgCO<sub>2</sub>/MWh. (CO<sub>2</sub> las-  
kennan päästökertoimet, kaukolämpöä yhä puhtaammin)

Kiinteistö energiankulutuksen pienentyessä, myös kiinteistökohtainen hiilijalanjälki pienenee. Todellinen hiilijalanjälki riippuu kuitenkin siitä, miten ostettu energia on tuotettu. Tämän kappaleen päästölaskennassa huomioidaan paikkakunta-kohtaiset kaukolämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt siinä tarkkuudessa, kuin tieto on lämmön toimittajilta saatavissa.

Kalastajanmäen energiankulutus vuonna 2016 oli 791 megawattituntia ja säätöjärjestelmän käyttöönoton myötä se laski 8,5 prosenttia 723 megawattituntiin. Kulutussäästö on siis 68 megawattituntia.

Kaukolämmön kulutuksen säästötoimenpiteet vaikutus kiinteistön hiilidioksidipäästöihin on (CO<sub>2</sub> laskentaohje):

$$CO_2 - \text{päästöt pienenevät } (kgCO_2) = \text{Kaukolämmön kulutuksen pieneneminen } \left(\frac{MWh}{a}\right) * \text{Kaukolämmön } CO_2 - \text{päästökerroin } \left(\frac{kgCO_2}{MWh}\right) \quad (10)$$

$$68 \frac{MWh}{a} * 300 \frac{kgCO_2}{MWh} = 20400 \text{ } kgCO_2/a$$

Kiinteistön yhden vuoden hiilidioksidipäästöt vähenevät siis 20400 kgCO<sub>2</sub>. 15 vuoden laskennallisen elinkaaren aikana päästöt vähenisivät lähtötilanteeseen nähden noin 306000 kgCO<sub>2</sub>. Lämmön tuottajat tekevät kuitenkin koko ajan työtä tuotannon päästöjen vähentämiseksi, joten voidaan olettaa, että Fortumin tuotannon päästöt eivät pysy samalla tasolla seuraavat 15 vuotta. Fortum onkin ilmoittanut Espoon alueella kaukolämmön tuotannon hiilineutraaliuden olevan vuonna 2022 50 prosenttia ja vuonna 2025 hiilineutraalisuus olisi jo 85 prosenttia. /53/ Tavoite on kunnianhimoinen, mutta sitä tukee Energiategorollisuuden julkaisu, jonka mukaan viimeisen kymmenen vuoden aikana tuotannon päästöt ovat laskeneet lähes 30 prosenttia ja seuraavalla vuosikymmenellä päästöt laskevat alle puoleen. (Kaukolämmön päästöt)

Fortumin ilmoittamien päästövähennysten kohdistuessa suoraan hiilidioksidin ominaispäästöihin alla olevan taulukon mukaisesti kiinteistön säästöjärjestelmän

tuottamat 15 vuoden elinkaaren päästövähennykset olisivat arviolta 139740 kgCO<sub>2</sub>, kun verrataan tilanteeseen, että energiantehokkuustoimenpidettä ei olisi tehty. Laskenta on kuitenkin hyvin teoreettinen, koska tuotannon päästöjen väheneminen esitetystä aikataulussa on hyvin epävarmaan. Myös kiinteistön kulutuksen pysyminen samalla tasolla on epätodennäköistä. Kulutusta voi nostaa laitteiden ikääntymisen myötä toimintahäiriöt ja toisaalta kulutus voi laskea esimerkiksi uusien energiatehokkuusinvestointien, ylläpitokorjauksien ja säätöjärjestelmän kehityksen myötä.

Entisestään laskentaa sekoittaa myös se, että osa kaukolämpöyhtiöistä tarjoaa vaihtoehtoisena tuotteena asiakkaille hiilidioksidipäästövapaata lämpöä, joka on tuotettu täysin uusituvalla energialla, jolloin hiilidioksidipäästöjä ei ole. (Kestävä kehitys 2018)

### Kalastajanmäki 3 CO<sub>2</sub> päästöt

Vuosi	Tuotannon päästöt kgCO <sub>2</sub> /MWh	Kulutussäästö MWh/a	Päästöjen väheneminen kgCO <sub>2</sub> /a
2017	300	0	0
2018	300	68	20400
2019	300	68	20400
2020	300	68	20400
2021	300	68	20400
2022	150	68	10200
2023	150	68	10200
2024	150	68	10200
2025	45	68	3060
2026	45	68	3060
2027	45	68	3060
2028	45	68	3060
2029	45	68	3060
2030	45	68	3060
2031	45	68	3060
2032	45	68	3060
2033	45	68	3060
<b>Yhteensä</b>			139740

Taulukko 8. Kalastajanmäki 3 säästöjärjestelmän elinkaaren aikaiset CO<sub>2</sub> päästöt.

Y-Säätiön koko kaukolämmitteisen kiinteistökannan hiilidioksidipäästöt on laskettu taulukossa 9 Motivan laskentaohjeen mukaisesti. Laskentaohjeen mukaan

kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantoalueilla käytetään CO<sub>2</sub>-kerrointa 164 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on viiden viimeisen vuoden keskiarvo. Tätä kerrointa käytetään niiden paikkakuntien osalta, joiden lämmöntoimittaja ei todellista kerrointa ilmoita. Kaukolämmön erillistuotanto alueille on laskentaohjeessa paikkakunnittain omat CO<sub>2</sub>-kertoimensa, jota taulukon laskelmissa on käytetty. Tällä laskentaohjeella laskettuna koko kiinteistökannan yhteenlaskettu vuotuinen CO<sub>2</sub>-päästö on 20 431 095 kg CO<sub>2</sub>/a eli noin 20 431 tCO<sub>2</sub>/a.

#### Y-Säätien kiinteistöjen kaukolämmön kulutuksen CO<sub>2</sub> päästöt

Paikkakunta	Kaukolämmön kulutus MWh (2018)	Yhteistuotannon CO <sub>2</sub> -kerroin kgCO <sub>2</sub> /MWh	Erillistuotannon CO <sub>2</sub> -kerroin kgCO <sub>2</sub> /MWh	CO <sub>2</sub> Päästöt kg CO <sub>2</sub> /MWh
Espoo	5580	300	-	1674000
Harjavalta	189	14,4	-	2722
Helsinki	20907	158	-	3303306
Hyvinkää	3906	164	-	640584
Hämeenlinna	2326	164	-	381464
Iisalmi	665	315	-	209475
Imatra	1785	-	20	35700
Joensuu	1979	-	450	890550
Jyväskylä	3016	164	-	494624
Järvenpää	4847	300	-	1454100
Kangasala	304	-	200	60800
Kerava	2182	139	-	303298
Keuruu	219	164	-	35916
Kirkkonummi	2690	-	20	53800
Kotka	1905	89	-	169545
Kouvola	1861	164	-	305204
Kuopio	2642	155	-	409510
Lahti	13239	164	-	2171196
Lappeenranta	371	109	-	40439
Nokia	197	164	-	32308
Oulu	5476	164	-	898064
Pirkkala	1908	180	-	343440
Pori	396	176	-	69696
Porvoo	4873	164	-	799172
Rauma	341	164	-	55924
Rovaniemi	1090	164	-	178760
Salo	1033	164	-	169412
Sastamala	144	164	-	23616
Tampere	4282	180	-	770760
Turku	1110	204	-	226440
Tuusula	345	-	150	51750

Vaasa	150	164	-	24600
Vantaa	16060	247	-	3966820
Ylöjärvi	526	-	350	184100
	108544 MWh		<b>Yhteensä</b>	20431095 kg CO2/a

Taulukko 9. Y-Säätiön kiinteistökannan CO2 päästöt

## 7 MITTAUSTIETOJEN ANALYSOINTI

Y-Säätiössä sisäilmaolosuhteiden osalta noudatetaan sosiaali- ja terveysministeriön asetusta 545/2015, joka määrittää esimerkiksi sisäilmanlämpötilalle suositukset ja toimenpiderajat. Y-Säätiössä on päätetty asettaa asuinhuoneistojen tavoitelämpötilaksi 21 °C ja erityisryhmien asunnoissa 22 °C. Tavoitteena on ollut asettaa lämpötila sellaiseksi, että olosuhteet ovat viihtyisät ja terveelliset, mutta energiakustannukset ja sitä kautta hiilijalanjälki pysyisivät maltillisina. Yksittäistapauksissa tavoitteista on jouduttu poikkeamaan yksittäistapauksissa etenkin tilanteissa, joissa asunnossa on ollut poikkeuksellisen rakenteiden ilmavuodoista johtuvaa poikkeuksellisen kovaa vedon tunnetta, joita ei ole ollut helposti korjattavissa. Asuntojen lämpötilaan on pääsääntöisesti puututtu, kun asunnon lämpötila on laskenut alle 20 °C. Yliämpöön puuttuminen on tapauskohtaista ja riippuu muiden asuntojen lämpötilasta eli lämmitysverkoston tasapainosta. Lämmityskaudella asuntojen yliämpöä on voitu laskea, kunhan kylmimmän asunnon lämpötila ei laske alle 20 °C.

Ilman suhteellista kosteutta seurataan huoneantureiden mittauksilla ja kosteuden noustessa pitkäaikaisesti talvella yli 45 % RH:n ja kesällä yli 65 % RH:n, pyritään syy selvittämään esimerkiksi ilmanvaihdon toiminnantarkastuksella.

Säätöjärjestelmien pilvipalveluihin on mahdollista asettaa ilman suhteelliselle kosteudelle ja lämpötilalle raja-arvot, joiden ylittyessä järjestelmän antaa hälytyksen. Näin poikkeamiin voidaan puuttua mahdollisimman nopeasti.

### 7.1 Asunnon lämpötila- ja kosteusolosuhteet

Lämmönsäätöjärjestelmien pilvipalveluista nähdään asuntojen reaaliaikainen, muutaman kerran tunnissa päivittyvä, lämpötila ja mittauksen perusteella luotu pidemmän aikavälin kuvaaja. Kuvaajasta nähdään lämpötilan käyttäytyminen eri kellonaikana, sääolosuhteissa ja huipputehon leikkauksen aikana. Tätä lämpötilan historiatietoa, voidaan käyttää esimerkiksi lämpötilareklamaation ja rakennuk-

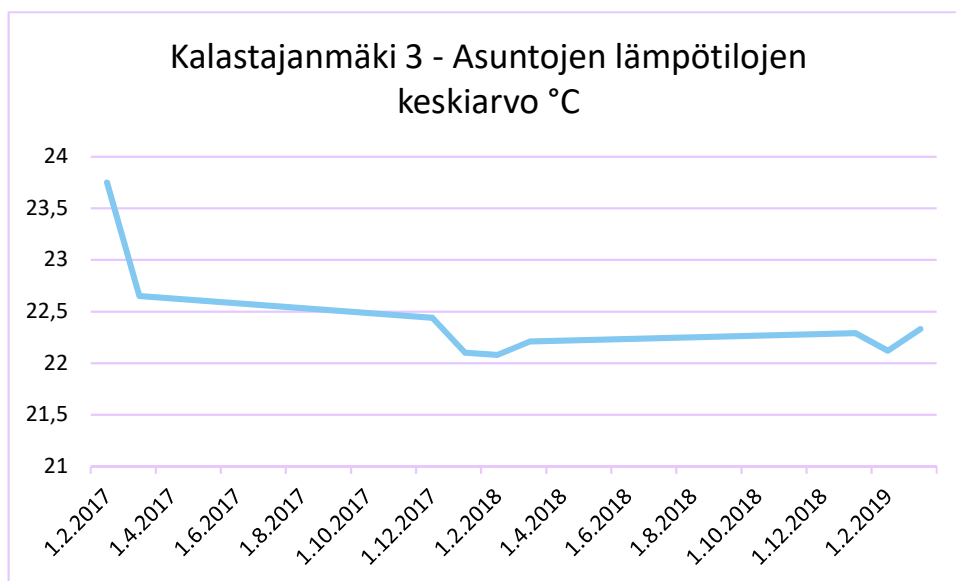
sen lämmitysverkoston tasapainon selvittämisessä. Pitemmän aikavälin kuvaajasta voidaan päätellä myös, johtuuko yksittäisen asunnon matala lämpötila tuulettamisesta, jos lämpötila on matalalla vain hetkellisesti. Säätojärjestelmät tyyppillisesti jättävät kylmimmän ja kuumimman asunnon lämpötilat pois lämmityksen ohjaukseen vaikuttavista sisälämpötiloista, koska poikkeava lämpötila saattaa johtua asukkaan toiminnasta.

Kompassikatu 7 23.9.2019 klo 20:15							
<b>Asunto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Lämpötila °C</b>	22,1	20,7	22,1	22,7	22,5	23,9	21,7
<b>Asunto</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>Lämpötila °C</b>	22,3	22,7	23,0	20,7	22,7	21,1	21,6
<b>Asunto</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
<b>Lämpötila °C</b>	22,6	24,0	22,2	22,5	23,3	23,6	23,0
<b>Asunto</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>
<b>Lämpötila °C</b>	22,0	22,9	23,2	22,9	22,0	21,2	22,8
<b>Asunto</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>KA</b>			
<b>Lämpötila °C</b>	23,2	21,8	22,2	22,4			

Taulukko 10. Kompassikatu 7:n asuntojen sisälämpötilat

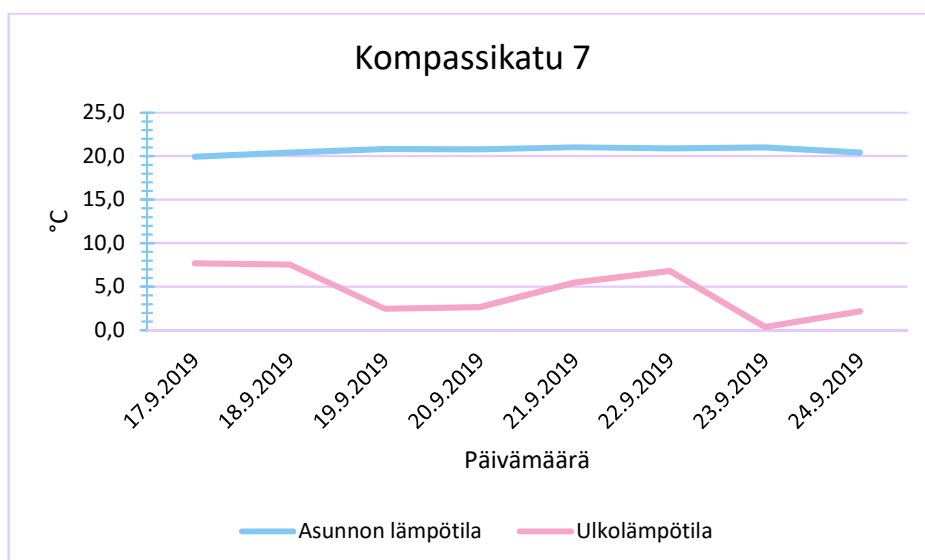
Taulukko 6 kuvaa asuntojen huoneanturien hetkelliset lämpötilalukemat Kompassikadulla Espoossa. Lukemien tallennushetkellä ulkolämpötila oli 4,9 °C ja lämmitysjärjestelmä oli käytössä. Lämpötilojen keskiarvo on 22,4 °C, joka on melko korkea, kun tavoitelämpötilaksi on määritelty 21 °C. Kylmimpien asuntojen lämpötila oli 20,7 °C, joka on lähellä tavoitelämpötilaa. Lämpötilaepätasapaino on 2,3 °C, jolla tarkoitetaan kylmimmän ja lämpimimmän mittauksen erotusta. Tässä tapauksessa lämpötilaepätasapaino on kohtuullisen pieni, koska lähelle nollan asteen epätasapainoa on erittäin vaikea päästä keskitetyssä lämmitysjärjestelmässä, kun asukkaalla on mahdollista säätää asunnon termostaatista lämpötilaa ja asuntojen lämpökuormat vaihtelevat. Tästä voidaan päätellä, että tavoiteltaessa asunnon lämpötilaksi 21 °C:sta, lämpötilojen keskiarvon pitää olla korkeampi, kuin tavoitelämpötila. Kyseisessä kohteessa suurin osa asunnoista on melko paljon yli tavoitelämpötilan, eikä kylmimmät asunnot ole alle 20 °C puuttumisrajan, joten keskilämpötilaa olisi mahdollista laskea. Tässä tapauksessa olisi järkevä tarkastaa kylmimpien asuntojen historiatiedoista lämpötilakäyttäytymi-

nen, josta voidaan päätellä, onko asunnossa esimerkiksi tuuletettu. Tämän perusteella voidaan tehdä päätös jättää kylmimmät asunnot keskiarvolaskennan ulkopuolelle ja näin laskea lämpötilatasoa.



Kuvio 16 Asuntojen keskiarvolämpötilat lämmityskausilla.

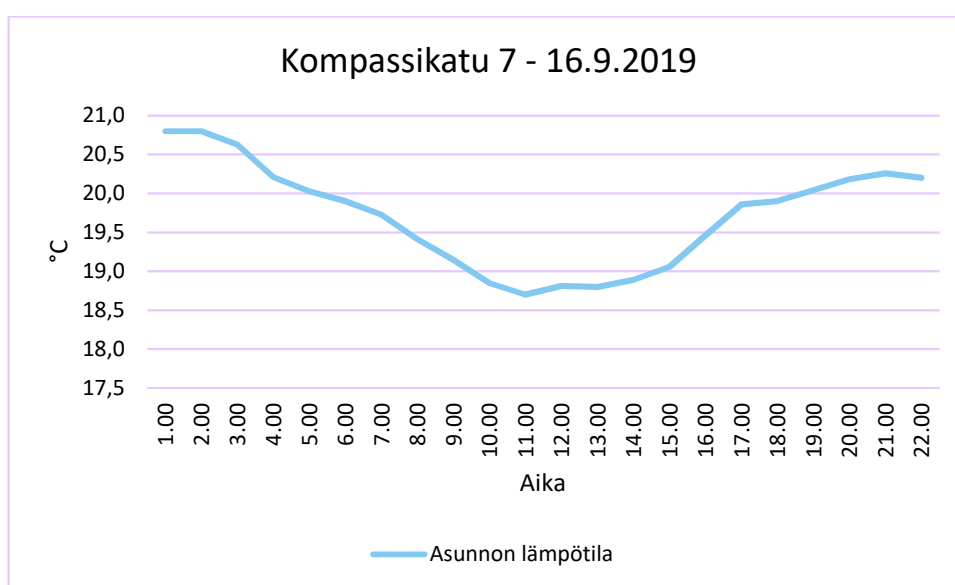
Kalastajanmäki 3:ssa lämpötilamittausta aloitettiin tallentamaan helmikuun alussa 2017, jolloin asuntojen lämpötilojen keskiarvo oli kuvio 15 mukaan 23,75°C. Älykkään säädön käynnistyttyä keskiarvolämpötila laski nopeasti noin asteella ja seuraavalla lämmityskaudella keskiarvolämpötila tasaantui noin arvoon 22,20°C, joka on noin 1,5 °C matalampi kuin ennen säätöjärjestelmän käyttöönottoa. Kuviossa 16 ei ole huomioitu lämmityskausien ulkopuolisia lämpötiloja.



Kuvio 17. Asunnon ja ulkoilman lämpötilat viikon ajanjaksolla.



Kuviosta 17 nähdään otantana yhden kylmimmän asunnon sisälämpötilan käyttäytyminen ulkolämpötilaan nähden noin viikon ajanjaksolla. Siitä voidaan päätellä asunnon lämpötilan pysyneen samalla tasolla, vaikka ulkolämpötila on jonkin verran vaihdellut. Sisälämpötila on pysynyt samalla tasolla, joten edellisessä taulukossa oleva hetkellinen viileähkö lämpötila on normaalia, eikä hetkellinen esimerkiksi tuuletuksesta johtuva tilanne. Kiinteistön keskilämpötilaa laskettaessa, tämän asunnon lämpötila todennäköisesti laskisi alle 20 °C, jota koitetaan välttämään. Lämmitysverkoston virtaamien hienosäädöllä olisi mahdollista tasata lämpötilaeroja, jolloin keskilämpötilaa voitaisiin laskea.



Kuvio 18. Yhden asunnon poikkeava vuorokautinen lämpötilamuutos.

Kuvio 18:sta nähdään asunnon vuorokauden mittaisen ajanjakson lämpötilamittaukset. Yöllä asunnon lämpötila on lähtenyt laskemaan noin 21 °C lämpötilasta ja pudonnut jopa alle 19 °C, jonka jälkeen lämpötila on noussut iltapäivällä takaisin normaaliin lämpötilaan. Kyseisen asunnon lämpötila on tavallisesti pysynyt normaalissa, eikä muissa asunnoissa ole nähtävissä vastaavaa lämpötilakäyttämistä, joten tämän poikkeavan lämpötilan laskun voidaan mahdollisesti päätellä johtuvan esimerkiksi auki jääneestä ikkunasta, joka on suljettu lämpötilan lähtiessä nousemaan. Poikkeavien lämpötilamuutosten syyt eivät kuitenkaan ole varmuudella todettavissa mittaustiedosta, mutta edellä mainitun kaltaiset poikkeamien syy on todennäköisesti asukkaan toiminnassa johtuvaa, joten tarkempaan selvitykseen ei ole tarvetta.

## 7.2 Säätojärjestelmien herkkyytarkastelu

Säätojärjestelmistä saadaan eniten hyötyä energiankulutuksen vähenemiseen ja sisäilmaolosuhteiden parantamiseen, kun rakennus ja sen tekniset laitteet toimivat optimaalisesti. Tämä tarkoittaa, että rakennuksen vaipassa ei ole poikkeavia ilmapuotoja sekä ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmä on tasapainossa. Lämmönsäädön tapahtuessa pilvipalvelun kautta on myös ohjelmiston ja etäyhteyden rakennukseen toimittava koko ajan.

Säätojärjestelmien menoveden lämpötilan säätö perustuu pääasiassa asuntojen sisälämpötilan mittaamiseen, joten tällöin sisäilman mittauksen pitää olla mahdollisimman luotettava. Asuinhuoneen lämpötila mitataan 1,1 metrin korkeudelta asunnon oleskeluvyöhykkeeltä ja oleskeluvyöhykkeellä tarkoitetaan asetuksen mukaan huoneen osaa, joka on 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai kiinteistä osista. Huoneanturit on kuitenkin asennettu asunnon sisäseinille, joten mittaus ei tapahdu asetuksen mukaiselta oleskeluvyöhykkeeltä. Mittauksen epäluotettavuutta lisää myös jokaisen asunnon erilainen kalustus ja se, että mittaus tapahtuu vain yhdestä kohtaa asunnosta. Isossa asunnossa olosuhteet voivat vaihdella merkittävästi eri huoneiden välillä. Lämmityksen säätö ei kuitenkaan tapahdu asuntokohtaisesti vaan koko talon mittauksista lasketun keskiarvon perusteella, jolloin yksittäisten asuntojen epätarkat mittaukset eivät vaikuta koko talon lämmityksen säätöön. Säätoässä ei myöskään pystytä huomioimaan yksittäisten asuntojen patteritermostaattien asentoa. Yleensä termostaattien ylärajaa on rajoitettu, mutta esimerkiksi tilanteessa, jossa iso osa asukkaista haluaisi viileämpiä olosuhteita, anturien mittaus vaikuttaa keskiarvolaskentaan ja pyrkii nostamaan lämpötilaa asetettuun tavoitearvoon.

Anturit mittaavat pääasiassa ilman lämpötilaa ja kosteutta. Sisäilman lämpötilan tuntemukseen vaikuttaa merkittävästi ilman liike eli vedon tunne. Ilmanvaihtojärjestelmän ollessa epätasapainossa tai rakennuksen vaipassa on ilmapuotoja voi siitä aiheutua asuntoon merkittävää vedon tunnetta, jolloin sisäilmaolosuhteet ovat heikommat, kun anturin lämpötilamittaukset antavat olettaa. Ilman virtausnopeudelle on asetuksen 545/2015 mukaiset raja-arvot. Ilman nopeuden raja-

arvo on sitä pienempi, mitä matalampi lämpötila on. Tämän johdosta myös kiinteistön asuntojen vetoisuus pitäisi tunnistaa siinä vaiheessa, kun sisälämpötilan asetusarvoa määritellään lämmönsäätöjärjestelmään. Lähtökohtaisesti vanhemmat, koneellisella ilmanvaihdolla olevat kiinteistöt ovat vetoisempia, kuin uudet koneellisella tulo-poistoilmanvaihdolla varustetut kiinteistöt, koska ilmanvaihdon korvausilma tulee suoraan ulkoa. Myös uudempien talojen ikkunat, ovet ja rakenteet ovat tiiviimpiä, jolloin vetoisuus on pienempää.

Etenkin koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetussa kiinteistöissä asuntojen lämmityspatterin tehtävä on lämmittää ulkoa tuleva korvausilma ja estää ulkoseinää huonomman lämmönläpäisykertoimen omaavan ikkunan aiheuttama kylmän ilman virtaaminen asuntoon. Lämmönsäätöjärjestelmissä lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila voi olla hetkittäin erittäin viileä ulkoilmaan nähden tilanteissa, kun sisälämpötilat ovat korkealla. Tällöin patteri ei tuota lämpöoverhoaan ja sisäilman vetoisuus saattaa kasvaa. Kyseisissä tilanteissa menovedelle voitaisiin asettaa kiinteistökohtaisesti alarajarajoitus, jotta patteri ei olisi koskaan täysin kylmä. Tämä kuitenkin heikentää etenkin kaukolämmön huipputehon leikkauksen hyötyjä, kun lämmitysjärjestelmän venttiili ei voi olla kokonaan kiinni lämpimän käyttöveden kulutushuipun aikaan. Vetoisuutta voidaan vähentää vanhemmissakin kiinteistöissä pitämällä huolta ilmanvaihtojärjestelmän oikeasta toiminnasta ja tasapainosta sekä korjaamalla rakenteiden ilmavuodot.

Ilman kosteudella on myös vaikutusta asunnon lämpötilan tuntemukseen. Lämpötilan tavoitearvoksi määritelty 21 °C pätee, kun ilman suhteellinen kosteus on noin 50 prosenttia. Talvella ilman kosteus laskee ja voi pakkassäällä olla asunnossa 10-15 prosenttia. Tällöin tavoitelämpötilan pitäisi nousta 0,3 °C jokaista kymmentä kosteusprosenttia kohden. (lähde Seppänen) Kokemuksen mukaan säätöjärjestelmien tavoitelämpötila pysyy vakiona ympärivuoden, mutta tavoitelämpötila voisi olla kosteuden mukaan muuttuva, kun kosteutta mitataan. Sisäilmankosteuteen vaikuttaa kuitenkin ilmanvaihdon toimivuus ja asunnon sisäiset kosteuskuormat. Kosteustasoissa saattaa olla huomattavia eroja asuntojen välillä, vaikka ilmanvaihto toimisi normaalisti. Eroja kosteustasoissa aiheuttaa esimerkiksi ihmisten erilainen ruuan laitto ja pyykkien kuvaaminen, joten kosteuden vaikutus tavoitelämpötilaan saattaisi olla vaikeasti toteutettava.

Patteriverkoston tasapainolla on älykkäässä säätöjärjestelmässä, kuten perinteisessäkin säätötavassa, suuri merkitys energiakulutukseen. Suuri hajonta asuntojen lämpötiloissa nostaa sisälämpötilojen keskiarvoa, joka vaikuttaa menoveden lämpötilaan. Asuntojen sisäilmaa jatkuvasti mittaamalla verkoston tasapainosta on saatavilla tieto, jota on mahdollista käyttää verkoston tasapainottamiseen ja asuntojen lämpötilaerojen pienentämiseen. Kuten aiemmin on jo todettu lämpötilan mittaus ei ole täysin luotettavaa, koska siihen vaikuttaa anturin sijoitus, asunnon sisäiset lämpötilakuormat ja patterien termostaattien asento. Tämän vuoksi kiinteistön asuntojen lämpötilaeroa on mahdotonta poistaa kokonaan. Lämpötilaeroja voidaan pienentää patteriverkoston kokonaisvaltaisella tasapainotuksella, jossa jokaiselle patteri- ja linjasäätöventtiilille lasketaan virtaamat tai paine-erot ja säätöarvot. Laskettujen arvojen mukaan lämmitysverkosto mitataan ja säädetään tasapainoon. Kevyemmillään muutamien yli- tai alilämpimien asuntojen yksittäisten patteriventtiilien esisäätöarvoja voidaan muuttaa saavuttamalla asuntoon tavoiteltu lämpötila. Tällä keinolla on kuitenkin vaarana sekoittaa koko verkoston tasapainoa entisestään, kun yhden linjan virtaama muuttuu, muuttuu myös muiden linjojen virtaamat jonkin verran, eikä säätö perustu suunniteltuihin virtaamiin ja esisäätöarvoihin.

Säätöjärjestelmien vikaherkkyys voisi huolestuttaa, koska säätö toimii verkkoyhteyksien kautta, joten tilanteissa, joissa yhteys ei toimi pelätään lämmitysjärjestelmän pysähtyvän. Säätöjärjestelmät kuitenkin sisältävät kiinteistöllä olevan lämmönsäätimen, joka vikatilanteessa toimii itsenäisesti esimerkiksi ulkolämpötiläkäyrän perusteella.

## 8 JÄRJESTELMIEN KEHITTÄMINEN

Kuten tässä työssä on todettu, kiinteistön älykkäät lämmönsäätöjärjestelmät ovat hyödyllisiä monessa asiassa. Energiankulutuksen väheneminen perinteisiin lämmityksen ulkolämpötilakäyrän mukaiseen säätöön on todistettu ja sen lisäksi huipputehonleikkauksella saavutetaan huomattavia rahallisia säästöjä kaukolämpöliittymän perusmaksun pienenemisen kautta. Energiansäästön lisäksi järjestelmien pilvipalveluista on huomattavaa hyötyä kiinteistön lämmitysjärjestelmän toiminnan tarkkailussa ja sisäilmaolosuhteiden seurannassa.

Kyseisiä järjestelmiä on ollut markkinoilla kuitenkin melko lyhyen aikaa, joten järjestelmissä on vielä kehittämisen varaa. Tällä hetkellä järjestelmissä keskitytään pääasiassa lämmitysjärjestelmien älykkääseen ohjaukseen, mutta kiinteistön muut energiavirratt ovat jääneet vähemmällä huomiolla. Asuinkiinteistön ilmanvaihto on kuitenkin iso osa kiinteistön energian kokonaiskulutuksesta. Ilmanvaihdon osuus asuinkerrostalon lämpöhäviöistä ilman lämmöntalteenottoa on jopa 25-35 prosenttia. /lähde Motiva/ Säätöjärjestelmiin voitaisiin yhdistää koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon tai koneellisen poistoilmanvaihdon ohjaus. Järjestelmien avulla voitaisiin ilmanvaihtoa ohjata tarpeen mukaisemmin ja huipputehonleikkauksessa tuloksiin voitaisiin vaikuttaa ilmanvaihdon tuloilman lämpötilan hetkellisellä muutoksella. Ilmamääriä voitaisiin tarpeen mukaistaa asuintaloissakin asuntojen läsnäolotiedon ja hiilidioksidimittausten perusteella.

Anturitekniikan hinnat ovat laskeneet huomattavasti viime vuosina ja tekniikka on kehittynyt. Nykyisin käytössä olevien langattomien antureiden pariston elinikä voi olla jopa 5-10 vuotta, joten saattaa olla järkevintä vaihtaa anturi kokonaan uuteen pariston loputtua. Etäyhteyksien lisääntyessä ja laitteiden siirtyessä langattomuuteen, myös tietoturvalle on merkitystä. Palveluntarjoajat ovat nykyisellään huomioineet tietoturvan ja yhteydet onkin suojattu palomureilla, mutta tietoturvan kehityksenkin on pysyttävä muun kehityksen mukana.

Kiinteistön ylläpidon työkaluna järjestelmien pilvipalvelut ovat osoittaneet hyötyänsä. Kiinteistönomistajalle kattavaan suuren kiinteistömassan ylläpitoon kuuluu

energiansäästöjärjestelmien pilvipalveluiden lisäksi rakennusautomaationetävalvontajärjestelmiä, kulutusseurantajärjestelmiä ja kiinteistöhallintajärjestelmiä. Usean eri järjestelmän käyttö on hankalaa, joten paras lopputulos käytettävyyden kannalta saadaan, kun nämä edellä mainitut järjestelmät olisivat saman palvelun alla tai ainakin saumattomasti yhteensopivia keskenään. Isossa kiinteistömassassa on yleensä paljon eri rakennusautomaatiolaitemerkkejä, joten tärkeää on myös, että palvelut ovat mahdollisimman laitemerkkiriippumattomia.

Käyttöjärjestelmien helppokäytettävyys on myös tärkeää. Järjestelmien tulee olla mahdollisimman selkeitä ja helposti käytettäviä, jotta ylläpitohenkilöstö oppii niitä säännöllisesti käyttämään. Käyttöjärjestelmää luotaessa on arvioitava esitettävän tiedon tarpeenmukaisuus. Vaikea ja monimutkainen järjestelmä jää helposti käyttämättä, jolloin järjestelmän hyödyt eivät toteudu.

Kiinteistön omistajat tarvitsevat myös talotekniikkaan ja energiahallintaan erikoistuneita asiantuntijoita, joko omana työvoimana tai ostettuna palveluna. Asiantuntijoilla on osaamista seurata kiinteistön toimintaa ja reagoimaan oikealla tavalla poikkeamiin ja kulutusmuutoksiin. Nyt jo osaan säätöjärjestelmien palveluihin kuuluu asiantuntijoiden palvelut ja parhaimmassa tapauksessa poikkeaman havaitsemisesta sen korjaamiseen tapahtuu ilman kiinteistön omistajan työpanosta.

## 9 POHDINTA

Ilmastoasiat ovat olleet vahvasti esillä EU:n ja Suomen rakentaessa tulevaisuuden strategiaansa. Ilmastonmuutosta on pyrittävä hidastamaan ja yksi keino on energian kulutuksen pienentäminen ja sen tuotannon päästöjen hillitsiminen. Energiaa on pyrittävä käyttämään tehokkaammin samaan aikaan, kun tuotannossa on haettava energiatuotannon tapoja, joilla ympäristökuormitusta vähennetään. Tuotannon osalta tämä tarkoittaa lähinnä keskittymistä uusiutuvilla luonnonvaroilla tuotettuun energiaan. Kuten energiatehokkuusdirektiivien asetuksista ja niiden uudistamisnopeudesta voidaan päätellä, energian tuotannon ja käytönmuutos on tapahduttava nopeasti.

Kaukolämpö on ollut perinteinen lämmitystapa suomalaisissa kiinteistöissä kymmeniä vuosia. Lähtökohtaisesti jokainen rakennus on liitetty kaukolämpöön, jos kaukolämpöverkosto on ollut lähellä. Kuitenkin viimeisen kymmenen vuoden aikana suhtautuminen kaukolämpöön on muuttunut ja sitä ei enää pidetä kaikissa tapauksissa parhaana lämmitysmuotona. Syynä tähän on ollut ensisijaisesti kaukolämmön hinnan voimakas nousu ja kaukolämmön ympäristöystävällisyyden epäily. Hinnan nousu onkin ollut voimakasta viimeisen kymmenen vuoden aikana ja sitä on perusteltu tuotantomuotojen kehittämisen kustannuksilla sekä raskaan ja vanhentuvan kaukolämpöverkon kasvavilla ylläpitokustannuksilla. Kustannuksia on nostanut myös uusiutumattomien polttoaineiden hinnan nousu, joita vieläkin käytetään Suomessa laajasti kaukolämmön tuotantoon. Kaukolämmön tuotanto kuitenkin kehittyy jatkuvasti ja vanhoista maakaasua, öljyä, turvetta ja kivihiiltä polttavista laitoksista ollaan luopumassa ja tilalle tulee hyvällä hyötysuhteella ja uusiutuvia polttoaineita käyttäviä yhteistuotantolaitoksia.

Kiinteistöjen lämmitysmuotona kaukolämmön suosiota on vähentänyt myös kehittynyt lämpöpumpputekniikka, joka on monessa tapauksessa osoittautunut uuden, vähän lämmitysenergiaa kuluttavan kiinteistön, taloudellisemmaksi lämmitysmuodoksi. Nykypäivänä ei ole itsestään selvää liittää kaukolämmön alueella oleva uudiskohde kaukolämpöön, vaan etenkin pientalokohteissa lämmitysmuodoksi valitaan usein maalämpö tai poistoilmalämpöpumppu. Myös asuinkerrostoja on muutettu kaukolämmöstä maalämpöön, kun laskennalliset säästöt ovat

osoittaneet sen järkeväksi. Kaukolämpöyhtiölle tämä on vaikea tilanne ja heidän kehitettävä kaukolämmön houkuttelevuutta samaan aikaan, kun tuotannon kustannukset nousevat.

Digitalisaation myötä myös kiinteistöjen tekniset laitteiden valikoima on monipuolistunut ja hinnat laskeneet huomattavasti. Edullisen anturitekniikan ja kehittyneiden etäyhteyksien avulla on kehitetty kiinteistöjen älykkäitä lämmönsäätöjärjestelmiä, joilla pyritään tehostamaan kiinteistöjen lämpöenergian kulutusta tarpeen mukaisemmaksi ja ennakoivaksi. Tämän kaltaiset järjestelmät sopivat hyvin nykyiseen ilmasto suojelemaan ilmapiiriin. Kiinteistön omistajalle järjestelmien hyödyistä tärkein on energian kustannussäästöt, mutta kuten tässä työssä on tutkittu, hyötyjä on paljon muitakin rahallisten säästöjen lisäksi.

Kannattavaa liiketoimintaa harjoittavan vuokrataloyhtiön investoidessa älykkäiseen lämmönsäätöjärjestelmään, investointimuodosta riippuen, sen takaisinmaksuaika on oltava kohtuullinen tai palvelumaksujen jälkeen on synnyttävä kustannussäästöjä. Palveluntuottajien lupaukset kolmen vuoden takaisinmaksuajasta on monellakin mittarilla mitattuna erittäin kannattava sijoitus. Esimerkkikohteen säästölaskelmat osoittavatkin kustannussäästöjen olevan investointiin nähden suuria, mutta säästöjen suuruus vaihtelee kiinteistöittäin, kun siihen vaikuttaa kiinteistön olemassa oleva lämpötilataso, huipputehon oikeellisuus ja energian hinnan kehitys. Laskelman perusteella 10 prosentin sisäisellä korolla laskettuna investoinnin nykyarvo on vielä reilusti positiivinen 15 vuoden elinkaaren jälkeen.

Energiatohokkuusdirektiivien myötä Suomessa on käynnissä vapaaehtoisia energiatohokkuussopimuksia, joihin iso osa eri alojen suurista kiinteistön omistajista on liittynyt. Sopimukseen liittyneet sitoutuvat tekemään energiansäästötoimenpiteitä ja pudottamaan toimintansa energiankulutusta sopimusaikana määritellyn määrän. Vuokrataloyhtiöiden VAETS -toimenpideohjelmalle on kaudelle 2017-2025 asetettu liittyjälle 7,5 prosentit energiansäästötavoite. Älykkäisiin säästöjärjestelmiin investointi on osoittautunut kustannustehokkaaksi ratkaisuksi vuokrataloyhtiössä, kun pyritään täyttämään energiansäästötavoite.



Energiansäästön myötä lämmönsäätöjärjestelmillä on vaikutus hiilidioksidipäästöihin. Kiinteistökohtaisesti päästövähennysten suuruus riippuu alueen lämmöntuotannon muodosta. Esimerkkilaskelmassa laskettiin Espoossa sijaitsevan asuinkerrostalon päästöjen vähentyminen säätöjärjestelmän myötä. Tällä alueella lämpöä tuotetaan vielä paljon kivihieillä, joten päästöt ovat suuret. Esimerkkikohteen hiilidioksidipäästöt vähenivät 20400 kgCO<sub>2</sub>/a, mikä vastaa autolla maapallon ympäri ajettaessa noin 4,3 kierrosta, kun auton hiilidioksidipäästöt ovat 117 gCO<sub>2</sub>/km.

Energiansäästöjärjestelmiin sisältyy yleensä pilvipalvelu, josta pystytään seuraamaan rakennuksen mittaustietoja ja lämmitysjärjestelmän toimintaa. Kiinteistöjen ylläpidosta vastaaville henkilöille toteutetun kyselyn perusteella pilvipalveluja lämmitysjärjestelmien etävalvontatyökalua pidettiin hyödyllisenä. Etenkin mahdollisuutta asuntojen lämpötilojen seuraamiseen kiiteltiin, koska asukkaiden lämpötilareklamaatiot lämmityskaudella työllistävät kiinteistöhuoltoa ja isännöintiä. Asuntojen lämpötila- ja kosteusmittaus mahdollistaa ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän tasapainon seuraamisen, jolloin järjestelmien korjauksia pystytään ennakoimaan ja budjetoimaan tarpeen mukaisesti. Pilvipalveluiden täysmääräinen hyödyntäminen vaatii kuitenkin osaavaa henkilöstöä ja henkilöstön perehdyttämistä, jotta perinteisistä toimintatavoista päästään eroon. Huoltohenkilöstön pitää ymmärtää järjestelmien toimintaperiaate ja se, että lämmitys ei säädy pelkäämään ulkolämpötilakäyrän mukaisesti. Myös anturien mittaustuloksiin on osattava suhtautua oikein. On ymmärrettävä, että anturi mittaa vain yhdestä paikasta, jolloin se ei tarkoita, että koko asunnon olosuhteet ovat samalla tasolla. On ymmärrettävä kosteuden ja vedon vaikutus lämpötilatuntemukseen, jotta asunnon sisäilmaolosuhteet ovat hyvät.

Kaukolämpöyhtiöille lähtökohtaisesti lämmönsäätöjärjestelmät merkitsevät energian myyntitulojen vähenemistä, mutta alkujärkytyksen jälkeen hekin ovat huomanneet järjestelmien hyödyn lämmöntuotannosta. Kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien ollessa reaaliaikaisessa lämmönsäädössä sitä voidaan käyttää hyväksi kaukolämmön kysynnänjoustossa. Lämpöyhtiölle hyötyä tästä tulee, kun he voivat antaa ohjaussignaalia huipputuotannon aikaan, jolloin voidaan välttyä epä-

kannattavan varavoimalaitosten käytöltä. Juuri kysynnänjouston takia myös lämpöyhtiöt ovat alkaneet markkinoimaan älykkäitä säätöjärjestelmiä. Toki heidän intressi on saada osa laitemyynnistä ja järjestelmien palvelumaksuista.

Uusien laitteiden ja järjestelmien tullessa markkinoille, tulee usein esiin huoli niiden toimintavarmuudesta ja vikaherkkyydestä. Y-Säätöillä käytössä olevien järjestelmien kohdalla ei ole tullut vastaan mitään merkittäviä ongelmia, vaikka uudempien järjestelmien kohdalla palveluiden tuottajilla on ollut välillä haasteita ymmärtää rakennusten lämpötilakäyttäytymistä ja miten poikkeaviin muutoksiin reagoidaan. Huoneistoanturien toimintaan kohdistuu myös epäilyksiä. Lähinnä akun kesto, yhteyksien luotettavuus ja mittaustarkkuus on asioita, joista on vielä vähän kokemusta. Anturitekniikka on kuitenkin kehittynyt niin nopeasti, että jos muutamassa vuodessa on päästy eroon anturien varhaisimpien mallien kuuluvuusongelmista ja heikosta akun kestävydestä. Huoli järjestelmien toiminnasta, kun kiinteistön yhteys pilvipalveluun menetetään, on sinänsä turha, koska järjestelmät toimivat yleensä ilman yhteyttä normaalin lämmönsäätimen tapaan.

Älykkäitä lämmönsäätöjärjestelmiä on ollut markkinoilla vasta muutamia vuosia, joten järjestelmät ovat melko tuoreita. Järjestelmät ovat kehittyneet nopeasti testausvaiheesta uuden ajan lämmönsäätöjärjestelmäksi. Järjestelmät kuitenkin keskittyvä pääasiassa asuintalon päälämmitysjärjestelmän säätämiseen ja muu energian kulutus on toiminut perinteisellä tavalla. Säätöjärjestelmien tuottajilla on vielä tekemistä saada koko rakennuksen energiavirrat hallintaansa, jotta kokonaisuuden älykäs ohjaaminen on mahdollista. Asuintalojen lisäksi muun muassa julkisissa rakennuksissa ja teollisuusrakennuksissa olisi suuria energiamääriä, joiden älykkäällä ohjauksella voitaisiin saada erinomaisia tuloksia energian ja ilmaston säästämiseksi. Kansainvälisessä laajuudessa kaukolämmön optimoidulla ohjauksella voitaisiin tämän työn tuloksien perusteella saavuttaa huomattavia hiilidioksidipäästöjen leikkauksia, joilla olisi vaikutusta koko maapallon ilmastonmuutoksen vastaiseen taisteluun.

## 10 YHTEENVETO

Tässä työssä pohdittiin EU:n energiatehokkuusvaatimusten vaikutusta asuinrakennusten lämmittämiseen ja kaukolämmön tuotantoon. Työssä tutkittiin kaukolämmön älykkäiden säätöjärjestelmien hyötyjä ja haittoja kiinteistön omistajan näkökulmasta. Säätöjärjestelmien toimintaa ja niiden tuottamia säästöjä tutkittiin esimerkkikohteiden perusteella. Tuloksena voidaan todeta säästöjärjestelmien olevan kannattavia investointeja monessa asiassa. Vertailussa olevien kolmen säätöjärjestelmän energiansäästötulokset ovat samansuuntaisia, joten voidaan todeta, että lämmitysjärjestelmän älykkäällä ohjauksella on helposti saatavissa 5-10 prosentin energiansäästö ja lähes 10-30 prosentin säästö huipputehossa. energiansäästön kautta myös kiinteistöjen laskennalliset hiilidioksidipäästöt vähenevät huomattavasti. Palvelun valintaan vaikuttaa tietenkin sen kustannukset, joita tässä työssä ei tarkemmin vertailtu, koska hintatietoja on huonosti julkisesti saatavilla. Hinnan lisäksi palvelun valintaan vaikuttaa pilvipalveluiden käytettävyys ja niiden soveltuvuus eri käyttäjille.

Tutkittavien kohteiden osalta mittaus- ja kulutustietoa oli saatavilla melko rajoitusti johtuen palveluiden lyhyestä käyttöajasta, joten tulevaisuudessa olisikin mielenkiintoista tutkia lisää järjestelmien elinkaarikustannuksia ja sitä kuinka paljon todelliset säästöt vaihtelevat suuressa kiinteistömassassa. Laitteistojen elinkaaresta on myös melko vähän kokemusta, mutta laitteiden uusimiskustannukset eivät ole merkittäviä säästöihin nähden. Tutkimusta voisi myös jatkaa selvittämällä, mikä vaikutus järjestelmien toimintaan ja energiansäästöön on lämmitysjärjestelmän tasapainotuksella tai verkoston kevyellä hienosäädöllä. Kohdetta, joissa olisi tehty tasapainotus energiansäästöjärjestelmän käyttöaikana, ei Y-Säätiön kiinteistöissä ollut.

## LÄHTEET

Motiva. Lämmitysjärjestelmän valinta, kaukolämpö. Luettu 5.3.2019. [https://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo)

Energiateollisuus Ry. Kaukolämmön tuotanto. Luettu 5.3.2019. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon\\_tuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto)

Rakennusteollisuus. Rakennuksen energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit. Luettu 30.11.2019.

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/Energiatehokkuus-suunnitteluvaiheessa/>

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Jätteenpolto. Luettu 5.3.2019.

[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi\\_luvat\\_ ja\\_ ymparistovaikutusten\\_arviointi/Luvat\\_ilmoitukset\\_ ja\\_ rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpolto\\_ ja\\_ rinnakkaispolttolaitoks\(31207\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ ja_ ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ ja_ rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpolto_ ja_ rinnakkaispolttolaitoks(31207))

Energiateollisuus Ry. Jätteenpolton selvitys. Luettu 5.3.2019.

[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ ja\\_ materiaalipankki/materiaalipankki/jatteiden\\_energiahyodyntaminen\\_suomessa\\_poyry\\_2015.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ ja_ materiaalipankki/materiaalipankki/jatteiden_energiahyodyntaminen_suomessa_poyry_2015.html)

Ilmasto-Opas.fi -sivusto. Rakennusten lämmityksen energiankulutus. Luettu 5.3.2019.

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa.html>

Kaukolämpö.fi -sivusto. Miten kaukolämpö toimii. Luettu 5.3.2019

<https://kaukolampo.fi/miten-kaukolampo-toimii/>

Energiateollisuus Ry. Kaukolämpövuosi 2018. Luettu 5.3.2019

[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ ja\\_ materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampovuosi\\_2018\\_kivihiilen\\_kaytto\\_kaukolamossa\\_vahentynyt.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ ja_ materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampovuosi_2018_kivihiilen_kaytto_kaukolamossa_vahentynyt.html)

Tampereen Sähkölaitos Oy. Tampereen Sähkölaitoksen historia. Luettu 5.3.2019.

<https://www.sahkolaitos.fi/footer-sivut/meista/historia/>

Helsingin Energia Oy. Helsingin Energian historia. Luettu 5.3.2019.

<https://www.helen.fi/yritys/helen-oy/tietoa-meista/helen-oy-pahkinankuoressa/historia/>

Krzysztof, K., Knuuti, A., Vares, S., Heikkinen, J., Rämä, M., Laitinen, A., Ahvenniemi, H., Hoang, H., Shemeikka, J., Sipilä, K. Tulevaisuuden kaukolämpöasuinalueen energiaratkaisut. VTT, Motiva. Luettu 6.3.2019.

[https://www.motiva.fi/files/11419/Tulevaisuuden\\_kaukolampoasuinalueen\\_energiaratkaisut.pdf](https://www.motiva.fi/files/11419/Tulevaisuuden_kaukolampoasuinalueen_energiaratkaisut.pdf)

Energiateollisuus Ry. Tulevaisuuden asiakasratkaisut. Luettu 6.3.2019.  
[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon\\_asiakkuus/tulevaisuuden\\_asiakasratkaisut](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus/tulevaisuuden_asiakasratkaisut)

Fortum Oyj. Älykkäät lämmitysratkaisut. Luettu 7.3.2019.  
<https://www.fortum.fi/media/2017/05/fortum-ja-leanheat-jatkavat-keinoalya-hyodyntavan-lammitysratkaisun-kehittamista-taloyhtiaille-uusi-palvelu>

Helsingin Energia Oy. Älykäs lämmönjakokeskus. Luettu 7.3.2019.  
<https://www.helen.fi/lampo/nykyiset-asiakkaat/alykas-lammonjakokeskus/>

Jokimies, J. Kaukolämpötyömaat. Lahti Energia Oy. Luettu 5.3.2019.  
<https://www.lahtienergia.fi/fi/ajankohtaista/artikkelit/kaukolampotyomaita-liikenteessa-kylla-kiitos>

Valor Partners Oy. Kaukolämmön kysyntäjousto. Energiateollisuus Ry. Luettu 8.3.2019.  
[https://energia.fi/files/439/Kaukolammon\\_kysyntajousto\\_loppuraportti\\_VA-LOR.pdf](https://energia.fi/files/439/Kaukolammon_kysyntajousto_loppuraportti_VA-LOR.pdf)

Leanheat Oy. Älykäs lämmönsäätö. Luettu 10.3.2019.  
<https://leanheat.fi>

Ouman Oy. Lämpöestari palvelu. Luettu 10.3.2019.  
<https://ouman.fi/tuote/lampomestari palvelu/>

Enermix Oy. Älykkäät lämmityksen ohjauspalvelut. Luettu 10.3.2019.  
<https://www.talotohtori.fi/palvelut/alykkaat-lammityksen-ohjauspalvelut>

Fortum Oyj. Lämmityksen optimointi. Luettu 10.10.2019.  
[https://www.fortumsmartliving.com/fi/lammityksen-optimointi/?gclid=Cj0KCQIAw4jvBRCJARIsA-HYewPNETOEi3KltWy5ViB7FLV1wr92C08IMmjXqgN-Xe2KJgAKnc4bw8XsaAtMdEALw\\_wcB](https://www.fortumsmartliving.com/fi/lammityksen-optimointi/?gclid=Cj0KCQIAw4jvBRCJARIsA-HYewPNETOEi3KltWy5ViB7FLV1wr92C08IMmjXqgN-Xe2KJgAKnc4bw8XsaAtMdEALw_wcB)

Motiva. Kaukolämmön hinta. Luettu 6.3.2019.  
[https://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon\\_hinta](https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta)

Energiateollisuus Ry. Kaukolämmön hinta. Esite. Luettu 12.3.2019.  
[http://www.wse.fi/filebank/12-et\\_kaukol\\_hinta\\_esite\\_160911.pdf](http://www.wse.fi/filebank/12-et_kaukol_hinta_esite_160911.pdf)

Energiateollisuus Ry. Kaukolämmön hintatilasto. Luettu 12.3.2019  
[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ ja\\_ materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon\\_hintatilasto.html#material-view](https://energia.fi/ajankohtaista_ ja_ materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view)

Seppälä, A. Kaukolämmön hinta – sata prosenttia kymmenessä vuodessa. Yle. Luettu 12.3.2019.  
<https://yle.fi/uutiset/3-7767838>

Laatikainen, T. Maalämpö napsii asiakkaita kaukolämmitykseltä – kerrostalotkin kiinnostuivat. Tekniikka & Talous. Luettu 12.3.2019.

<https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/maalampo-napsii-asiakkaita-kaukolammitykselta-kerrostalotkin-kiinnostuivat-6612331>

Ympäristöministeriö. Kioton Pöytäkirja. Luettu 15.3.2019.

[https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ ja\\_ ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitsemisen/Kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Kioton\\_poytakirja](https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ ja_ ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitsemisen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kioton_poytakirja)

Ilmasto-opas.fi -sivusto. Energiatehokkuustoimista on taloudellista hyötyä. Luettu 15.3.2019.

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/75ef09a7-01a2-489a-862e-0dce463a8e1c/energiatehokkuustoimista-on-taloudellista-hyotya.html>

Motiva. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Luettu 15.3.2019.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten\\_energiatehokkuusdirektiivi](https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi)

Finlex. Energiatehokkuuslaki 1429/2014. Luettu 15.3.2019.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141429>

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivi sinettiä vaille valmis. Luettu 15.3.2019.

[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/EUn\\_rakennusten\\_energiatehokkuusdirektii\(45926\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/EUn_rakennusten_energiatehokkuusdirektii(45926))

Energiatehokkuussopimukset. Sopimusten perusta. Luettu 20.3.2019.

<http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/#sopimusten-perusta>

Energiatehokkuussopimukset. Sopimukset ja toimenpideohjelmat. Luettu 20.3.2019.

<http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/#sopimukset-ja-toimenpideohjelmat>

Finlex. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Luettu 2.9.2019.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>

Energiatehokkuussopimukset. Toimenpideohjelma vuokra-asuntoyhteisöille. Luettu 20.3.2019.

<http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/wp-content/uploads/Asuinkiinteistot-Kiinteistoala-VAETS-1.pdf>

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Rakennusten energiatehokkuutta parannetaan sisäilmanlaadusta tinkimättä. Luettu 20.3.2019.

[https://www.environment.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennusten\\_energiatehokkuutta\\_paranneta\(45509\)](https://www.environment.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennusten_energiatehokkuutta_paranneta(45509))

Ouman Oy. Hinnasto 2019. Luettu 28.9.2019

[https://ouman.fi/wp-content/uploads/2019/08/Hinnasto\\_2019\\_2\\_v2\\_LQ.pdf](https://ouman.fi/wp-content/uploads/2019/08/Hinnasto_2019_2_v2_LQ.pdf)

Tampereen Sähkölaitos Oy. Älykkään kaukolämmön palvelupaketit. Luettu 28.9.2019

<https://www.sahkolaitos.fi/alykkaita-energiapalveluita/alykas-kaukolampo--palvelu/palvelupaketit/>

Motiva. CO2 laskentaohje. Luettu 30.9.2019.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-laskenta-ohje\\_energiankulutuksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-laskenta-ohje\\_yhteenvedot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskenta-ohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-laskenta-ohje_yhteenvedot)

Motiva. CO2 laskentaohje – yksittäinen kohde. Luettu 30.9.2019.

[https://www.motiva.fi/files/16064/CO2-laskentaohje\\_-\\_Yksittainen\\_kohde.pdf](https://www.motiva.fi/files/16064/CO2-laskentaohje_-_Yksittainen_kohde.pdf)

Enegiateollisuus Ry. Kaukolämmön päästöt. Luettu 1.10.2019.

[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon\\_ilmastopaastot\\_vahenevat\\_ja\\_suosio\\_kasvaa.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_ilmastopaastot_vahenevat_ja_suosio_kasvaa.html)

Fortum Oyj. Kestävä kehitys 2018 -julkaisu. Luettu 1.10.2019

[https://www.fortum.fi/sites/g/files/rkxjap156/files/investor-documents/fortum\\_kestava\\_kehitys\\_2018.pdf](https://www.fortum.fi/sites/g/files/rkxjap156/files/investor-documents/fortum_kestava_kehitys_2018.pdf)

Motiva. Lämmityksen säätökäyrä ja käyttöveden oikea lämpötila. Luettu 29.11.2019

[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen\\_tutustuminen/lammituksen\\_saatokayra\\_ja\\_lampiman\\_kayttoveden\\_oikea\\_lampotila](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammituksen_saatokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila)

Motiva. CO2 laskennan päästökertoimet. Luettu 30.9.2019.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-laskenta-ohje\\_energiankulutuksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskenta-ohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet)

Fortum Oyj. Kaukolämpöä yhä puhtaammin. Luettu 1.10.2019.

<https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolampoa-ya-puhtaammin>

Fortum Oyj. Fortum lehdistötiedote. Luettu 1.10.2019.

<https://www.fortum.fi/media/2019/09/fortum-luopuu-kivihilesta-espoossa-jo-vuonna-2025-espoo-clean-heat-projekti-muuttaa-kaukolammon-hiilineutraaliksi>

Fortum Oyj. Tietoa kaukolämmön hinnoista. Luettu 2.10.2019.

<https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat-taloyhtioille-ja-yrityksille>

Leanheat Oy. Paremmat sisäolosuhteet pienimmillä energia- ja ylläpitokustannuksilla. Luettu 2.10.2019.

<https://leanheat.fi/kiinteistojen-omistajille/>

Energiateollisuus Ry. Kaukolämmön hintatilastot. Luettu 29.9.2019.  
[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon\\_hintatilasto.html#material-view](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view)

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, Kyberturvallisuuskeskus. Tuhansia rakennusautomaatiolaitteita suojaamattomina suomalaisissa verkoissa. Luettu 10.12.2019

<https://legacy.viestintavirasto.fi/kyberturvallisuus/tietoturva-nyt/2018/04/ttn201805041320.html>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, Kyberturvallisuuskeskus. Puutteellinen rakennusautomaatiolaitteiden suojaus verkossa altistaa kyberuhille. Luettu 10.12.2019

<https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/ajankohtaista/kuka-sammutti-valot-puutteellinen-rakennusautomaatiolaitteiden-suojaus-verkossa>

Betoniteollisuus Ry. Betonin lämmönvarauskyky. Luettu 20.11.2019.  
<https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-lammonvarauskyky/>

Säteri, J, Ahola, M. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäilmayhdistys Ry.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitti Ry.

Finlex. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan ol-suhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Luettu 2.9.2019.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>



## LIITTEET

## Liite 1. Esimerkkikohteiden kulutustiedot (M2 Kotien kulutusseuranta)

## TULISUONTIE 5

Kuukausi	Lämpö MWh	Normeerattu lämpö MWh	Kaukolämpöveden jääht. °C	Vesi m <sup>3</sup>
1/2016	177,92	147,68	59,00	731,9
2/2016	114,31	137,27	55,00	686
3/2016	115,92	126,61	53,00	730,6
4/2016	86,85	89,25	43,00	719,4
5/2016	44,19	44,19	42,00	715,9
6/2016	36,32	36,32	40,00	638,8
7/2016	30,32	30,32	40,00	767,2
8/2016	33,35	33,35	42,00	684,2
9/2016	43,93	51,87	43,00	676,9
10/2016	90,27	83	54,00	681,4
11/2016	118,6	108,94	54,00	663,6
12/2016	124,02	135,95	54,00	651,3
1/2018	113,88	126,56	55,00	633,9
2/2018	122,8	112,85	57,00	570,5
3/2018	111,02	100,11	56,00	632,8
4/2018	70,79	74,14	47,00	627
5/2018	39,18	48,37	42,00	655,9
6/2018	31,06	31,06	35,00	600,4
7/2018	27,6	27,6	34,00	582,7
8/2018	28,42	28,42	36,00	644,6
9/2018	36,65	42,18	43,00	632
10/2018	73,13	81,89	50,00	704,4
11/2018	93,04	104,4	54,00	651,9
12/2018	123,29	128,99	55,00	647,3

## INSINÖÖRINKATU 86, 90

Kuukausi	Lämpö MWh	Normeerattu lämpö MWh	Kaukolämpöveden jääht. °C	Vesi m <sup>3</sup>
1/2018	88,55	96,78	57	580,2
2/2018	90,79	83,61	63	516
3/2018	89,07	78,17	63	571,3
4/2018	58,22	58,82	54	558,1
5/2018	30,65	38,18	49	569,9
6/2018	21,02	21,02	47	506
7/2018	18,76	18,76	44	570,6
8/2018	18,76	18,76	43	560,9
9/2018	32,61	38,48	47	550,3
10/2018	56,58	61	51	560,4
11/2018	67,9	76,93	53	541,4
12/2018	85,14	91,02	57	541,2
1/2019	91,18	86,91	58	558,6
2/2019	69,33	84,09	59	502,2
3/2019	71,05	74,78	57	555,2
4/2019	41,9	48,96	53	537,2
5/2019	33,11	31,96	47	541,4
6/2019	20,64	20,64	50	505,9
7/2019	20,17	20,17	44	540,7
8/2019	20,52	20,52	50	568,4

**KAPULANTIE 5**

Kuukausi	Lämpö MWh	Normeerattu lämpö MWh	Kaukolämpöveden jääht. °C	Vesi m <sup>3</sup>
1/2016	37,02	30,69	66	139,9
2/2016	25,27	31,26	57	124,6
3/2016	25,97	28,87	57	148,8
4/2016	19,7	20,72	51	142,4
5/2016	11,31	15,17	40	140,5
6/2016	8,85	8,85	36	120,8
7/2016	8,45	8,45	36	136,7
8/2016	9,48	9,48	37	142,4
9/2016	12,02	14,16	41	132,7
10/2016	22,66	21,73	52	139,8
11/2016	27,75	27,17	58	142,9
12/2016	29,99	34,09	58	138,1
1/2018	31,12	35,58	58	133,7
2/2018	33,49	31,55	61	119,7
3/2018	32,26	28,6	60	142,1
4/2018	19,29	20,11	51	169
5/2018	10,86	13,65	40	185,9
6/2018	7,58	7,58	36	147,2
7/2018	7,87	7,87	33	141,1
8/2018	7,63	7,63	33	134,8
9/2018	9,83	11,87	38	138,5
10/2018	18,69	19,49	44	142,2
11/2018	21,88	25,45	48	145,8
12/2018	28,41	30,9	51	139,3

**KALASTAJANMÄKI 3**

Kuukausi	Lämpö MWh	Normeerattu lämpö MWh	Kaukolämpöveden jääht. °C	Vesi m <sup>3</sup>
1/2016	112,37	91,84	58	585
2/2016	84	98	45	557,9
3/2016	84,86	90,32	44	575,4
4/2016	70,18	70,59	40	574,2
5/2016	41,36	41,36	32	576
6/2016	35,74	35,74	30	556,8
7/2016	34,18	34,18	28	544,8
8/2016	34,98	34,98	29	579,6
9/2016	44,31	52,82	34	570,4
10/2016	71,86	64,77	40	603
11/2016	87,71	79	48	585,1
12/2016	91,56	97,42	51	606,4
1/2018	87,1	93,73	50	645,8
2/2018	84,97	77	59	583,8
3/2018	84,33	74,96	53	623,2
4/2018	59,85	61,25	42	639,3
5/2018	44,36	56,19	33	631,2
6/2018	37,82	37,82	30	580,1
7/2018	33,69	33,69	25	574,2
8/2018	33,74	33,74	26	619,1
9/2018	36,86	42,43	31	589,2
10/2018	52,23	56,6	37	626,5
11/2018	66,4	72,03	44	628,5
12/2018	82,84	84,28	49	647,6

**POTERONKATU 2**

Kuukausi	Lämpö MWh	Normeerattu lämpö MWh	Kaukolämpöveden jääht. °C	Vesi m³
1/2018	33,52	36,6	42	227,5
2/2018	36,57	33,69	48	211,5
3/2018	36,23	31,96	39	262,1
4/2018	22,26	22,49	39	209,1
5/2018	13,3	17,16	29	218,8
6/2018	11,45	11,45	23	217,2
7/2018	10,75	10,75	22	235,8
8/2018	10,54	10,54	23	223,4
9/2018	12,89	15,28	25	211
10/2018	20,39	21,94	29	213,8
11/2018	24,42	27,52	34	218,3
12/2018	31,16	33,29	38	207,5
1/2019	34,61	33,02	44	226,2
2/2019	26,57	32,07	39	207,8
3/2019	27,86	29,32	35	222,3
4/2019	18,32	21,53	30	222,5
5/2019	15,08	14,52	23	233,5
6/2019	10,9	10,9	23	206,1
7/2019	10,85	10,85	20	218,6
8/2019	10,77	10,77	21	223,2

**KOMPASSIKATU 7**

Kuukausi	Lämpö MWh	Normeerattu lämpö MWh	Kaukolämpöveden jääht. °C	Vesi m³
1/2018	21,32	22,76	52	206,1
2/2018	22,81	20,74	58	171,9
3/2018	23,18	20,87	56	222,7
4/2018	13,4	13,6	45	236,7
5/2018	8,86	9,21	36	248,7
6/2018	7,64	7,64	34	238,8
7/2018	6,44	6,44	34	236,6
8/2018	6,77	6,77	31	256,5
9/2018	8,2	8,37	34	263,3
10/2018	12,31	12,9	41	251
11/2018	16,55	17,54	46	258,6
12/2018	21,53	21,82	50	273,9
1/2019	22,52	21,54	57	259,7
2/2019	15,66	17,55	51	240,1
3/2019	17,32	17,8	51	264,7
4/2019	12,11	13,15	45	254,1
5/2019	9,56	9,5	41	253
6/2019	6,67	6,67	33	215,5
7/2019	6,5	6,5	31	206,9
8/2019	7,21	7,21	34	246,2