



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**KIINTEISTÖN ENERGIANKULUTUKSEN
OPTIMOINTI DIGITAALISTEN
TEKNOLOGIOIDEN AVULLA**

Johanna Tainio

PROSESSITEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Diplomityö

Maaliskuu 2018



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**KIINTEISTÖN ENERGIANKULUTUKSEN
OPTIMOINTI DIGITAALISTEN
TEKNOLOGIOIDEN AVULLA**

Johanna Tainio

Ohjaaja: Jukka Majava

PROSESSITEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Diplomityö

Maaliskuu 2018

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Prosessitekniikan tutkinto-ohjelma		Pääaineopinnojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Tainio, Johanna Maria		Työn ohjaaja yliopistolla Majava, J., dosentti	
Työn nimi Kiinteistön energiankulutuksen optimointi digitaalisten teknologioiden avulla			
Opintosuunta Automaatiotekniikka	Työn laji Diplomityö	Aika Maaliskuu 2018	Sivumäärä 95 s., 1 liite
<p>Tiivistelmä</p> <p>Ilmastonmuutos ja nopeasti kehittyvät digitaaliset teknologiat muovaavat elinympäristöämme ja ajavat eteenpäin energia-alan murrosta. Rakennuskannan energiankulutuksella on merkittävä vaikutus, kun pyrimme kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa, sillä se muodostaa merkittävän osan Suomen energian loppukäytöstä ja kasvihuonepäästöistä. Rakennuskannan energiankulutuksen optimoinnissa on näin ollen suuri potentiaali. Digitaalisten teknologioiden tuomat innovaatiot tulevat olemaan ratkaisevassa asemassa, kun sopeudumme muutoksiin ja kehitämme resurssirikkaampaa tulevaisuutta. Ennusteet tulevaisuuden muutoksista innostivat tutkimaan, miten kiinteistöt voisivat valmistautua tulevaisuuteen digitaalisten teknologioiden avulla.</p> <p>Tämän diplomityön lopullisena tavoitteena oli selvittää, tuottavatko erilaiset lämmitysprosessin säätötavat lisäarvoa asiakkaalle ja tukevatko ne yhteiskunnallista energiamarkkinan murrosta. Teoriaosiossa haluttiin tutustua monipuolisesti säätötapojen taustalla vaikuttaviin kokonaisuuksiin. Kirjallisuuden perusteella tutustuttiin kiinteistöjen lämmitysprosesseihin ja niiden optimointiin, digitaalisten teknologioiden mahdollistamiin älykkään ohjauksen keinoihin, sekä energiamarkkinaan ja erityisesti kaukolämpöliiketoimintaan. Monipuolisen teoriaosion selvityksen uskottiin auttavan säätötapojen vaikutusten kokonaisvaltaisessa vertailussa ja muodostuvan lisäarvon arvioinnissa.</p> <p>Käytännönsosio koostui kolmen erilaisen säätötavan mittaustulosten monipuolisesta vertailusta valituilla parametreilla. Näitä parametreja olivat kaukolämmön mitattu ja normeerattu kulutus, vastaavan energiamaksun suuruus, kiinteistön ominaiskulutus, tunnitainen huipputehontarve, laskennallinen tehontarve mitoituslaskelmassa ja sen suhde kaukolämmön sopimustehoon, vastaavan tehomaksun suuruus, tehontarpeen tasaisuus sekä kiinteistön olosuhteiden taso samalla vertailujaksolla. Vertailluista säätötavoista ensimmäinen perustui kiinteistön alkuperäiseen käyttötapaan, toinen perinteisiin energiatehokkuustoimenpiteisiin ja kolmannessa lisäoptimoitiin digitaalisten teknologioiden avulla kehitetyllä älykkäällä ohjauksella.</p> <p>Tehtyjen vertailujen perusteella pyrittiin vastaamaan kysymyksiin lisäarvosta asiakkaan, yhteiskunnan ja energiayhtiön näkökulmasta. Lisäarvoon liittyviä kysymyksiä olivat muun muassa käyttökustannusten ja energiankäytön pienentyminen, kiinteistön sisäilman laadun säilyminen, kiinteistön arvon kasvaminen, maalämpöön investoinnin potentiaalin parantuminen ja energijärjestelmän kuormituksen tasaantuminen.</p> <p>Työn tulokset tukivat alkuperäistä hypoteesia eli sitä, että älykkään ohjauksen avulla tuotetaan eniten lisäarvoa. Älykkään ohjauksen arvioitiin pienentävän kohdekiinteistön huipputehon tarvetta, sekä vähentävän energiankulutusta etenkin tilanteissa, joissa säätötilassa tapahtuu muutoksia. Älykkäällä säätötavalla saavutettiin vertailujen perusteella eniten lisäarvoa. Kaikkia näitä lisäarvoja ei kuitenkaan saavuteta, ellei perinteisiä energiatehokkuustoimenpiteitä tehdä ensin. Saatavaa lisäarvoa tunnistettiin asiakkaan, yhteiskunnan ja energiayhtiön näkökulmasta. Seuranta on kuitenkin jatkettava pidemmällä vertailujaksolla, jotta tuloksia voitaisiin pitää paremmin yleistettävänä.</p> <p>Tutkimuksen lopputuloksena todettiin, että yhteiskunnallista muutosta tuetaan parhaiten, kun toiminnassa pystytään yhdistämään useita näkökulmia. Kaikista näkökulmista optimaalisin säätötapa on sellainen, jossa yhdistetään perinteisiä ja nykyaikaisia ohjaustapoja. Optimaalisimman tuloksen saavuttamiseksi tarvitaan kiinteistön prosessin vahvaa tuntemusta, digitaalisia teknologioita, ICT-alan ennakkoluulottomuutta ja energiamarkkinan ymmärrystä. On vastuullista valmistautua muutokseen ottamalla käyttöön digitaalisia teknologioita, sillä niiden avulla kiinteistöä voidaan optimoida myös tulevaisuuden energijärjestelmän vaatimusten mukaisesti. Näin voidaan varmistaa asiakkaan paras mahdollinen asema energiantuotannon arvoketjussa ja taata edullisin energia myös tulevaisuudessa.</p>			
Muita tietoja Tilaaajan ohjaaja: Taiponen, A., DI, LeaseGreen Suomi Oy			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Degree Programme in Process Engineering		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Tainio, Johanna Maria		Thesis Supervisor Majava, J., Docent	
Title of Thesis The Optimization of Building Energy Consumption with Digital Technologies			
Major Subject Automation Technology	Type of Thesis Master's Thesis	Submission Date March 2018	Number of Pages 95 p., 1 App.
Abstract <p>Climate change and rapidly developing digital technologies shape our environment and drive the change of energy industry. The energy consumption of buildings has a remarkable effect when moving towards a carbon neutral society. Buildings form a significant part of Finland's energy usage and greenhouse gas emissions. Thus, there is great potential in the optimisation of building energy consumption. The innovations of digital technologies will have an integral part, when adjusting to the changes and in developing a better future. The forecasts of the future changes inspired to research, how buildings could be better prepared with digital technologies.</p> <p>The objective of this Master's Thesis was to find out whether different control methods of heating systems produce added value to customers and support the energy industry transition. The Thesis consisted of a theory section, in which the goal was to get familiar with the complex systems behind different control scenarios. Based on literature building heating systems were researched as well as ways to optimize them. In addition, the intelligent control methods made possible by digital technologies as well as the energy market and the district heating business were studied. This was seen as an important part in being able to compare the effects of the different control scenarios and the added value.</p> <p>The empirical section composed of the diversified comparison of the three control scenarios. The control scenarios were compared based on chosen parameters that included the measured and normalized consumption of district heating, the corresponding energy cost, specific consumption based on building cubic volume, hourly peak power, calculated peak power in design outdoor temperature and the difference to contract peak power, the corresponding peak power cost, the steadiness of the peak power and the quality of the indoor air conditions. The first control scenario was based on the original control methods of the building, the second on traditional energy efficiency methods and the third on intelligent control method developed with digital technologies.</p> <p>Questions indicating whether added value was created, were answered based on the comparisons. The viewpoints were customer, society and energy companies. The questions included topics like the reduction of energy costs, the development of the indoor air quality, the increase in the value of the building, the increase in the potential of investing in geothermal heating solutions and the reduction of the capacity burden of the energy system.</p> <p>The results of this research supported the original hypothesis. The intelligent control method was believed to have most added value creating features. It was believed to reduce the buildings peak power demand and energy consumption, especially when there are remarkable changes in the weather conditions. Based on a single control scenario, the intelligent control method created most added value. Still, it should be noted that all of the added value would not be created without the traditional energy efficiency methods implemented first. For the results to be more generalizable, the comparison data needs to be gathered from a longer period.</p> <p>As a result of the research it was noted, that the societal change is best supported when multiple viewpoints are combined. The best control scenario is one that combines traditional and modern control methods. The most optimal result is reached when the strong knowledge of buildings processes, digital technologies, unconventional ICT-fields methods and the understanding of the energy market is combined. It is responsible to prepare for the change by implementing digital technologies. With them the building can be optimized based on the requirements of the future energy market. This way it can be made sure, that the customer has the best possible position in the energy market in the future as well.</p>			
Additional Information Employer's supervisor: Taiponen, A., M.Sc. (Tech), LeaseGreen Suomi Oy			

ALKUSANAT

Haluan osoittaa ensimmäisenä kiitoksen diplomityöni ohjaajaalle Jukka Majavalle kärisvällisestä ja erinomaisesta ohjeistuksesta kaikissa työn vaiheissa. Diplomityön tekeminen on ollut koko opintojeni opettavaisinta ja palkitsevinta aikaa. Olen oppinut diplomityön aiheen lisäksi alasta enemmän, kuin osasin aloittaessani odottaa.

Tämä diplomityö on tehty työnantajalleni LeaseGreen Suomi Oy:lle, jota haluan kiittää suuresti saamastani mahdollisuudesta ja luottamuksesta. Olen ollut todella kiitollinen mahdollisuudesta tehdä diplomityöni ja löytää oman paikkani asiantuntevassa ja innostavassa työympäristössä. Erityiskiitoksen ansaitsee ohjaajani Ari Taiponen, joka on ollut kannustava ja motivoiva suunnannäyttävä kaikessa kehitystyössä. Lisäksi haluan kiittää kaikkia LeaseGreen Suomi Oy:n kollegoita, jotka ovat kannustaneet ja neuvoneet minua matkan varrella.

Maisterivaiheen etäopinnot ovat vieneet paljon vapaa-aikaani ja haluankin kiittää kaikkia läheisiäni ymmärryksestä, kannustuksesta ja tuesta. Suurin kiitos kuuluu Jannelle, joka on nähnyt niin parhaimmat, kuin myös vaikeimmat hetket. Apusi ja tukesi on ollut korvaamatonta.

Helsingissä, 20.03.2018 Johanna Tainio

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tavoite	11
1.2 Tutkimuskysymykset ja –menetelmät	13
2 KIINTEISTÖN LÄMMITYSPROSESSI	15
2.1 Lämmitysprosessin keskeiset käsitteet	16
2.2 Lämmitysenergian tuotanto	17
2.2.1 Kaukolämpö	18
2.2.2 Kiinteistökohtainen maalämpö	22
2.3 Lämmitysenergian kulutus	25
2.3.1 Energiankulutuksen profiilit	26
2.3.2 Lämmönjakotavat kaukolämmitetyssä kiinteistössä	27
2.4 Energiankulutuksen optimointi	29
3 DIGITAALISET TEKNOLOGIAT KIINTEISTÖN LÄMMITYSPROSESSISSA ...	33
3.1 Uusien teknologioiden keskeiset käsitteet	34
3.2 Digitalisaation kehityspolku	35
3.3 Kiinteistön lämmitysprosessin digitalisointi	37
3.3.1 Lämmitysjärjestelmän älykkyys	38
3.3.2 Lämmitysenergian kulutuksen seuranta ja mallinnus	40
3.3.3 Lämmitysenergian kulutuksen älykäs optimointi	42
4 ENERGIAMARKKINA JA DIGITAALISUUDEN TUOTTAMA LISÄARVO	44
4.1 Liiketoimintamallit ja energiantuotannon arvoketju	45
4.2 Perinteinen kaukolämpöliiketoiminta	47
4.3 Digitalisaation mahdollistamat liiketoimintamallit	49
4.4 Syntyvän lisäarvon todentaminen	51
5 KOHDEKIINTEISTÖN OMINAISPIIRTEET	54
6 SÄÄTÖTAPOJEN VERTAILU	57
6.1 Sääötapa A	58
6.2 Sääötapa B	62

6.3 Sääötapa C.....	66
7 TULOKSET JA LISÄARVON TOTEUTUMINEN	73
8 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	79
8.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin.....	79
8.2 Tulosten kriittinen arviointi.....	81
8.3 Tarve jatkotutkimukselle.....	83
9 YHTEENVETO	85
LÄHDELUETTELO	88

LIITE:

Liite 1. Lämpöenergian vuosittaisia rakennustyyppikohtaisia ominaiskulutuksia

MERKINNÄT JA LYHENTEET

COP	lämpöpumpun hyötysuhde (Coefficient of Performance)
EU	Euroopan Unioni (European Union)
GWh	gigawattitunti
ICT	tieto- ja viestintäteknologia (Information and Communications Technology)
IEA	International Energy Agency
IoT	esineiden internet (Internet of Things)
IPR	immateriaalioikeus (Intellectual Property Rights)
IV	Ilmanvaihto
kW	kilowatti
kWh	kilowattitunti
kWh/m ³ a	energiankulutus tilavuusyksikköä kohden, ominaiskulutus
m ³	kuutio, tilavuuden yksikkö
MW	megawatti
MWh	megawattitunti
POC	konseptin todennus (Proof of Concept)
TK	Tulokone (ilmanvaihtokone)
TWh	terawattitunti
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
WEF	The World Economic Forum
\dot{V}	tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirta [dm ³ /s]
Φ	sopimusteho [kW]
c_p	veden ominaislämpökapasiteetti [kJ°C/kg]
ρ	veden tiheys [kg/dm ³]
t_{et}	kaukolämpöveden tulolämpötila [°C]
t_{ep}	kaukolämpöveden paluulämpötila [°C]

1 JOHDANTO

Energia- ja teknologia-alan viimeaikaisten puheenvuorojen perusteella on selvää, että alan arvostetut vaikuttajat ovat samaa mieltä aikamme merkittävistä muutosvoimista. Ilmastonmuutos alkaa pian vaikuttaa elinympäristöömme peruuttamattomalla tavalla ja tämän estämiseksi vaadittavat toimenpiteet yhdessä kehittyvien digitaalisten teknologioiden kanssa tulevat ajamaan energia-alan murrosta. (Gates 2017; Chainey 2017). Innovaatiot tulevat olemaan ratkaisevana tekijänä niin tuleviin muutoksiin sopeutumisessa, kuin myös uusien ratkaisujen kehityksessä (Gates 2017). Kehityshetkellä pieneltä vaikuttavat innovaatiot vievät eteenpäin seuraavaa teollista vallankumousta. Teollisesta vallankumouksesta voidaan puhua, kun pienistä innovaatioista tuleekin yleiskäyttöisiä toisiaan tukevia teknologioita, jotka muokkaavat perusteellisesti toimialojen pelisääntöjä kaikkialla maailmassa. Tyypillisesti näiden innovaatioiden joukkoon on kuulunut uudenlainen voimantuotanto sekä uusi tapa tuottaa ja jaella hyödykkeitä. (Lehti 2017, s. 5) Tämän hetkisen digitaalisen murroksen ajureiksi voidaan tunnistaa kaksi nopeasti kasvavaa alaa: digitaalitekniikka ja internet (Mattila 2017, s. 3). Nämä mahdollistavat uudenlaisia tapoja kuluttaa ja jakaa esimerkiksi energiaa ja energiamarkkinaa muuttavia palveluita. Koskaan aiemmin digitaalitalous ja tietoverkkojen avulla toimivat palvelut eivät ole luvanneet yhtä paljoa, yhtä monelle (Korczak et al. 2017, s. 3).

Pariisin ilmastopöytäkirja astui voimaan 4.11.2016. Sen perimmäisenä tavoitteena on sitouttaa sopimuksen allekirjoittaneet maat toimiin, joilla maapallon keskilämpötilan nousu saataisiin rajattua alle 1,5 asteeseen (°C). Pariisin ilmastopöytäkirjan solmimisen jälkeen, marraskuun lopussa 2016, Suomen hallitus hyväksyi kansallisen energia- ja ilmastostrategian. Siinä linjataan toimia, joilla Suomi saavuttaa hallitusohjelmassa ja EU:ssa sovitut energia- ja ilmastotavoitteet vuoteen 2030 mennessä. Suomi pyrkii luopumaan hiilen käytöstä energiantuotannossa, puolittamaan öljyn kotimaisen käytön, lisäämään uusiutuvan energian osuutta loppukulutuksesta noin 50 prosenttiin, sekä nostamaan energian hankinnan omavaraisuuden yli 55 prosenttiin. Suomen pitkän aikavälin tavoite vuoteen 2050 on vielä tätä kunnianhimoisempi, sillä tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta. Tätä tavoitellen, kasvihuonepäästöjä pyritään johdonmukaisesti vähentämään 80-95 prosentilla vuoden 1990 tasosta. (Huttunen 2017, s. 11-13)

Aalto-yliopiston ja Sitran vuoden 2017 aikana järjestämässä Energiaturroksareenassa asiantuntijat olivat sitä mieltä, että Suomelle tulisi asettaa vielä tiukemmat ja selkeämmät tavoitteet. Konkreettisiksi tavoitteiksi kaavailtiin energiatehokkuuden nostamista 50 prosenttia vuoden 2005 tasosta, sekä rakennusten lämmitysenergian puolittamista. Lisäksi tärkeiksi teemoiksi nostettiin kulutuspisteiden 100 prosenttinen digitalisointi, kaukolämmön kulutuksesta 2000 MW liittäminen kysyntäjouksoon vuoteen 2030 mennessä ja dynaamisten älyteknologiaan perustuvien energiaturroksien kehittäminen. (Hyysalo et al. 2017)

Korkean koulutustason Suomelle digitalisaatio tarjoaa suuria mahdollisuuksia (Mattila 2017, s. 8). Satavuotias Suomi saa olla ylpeä, sillä sijoitumme kansainvälisissä vertailuissa hyvälle sijalle digitaalisessa valmiudessa, pilvipalvelujen hyödyntämisessä ja digitaalitalouden kilpailukyvyssä (Korczak et al. 2017, s. 3). Parannettavaa on esimerkiksi liiketoiminnan kehityksessä ja innovaatioympäristössä (WEF 2016). Suomen on yhdistettävä innovaatio-, energia- ja ilmastopolitiikkansa, mikäli haluamme olla edelläkävijä, joka pystyy tarjoamaan johtavia ratkaisuja globaaleihin ympäristö- ja energiasektorin haasteisiin. On lyhytnäköistä täyttää ilmastotavoitteiden vaatimukset ainoastaan nykyistä tuotanto- ja kulutusrakennetta säätämällä ja korvaamalla fossiiliset polttoaineet bioenergialla. Tällainen toiminta ei johda kokonaisvaltaiseen muutokseen, jota hiilineutraalin yhteiskunnan saavuttamiseksi tarvitaan. Energia-alan asiantuntijat ovat perinteisesti vetäneet energiaa koskevaa suunnittelua ja päätöksentekoa Suomessa. Energia- ja ilmastopolitiikan painopiste on kuitenkin siirtymässä nyt tuotantokapasiteetin optimoinnista teknologiamurroksen hallintaan, joten päätökset vaativat jatkossa asiantuntemusta paljon energia-alaa laajemmalla alueella. Suomalaisessa energiaturroksessa on myös edelleen suljettuja markkinoita, joita tulee avata uusille tuottajille, palveluntarjoajille ja pientuottajia kokoaville toimijoille. (Hyysalo et al. 2017, s. 3-5; Salokoski 2017, s. 34) Digitaalisen toimintaympäristössä muutokset ja parhaimmat ratkaisut voivat tulla myös perinteisen toimialan ulkopuolelta, mikä muuttaa kilpailuasetelmia ja vaatii uudistamaan ajattelua ja toimintatapoja (Mattila 2017, s. 7).

Hiilineutraali yhteiskunta on Suomelle haastava tavoite, mutta mahdollinen saavuttaa. Haaste on erityisen suuri energiatehokkuudelle, sillä suuri osa Suomen kasvihuonepäästöistä syntyy energiantuotannosta. (Vapaavuori et al. 2014, s. 9) Myös rakennuskannassa tehtävillä valinnoilla on iso vaikutus, sillä merkittävä osa energian loppukäytöstä on rakennuskannan energiantuotusta (Tilastokeskus 2017b). Rakennetun

ympäristön laadulla kokonaisuutena on myös suuri kansantaloudellinen merkitys, sillä rakennettu omaisuus muodostaa valtaosan kansallisvarallisuudestamme. Korjausvelan määrä ja kehittyvän muutosvelan määrä ovat kehityksen kannalta tärkeitä huomioitavia haasteita. Korjaus- ja muutosinvestointien määrä on vielä nykyisellään riittämätön estämään rakennetun omaisuuden rapautumisen. Rakennusten kunnosta tulisi huolehtia paljon nykyistä paremmin, koko elinkaaren ajan. (Soimakallio et al. 2017, s. 4-5) Olemassa olevassa rakennuskannassa on siis teoreettisesti suuri säästöpotentiaali (Mattinen et al. 2016, s. 22). Muutokset tapahtuvat kuitenkin hitaasti ja näin ollen myös valintojen vaikutukset ovat pitkäaikaisia. Tästä syystä rakennuskannassa tehtävien muutosten tulisi aina ensisijaisesti pienentää primäärienergiankulutusta ja vähentää päästöjä. (Airaksinen et al. 2013, s. 2)

Rakennetun ympäristön ilmastonmuutosta hillitseviä keinoja ovat energiatehokkuus, rakennusten aktiivinen ylläpito, uusiutuvan energian hyödyntäminen ja uusien digitaalisten teknologioiden hyödyntäminen prosessien optimoinnissa. Energiatehokkuudessa Suomessa ollaan hyvällä tasolla, mutta aseman säilyttäminen ja parantaminen vaativat jatkuvaa panostusta ja kehitystyötä (Vapaavuori et al. 2014, s. 44-46). Energiatehokkuus on yksi parhaimpia energianlähteitä ja se on keskeinen työkalu kustannustehokkaassa energiamurroksessa (IEA 2017, s. 5). Uusiutuvat energialähteet puolestaan tuovat yleistyessään markkinoille uutta kapasiteettia. Huomionarvoista on, että niiden tuotantoprofiili eroaa poistuvien fossiilisten profiilista. (Hyysalo et al. 2017, s. 18) Energian varastointiratkaisujen kustannustehottomuus on eräs syy, joka hidastaa uusiutuvien energialähteiden laajamittaista omaksumista. Lämpimurto varastoinnissa, esimerkiksi lämpönä, tekisi nykypäivän uusiutuvista teknologioista yhä käytännöllisempiä ja edullisempia. (Gates 2017)

Energia-alan asiantuntijoiden huolet energian tuotantorakenteen muutoksesta, energiatehottomuudesta ja kulutushuipuista ovat aiheellisia, mutta mietittävät ratkaisut ovat lähes aina liian perinteisiä. Energiatehokkailla ja älykkäillä kiinteistöillä voidaan parantaa koko energijärjestelmän tehokkuutta ja joustavuutta. (Mäkipelto 2017) Digitalisaatio ja sen mukanaan tuomat uudet teknologiat tulevat mahdollistamaan uusia sovelluksia, joita voidaan lisätä kustannustehokkaasti myös osaksi olemassa olevia energijärjestelmiä (Mattila 2017, s. 4). Kiinteistökohtaista energiankulutusta voidaan optimoida hetkellisen tuotantotilanteen mukaan, kiinteistön olosuhteet huomioiden, eli kiinteistöistä voidaan tehdä eräänlainen virtuaalinen lämmön varasto. Tällaisilla älykkäillä

jouston keinoilla vähennetään kulutuspiikkejä, tasapainotetaan kaukolämpöverkon toimintaa ja myös lisätään kuluttajan valtaa energijärjestelmässä. (Mäkipelto 2017) Uusilla energiapalveluilla ja -teknologioilla tulee olemaan suuri merkitys energiamarkkinan murroksessa (Huttunen 2017, s. 103).

1.1 Työn tavoite

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia olemassa olevan rakennuskannan lämmitysprosessien toimintaa ja sitä, saadaanko innovatiivisilla digitaalisilla teknologioilla tuotettua lisäarvoa asiakkaille. Tilaajayrityksen kehittämällä säätötavoilla ja syntyvällä joustolla pyritään ensisijaisesti tuottamaan lisäarvoa asiakkaille, eli pienentämään kustannuksia ja kasvattamaan kuluttajan vaikutusvaltaa energijärjestelmässä. Tähän tavoitteeseen pyritään vertailemalla ja kehittämällä säätötapoja, jotka vähentävät lämmitystehon kysyntäpiikkejä ja pienentävät kiinteistön huipputehon tarvetta. Jotta lopullisia hyötyjä saavutetaan, eri säätötapojen vertailujaksoilta kerätään lämmitysprosessien dataa. Tätä kerättyä dataa mallinnetaan niin, että tehtyjen säätöjen vaikutuksia ja syy-seuraus suhteita voidaan tunnistaa. Lisäksi kerätystä datasta pyritään erottamaan epäoptimaalisuuksia ja keinoja kehittää kohteen säätötapoja yhä optimaalisemmiksi.

Työn teoriaosio jakautuu kolmeen osaan: kiinteistön lämmitysprosesseihin, ICT:n (tieto- ja viestintäteknologia) keinoihin, sekä energiamarkkinaan tutustumiseen. Teoriaosiossa halutaan perehtyä työn taustalla oleviin järjestelmiin ja teknologioihin, jotta älykkään ohjauksen taustalla olevia prosesseja ymmärretään kokonaisvaltaisemmin. Lämmitysjärjestelmien toimintaa tulee ymmärtää, jotta perinteisten säätötapojen vaikutuksia voidaan arvioida ja myös siksi, että säätötapoja voidaan kehittää älykkäämmiksi. Digitaalisten teknologioiden tunteminen mahdollistaa sopivien työkalujen hyödyntämisen tehokkaasti lämmitysprosessin optimoinnissa. Energiamarkkinan tuntemus on yksi työn tärkeimmistä osista, sillä tehtävien optimointien tulee ensisijaisesti tuottaa lisäarvoa niin asiakkaalle, kuin myös yhteiskunnallisesti energiamurrosta tukien. Kerätty data ja niiden vaikutukset pyritään mallintamaan visuaalisesti, jotta saavutettavat hyödyt voidaan esitellä eri osapuolille läpinäkyvällä tavalla.

Työn käytännönsiossa tutkitaan testikiinteistön ominaisuuksia ja vertaillaan kohdekiinteistön lämmitysprosessin ohjauskeinoja. Ensin tutustutaan perinteisiin ohjauskeinoihin ja niiden vaikutuksiin lämmitysprosessin optimaalisen ohjauksen kannalta. Tämän jälkeen tutkitaan, miten LeaseGreen Suomi Oy:n kyseiselle kiinteistölle kehittämä älykäs ohjaus vaikuttaa samoihin optimaalisuutta indikoiviin parametreihin. Älykkään ohjauksen tavoitteena on tehdä kohdekiinteistöstä eräänlainen virtuaalinen voimalaitos, joka varastoi energiaa lämmön muodossa lämmönjakojärjestelmiin ja rakenteisiin ja minimoii tällä tavoin kaukolämmön huipputehon tarpeen. Kohdekiinteistö on eräs esimerkki liike-, toimisto- ja teollisuusrakennusten sektorilta. Tällaiset kiinteistöt kattavat kerrosalallisesti tarkasteltuna Suomen rakennuskannasta noin 21 prosenttia (Tilastokeskus 2016b). Diplomityössä esitellään luotujen säätötapojen vaikutuksia kaukolämmön huipputehoon, mutta ohjausmenetelmiä ei kerrota tarkasti, sillä ne ovat LeaseGreen Suomi Oy:n IPR-oikeutta (Intellectual Property Rights).

Vertailtavia säätötapoja arvioidaan saavutettavien hyötyjen ja lisäarvon perusteella. Arvioinnissa huomioidaan mitattavia arvoja, kuten huipputehon ja energiankulutuksen muutokset. Näiden lisäksi pyritään huomioimaan vaikeammin mitattavia arvoja, kuten kasvava toimintavarmuus ja pitkän aikavälin teknologiavalmius. Vaikutuksia pyritään myös kuvamaan taloudellisina tunnuslukuina. Energiamarkkinassa on lukuisia sidosryhmiä aina energiantuottajista, palveluntuottajiin ja erilaisiin energiankuluttajiin. Tässä diplomityössä on haluttu keskittyä erityisesti energiankuluttajille muodostuvaan lisäarvoon ja tarkemmin kiinteistösijoittajien näkökulmasta. Tämän lisäksi tarkastellaan myös energiainmarkkinan murroksen yhteiskunnallista vaikutusta ja näin ollen esimerkiksi energiantuottajien näkökulmaa tullaan sivuamaan.

Työ lisää ymmärrystä kokonaisvaltaisesti lämmitysjärjestelmistä ja niiden perinteisestä optimoinnista, digitalisaation työkaluista optimoinnin tukena ja energiainmarkkinan liiketoimintamalleista. LeaseGreen Suomi Oy haluaa myös vahvistaa kokeilun kulttuuria, jonka kautta uskotaan löytyvän innovaatioita ja asiakkaille lisäarvoa tuottavia palveluita. Tämä diplomityö toimii kannustavana esimerkkinä pilvialustalla tehtävästä ketterästä POC kokeilusta (Proof of Concept), joka perustuu yrityksen asiantuntijoiden hypoteesiin. Tällaisella kokeilulla digitaalisten ratkaisujen vaikutusten havainnollistaminen ja syntyvien lisäarvojen tunnistaminen helpottuvat, jonka jälkeen opittua tietoa voidaan hyödyntää älykkäiden optimointikeinojen jatkokehityksessä. Käytettyjä työkaluja ja älykkäitä ohjauksia voidaan hyödyntää soveltaen muiden saman tyyppisten kiinteistöjen

optimointien kehityksessä. Työllä pyritään osaltaan myös lisäämään alan keskustelua digitaalisten ratkaisujen hyödyntämisestä ja kannustamaan innovaatioiden luomista.

1.2 Tutkimuskysymykset ja –menetelmät

Työn tavoite on jaettu kolmeen tutkimuskysymykseen. Kysymysten avulla työlle pyritään muodostamaan looginen rakenne, johdatellen tärkeistä kirjallisuuden pohjalta löydetyistä tiedoista suoritettavaan käytännön tutkimukseen ja lopulta näiden yhdistelmään.

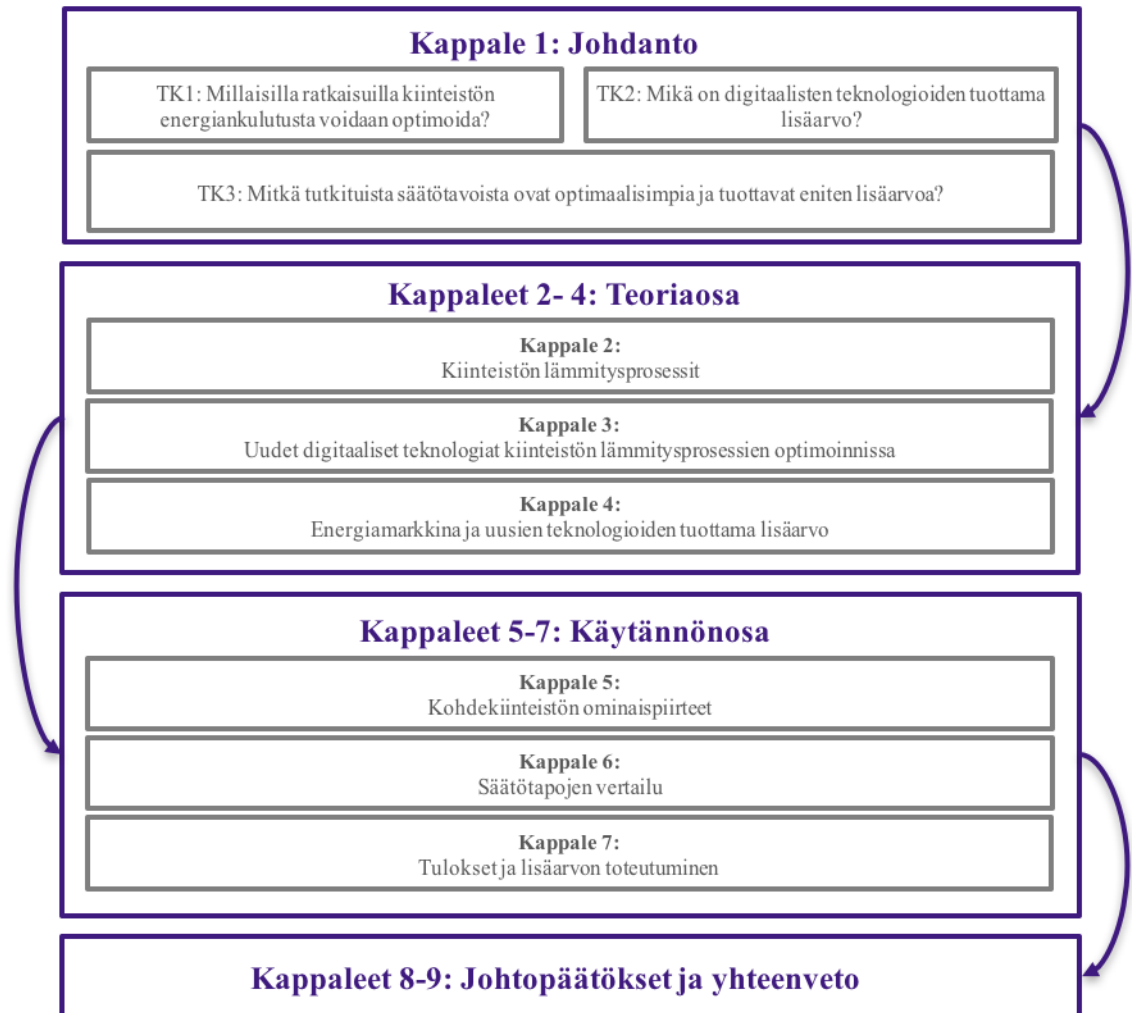
Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Millaisilla ratkaisuilla kiinteistön energiankulutusta voidaan optimoida
 - a. perinteisin menetelmin?
 - b. digitaalisten teknologioiden avulla?
2. Mikä on digitaalisten teknologioiden tuottama lisäarvo energiankuluttajalle?
3. Mitkä tutkituista säätötavoista ovat optimaalisimpia ja tuottavat eniten lisäarvoa?

Diplomityön tutkimuskysymyksiin etsitään vastauksia seuraavissa kappaleissa, jotka koostuvat teoriaosiesta ja käytännönosiosta. Ensimmäisen luvun johdannon ja tutkimuskysymysten esittämisen jälkeen toisessa luvussa syvennytään kiinteistön lämmitysprosessiin ja sen optimointimenetelmiin. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen a. osaan vastataan tässä kappaleessa kaksi. Kolmannessa kappaleessa tarkastellaan kiinteistön lämmitysprosessin optimointia digitaalisten teknologioiden avulla ja saadaan vastaus ensimmäisen tutkimuskysymyksen b. osaan. Neljännessä luvussa tutkitaan vielä energiamarkkinaa siitä näkökulmasta, että pystyttäisiin ymmärtämään uusien säätötapojen muodostamaa lisäarvoa niin energiankuluttajille, kuin myös energiayhtiöille ja yhteiskunnallisesti. Kolmannesta ja neljännessä kappaleesta muodostuu siis vastaus toiseen tutkimuskysymykseen. Teoriaan syvennytään alan kirjallisuuden, alan toimijoiden tuottaman materiaalin ja työn tilaajayrityksen työntekijöiden ja ohjaajien ohjeistuksen avulla.

Työn käytännönosio muodostuu kappaleista viisi ja kuusi, joissa esitellään testikiinteistön ominaispiirteet, sekä säätötapojen vertailujaksojen mittaustietoja ja parametreja. Lisäksi kappaleessa kuusi suoritetaan teoriaosiossa esiteltyjen laskentamenetelmien avulla vertailua tutkimustuloksille. Näiden avulla pyritään saamaan vastaus kolmanteen

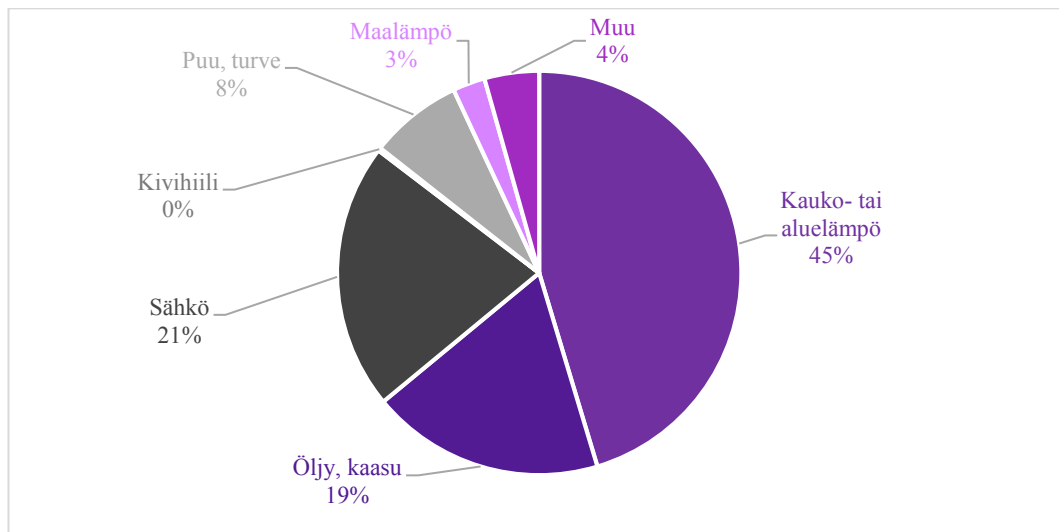
tutkimuskysymykseen. Viimeisissä kappaleissa esitetään vielä tutkimuksen lopulliset tulokset, arvioidaan tutkimusta kriittisesti, sekä esitetään jatkotutkimusaiheita ja suosituksia tilaajayritykselle. Kuvattu diplomityön kulku on esitetty kaavion muodossa alla olevassa kuvassa 1.



Kuva 1. Diplomityön kulku.

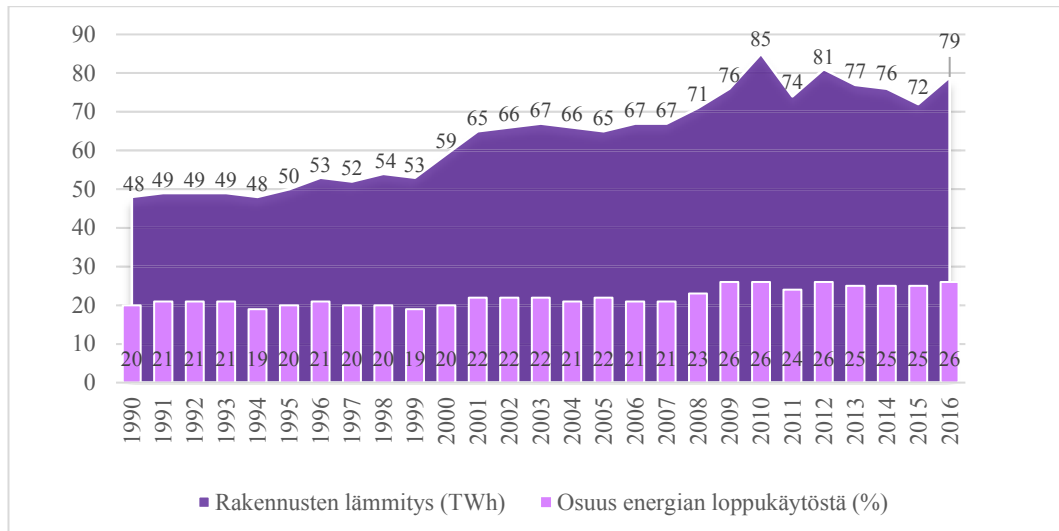
2 KIINTEISTÖN LÄMMITYSPROSESSI

Suomessa oli vuoden 2016 lopussa Tilastokeskuksen tietojen (Tilastokeskus 2016b) mukaan yhteensä yli 1,5 miljoonaa rakennusta, joiden kerrosalasta 45 prosenttia lämmitetään kaukolämmöllä kuvan 2 mukaisesti (Tilastokeskus 2016a). Vuonna 2012 pelkästään kaukolämmön tuotannon osuus Suomen kasvihuonepäästöistä oli noin 15 prosenttia (Vapaavuori et al. 2014, s. 12).



Kuva 2: Eri lämmitysmuotojen osuudet, tarkasteltaessa rakennuksen kerrosalan (m²) mukaan (mukaiillen Tilastokeskus 2016a).

Tämän diplomityön tutkimuskohteena oleva liike-, toimisto- ja teollisuusrakennusten sektori kattaa rakennusten kerrosalasta noin 21 prosenttia (Tilastokeskus 2016b). Energian loppukäyttö oli vuonna 2016 Suomessa 308 000 gigawattituntia (GWh), josta 26 prosenttia, eli noin 79 000 gigawattituntia (GWh), oli rakennuskannan energiankulutusta, kuten kuvasta 3 voidaan nähdä. (Tilastokeskus 2016b). Olemassa olevassa rakennuskannassa ja rakennusten lämmitysprosessien optimoinnissa on siis teoreettisesti suuri säästöpotentiaali energiatehokkuuden parantamiselle ja myös kiinteistökohtaisen uusiutuvan energian lisäämiselle. Kiinteistöjen energiatehokkuustoimilla voidaan vaikuttaa myös välillisesti energiantuotannon kasvihuonepäästöjen vähenemiseen, jos onnistutaan esimerkiksi tasapainottamaan kaukolämmön kulutusprofiilia ja pienentämään huipputehon tarpeen vaihteluita (Mäkipelto 2017).



Kuva 3: Energian loppukäyttö rakennusten lämmityksessä (TWh) ja sen osuus suhteessa kaikkien sektoreiden energian loppukäyttöön (mukaillen Tilastokeskus 2017b).

2.1 Lämmitysprosessin keskeiset käsitteet

Kiinteistöjen lämmitysprosesseihin ja niiden optimointiin liittyy käsitteitä, joiden ymmärtäminen on tärkeää järjestelmäkokonaisuuden hahmottamisen kannalta. Väärinymmärrykset käsitteiden osalta voivat johtaa prosessien ja tulosten virheelliseen tulkintaan ja edelleen epäoptimaalisiin toimenpiteisiin.

Energiansäästöllä tarkoitetaan jostain energiaa kuluttavasta toimesta luopumista ja tyytymistä vähempään, mikä vähentää energian tarvetta. Energiansäästö voi jopa huonontaa rakennuksen prosessien toimivuutta tai kiinteistön käyttäjien tyytyväisyyttä. Parempi toimenpide on energiatehokkuuden parantaminen. Energiatehokkuudella tarkoitetaan jonkun energiaa vaativan prosessin tehostamista ja energiaa kuluttavien prosessien tarpeenmukaistamista niin, että energiaa ei käytetä tarpeettomasti. Energiatehokkuus siis säästää energiaa, mutta ei kiinteistön olosuhteiden kustannuksella. Energiatehokkuus jaetaan tyypillisesti kahteen osaan: teknologiaan ja teknisiin ratkaisuihin, kuten laitteiden energiatehokkuuteen sekä kuluttajan ja käyttäjien valintoihin. (Vapaavuori et al. 2014, s. 49-51) Energiansäästö ja energiatehokkuus pätevät termeinä kaikkiin energiamuotoihin, mutta tässä diplomityössä niitä tarkastellaan ainoastaan lämmitysenergian käytön tehostamisen kannalta.

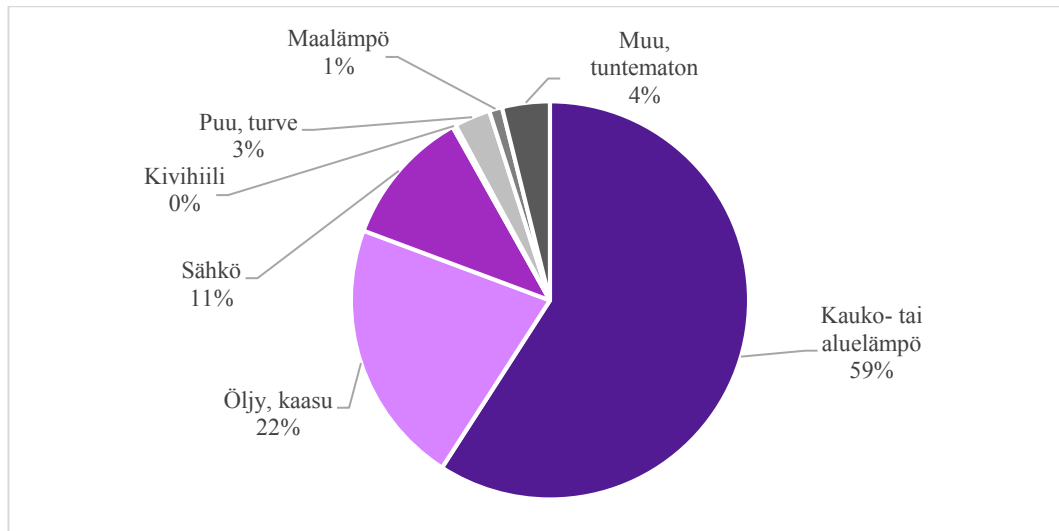
Lämmitysenergian kulutuksesta puhuttaessa tarkoitetaan tietyn aikajakson aikana kiinteistön lämmitykseen kulutettua energiamäärää. Lämmitysjärjestelmän

energiankulutus muodostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutuksesta. Lämmitysenergian tarpeella näin ollen tarkoitetaan sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittavaa energiamäärää. Lämmitysenergian kulutusta tarkasteltaessa käytetään yksikkönä kilowattituntia (kWh) tai megawattituntia (MWh). (Rakennetun ympäristön osasto 2011) Lämmitysteho tarkoittaa rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittavaa hetkellistä tehoa. Lämmitystehon yksikkö on kilowatti (kW). Vesivirta on lämmitystehon johdannaissuure, joka tarkoittaa kaukolämpöveden virtaamaa laskettuna samanaikaisella kaukolämpöveden jäähtymällä. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 1) Näiden ero on tärkeää ymmärtää, sillä esimerkiksi lämmitystehon tarpeen optimointi ei välttämättä vähennä lämmitysenergian kulutusta.

Ominaiskulutustiedon avulla kiinteistön sääkorjattua eli normeerattua energiankulutuksen tasoa voidaan arvioida suhteessa samantyyppisten kiinteistöjen energiankulutukseen. Ominaiskulutuksen yksikkönä käytetään vuotuista energiankulutusta kilowattitunteina pinta-alayksikköä kohden ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$) tai tilavuusyksikköä kohden ($\text{kWh}/\text{m}^3\text{a}$). Motiva Oy on koostanut energiakatselmustietokannastaan taulukon rakennustyyppikohtaisista lämpöenergian vuosittaisia ominaiskulutuksista. Nämä on esitetty liitteessä yksi (liite 1, kuva 39). On kuitenkin huomioitava, että myös saman rakennustyyppin kohteissa voi olla eroja teknisten ratkaisujen ja toimintojen osalta, joten taulukosta saa ainoastaan suuntaa-antavan arvion energiategokkuuden tasosta. (Motiva Oy 2017b.)

2.2 Lämmitysenergian tuotanto

Suomen rakennuskanta jakautuu viiteen yleisimpään lämmitysmuotoon, joita ovat kaukolämpö, öljy, sähkö, puu ja turve, sekä maalämpö. Rakennusten kerrosalan (m^2) perusteella tarkasteltuna kaukolämmöllä lämmitetään yhteensä noin 45 prosenttia koko rakennuskannasta. Kun tarkastellaan jakaumaa liike-, toimisto- ja teollisuussektorin rakennusalan (m^2) osalta, kaukolämmöllä lämmitetään 59 prosenttia kaikesta kerrosalasta. Tämä nähdään kuvasta 4, jossa on esitetty liike-, toimisto- ja teollisuusrakennusten lämmitysmuotojen osuudet kerrosalan (m^2) mukaan. (Tilastokeskus 2016a)



Kuva 4: Eri lämmitysmuotojen osuudet, tarkasteltaessa rakennuksen kerrosalan (m²) mukaan, liike-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa (mukaillen Tilastokeskus 2016a).

Tämän diplomityön kannalta tärkein lämmitysmuoto on näin ollen kaukolämpö, joka on myös työn käytännönsiossa tutkittavan kiinteistön lämmitysmuoto. Kiinteistökohtaisen maalämmön peruseriaatteet käsitellään myös työn teoriaosiossa, sillä yksi tutkimuksen hypoteeseista on maalämpöjärjestelmien investointien kannattavuuden kasvu huipputehontarpeen vähentymisen seurauksena.

2.2.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on lämpöenergiaa, joka on tuotettu kaukolämpölaitoksessa. Sitä siirretään kaukolämpöverkostossa kuumaa vettä avulla tuotantolaitoksilta käyttökohteisiin, eli asiakkaiden rakennuksiin. (Rakennetun ympäristön osasto 2011) Kaukolämpö on ollut Suomessa pitkään yleinen lämmitysmuoto ja verkot kattavat hyvin kaupungit ja suurimmat taajamat. Uusia verkkoja rakennetaan lähinnä silloin, kun nykyistä verkkoa laajennetaan uusille alueille. Verkostoissa virtaavan menoveden lämpötila vaihtelee eri alueiden verkkojen välillä, mutta se on yleensä vuoden sisällä noin 65 ja 120 asteen (°C) välillä. Talvella veden lämpötilan on oltava korkeampi kuin kesällä, jotta lämpöä saadaan siirrettyä riittävästi kaikille asiakkaille. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, s. 8-9)

Kaukolämpöverkon siirtokapasiteetin suuruus riippuu siitä, kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan kuljetettua vesivirtayksikköä kohden. Asiakaslaitteiden huono jäähtymä kasvattaa kaukolämpöverkon pumppaustarvetta ja virtausnopeuden kasvattamista, josta seuraa heikentynyt energiansiirtopotentiali. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 22)

Asiakkaan velvollisuutena on huolehtia siitä, että kaukolämpövesi jäähtyy kiinteistön laitteissa kunakin laskutuskautena keskimäärin vähintään 25 astetta (°C) ja kaukolämpöverkkoon palaavan veden lämpötila on enintään 65 astetta (°C) (Energiateollisuus ry 2017, s. 8). Lämmönmyyjällä on oikeus asentaa lämmönkäytön seurantaa ja laadun varmistamista varten mittauslaitteita asiakkaan kaukolämpölaitteisiin. Lämpöenergiamittarit mittaavat asiakkaalle toimitettavan lämpöenergian määrää eli kulutuksen ja asiakkaan laitteiden kautta virtaavan kaukolämpöveden määrää, sekä kaukolämpöveden laatua, eli esimerkiksi meno- ja paluuveden välistä lämpötilaeroa. Asiakkaalla on myös oikeus saada reaaliaikaista mittaustietoa omasta energiankäytöstään ohjaus- ja seurantajärjestelmänsä. Tiedon toimittamisesta sovitaan erikseen lämmönmyyjän ja asiakkaan välillä. (Energiateollisuus ry 2017, s. 8-9)

Asiakkaan kaukolämpölaitteet ovat laitteita, jotka jakavat lämpöenergian lämmönsiirtimiltä käyttökohteisiinsa. Niissä virtaa kaukolämpövesi tai ne vaikuttavat asiakkaan lämmitysjärjestelmän kautta kiertävään kaukolämpöveden virtaamaan säätämällä lämmitysprosessia. (Energiateollisuus ry 2017, s. 20) Suunnittelija mitoittaa rakennusten lämmityslaitteet ympäristöministeriön rakentamismääräysten mukaisesti siten, että lämmitysteho riittää myös lämmityskauden mitoittavilla ulkolämpötiloilla (Rakennetun ympäristön osasto 2011). Eri säävyöhykkeiden mitoitusulkolämpötilat on esitetty alla olevassa taulukossa 1. Säävyöhykkeet jakautuvat siten, että ensimmäinen vyöhyke koskee eteläisintä Suomea ja neljäs vyöhyke pohjoisinta Suomea. Toinen ja kolmas säävyöhyke asettuvat näiden välille. Kaukolämpötehossa otetaan huomioon tilojen ja käyttöveden lämmityksen ja muiden kaukolämpöä käyttävien kohteiden samanaikainen tehontarve. Käyttöveden kulutus vaihtelee paljon ja hetkelliset tehohiiput voivat olla tämän seurauksena suuria. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 3-5)

Taulukko 1: Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä. (mukaillen Rakennetun ympäristön osasto 2011).

Säävyöhyke	Mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

Kaukolämpöyrittäjä mitoittaa rakennuksen liittymisjohdon mitoitetun kaukolämpötehon ja siitä laskettavan vesivirran perusteella. Mitoituksena käytetään suunnittelijan laskelmia. Kaukolämpömaksuista 10-50 prosenttia määräytyy muun kuin mitatun energiankäytön perusteella, joten tehon määrittäminen huolellisesti on tärkeää kaikille osapuolille. Kaukolämpöjärjestelmän kannalta käyttöveden hetkellistä huipputehoa ei ole tarvetta käyttää verkon mitoitusperusteena, sillä kaukolämpöön kytkettyjen rakennusten hetkelliset huipputehon tarpeet vaihtelevat vuorotellen. Tyypillisesti käyttöveden osalta kaukolämpöjärjestelmän mitoitusperusteena käytetään tuntista keskiarvoa. Lämmitystehon vaihtelu on huomattavasti käyttöveden kuormitusmuutoksia hitaampaa, joten sen osalta hetkellinen huipputeho on yleensä sama kuin tuntinen huipputeho. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 3-5)

Liittymisvaiheessa kaukolämpöyrittäjä perii asiakkaalta liittymismaksun, jolla katetaan kaukolämmön tuotanto- ja verkkoinvestointien pääomakustannuksia. Kaukolämpölasku koostuu energiamaksusta ja tehomaksusta. Energiamaksu perustuu mitattuun energiankäyttöön ja sen yksikköhintaan vaikuttavat kaukolämmön tuotantoon käytetyt polttoaineet ja lämmönhankinnan muuttuvat kustannukset. Tehomaksulla katetaan lämmönhankinnan ja -siirron kiinteitä kustannuksia. Tehomaksun perusteena käytetään yleisesti niin tehoa, kuin myös vesivirtaa. (Rakennetun ympäristön osasto 2011) Käyttämällä vesivirtaa maksuperusteena tehon sijaan, asiakasta voidaan motivoida mitoitukseen ja laitevalintoihin, joissa kaukolämpöveden paluulämpötila on mahdollisimman alhainen eli jäähtymä mahdollisimman suuri. Asiakkaan näkökulmasta vesivirta voi olla vaikeammin ymmärrettävä suure. Vesivirta on tehon johdannaissuure ja se voidaan laskea kaavalla 1. Kuvassa 5 on havainnollistettu jäähtymän vaikutusta tehon ja vesivirran suuruuteen. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 5)

$$\dot{V} = \frac{\Phi}{c_p \times \rho \times (t_{et} - t_{ep})}, \quad (1)$$

missä \dot{V} on tehoa vastaava kaukolämpöveden tilavuusvirtaus [dm^3/s],

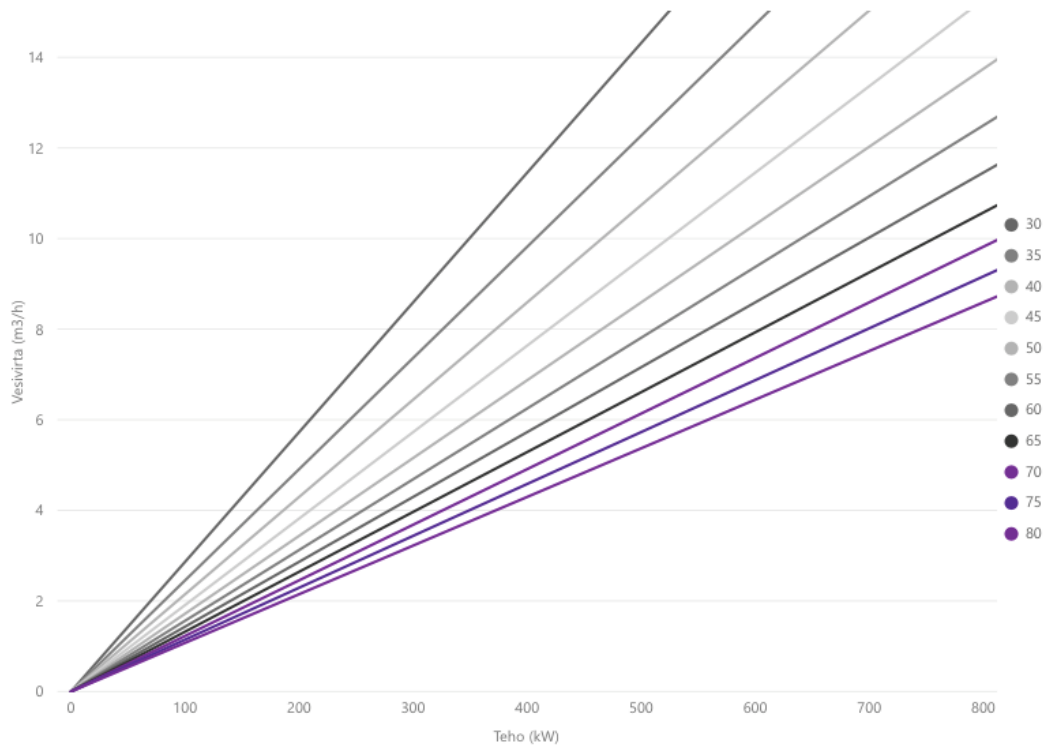
Φ on sopimusteho [kW],

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti [$\text{kJ}^\circ\text{C}/\text{kg}$],

ρ on veden tiheys [kg/dm^3],

t_{et} on kaukolämpöveden tulolämpötila [$^\circ\text{C}$] ja

t_{ep} on kaukolämpöveden paluulämpötila [$^\circ\text{C}$].



Kuva 5: Vesivirta tehon funktiona jäähtymän eri arvoilla kaavan 1 mukaisesti (mukaillen Energiateollisuus ry 2014b, s. 5).

Sopimusteholla tarkoitetaan asiakkaan käyttöön kaukolämpösopimuksen liittymisvaiheessa varattua tuntista lämmitystehoa, jonka mittayksikkö on kilowatti (kW). Sopimusvesivirta tarkoittaa asiakkaan käyttöön varattua, sopimustehoa vastaavaa kaukolämpöveden virtausta, jonka mittayksikkö on kuutiota tunnissa (m^3/h). Sopimusteho tai sopimusvesivirta kirjataan lämpösopimukseen ja ne perustuvat liittymisvaiheessa rakennuksen tuntiseen tehontarpeeseen mitoitusulkolämpötilassa. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 1) Lämmönmyyjä on oikeutettu rajoittaman asiakkaan saaman kaukolämmön sopimuksessa mainittuun sopimusvesivirran tai sopimustehon arvoon (Energiateollisuus ry 2017, s. 5). Laskutusteholla tai -vesivirralla tarkoitetaan asiakkaan käyttämää suurinta todettua tai mitoitusulkolämpötilaan arvioitua lämmitystehoa tai vesivirtaa. Laskutusteho ja -vesivirta voivat poiketa sopimustehosta ja -vesivirrasta. Jos käytön aikainen tehomaksu perustuu asiakkaan todelliseen tehontarpeeseen, tarkistaminen voidaan tehdä luotettavasti vain mittaamalla. Tuntiluentatietoihin perustuvaa menetelmää voidaan hyödyntää silloin, kun lämpöenergiamittarin tietoja luetaan etäluennalla ja tuntimittaukset tallennetaan tunneittain. Tämän mittaustiedon perusteella voidaan suorittaa laskutuksen sopimustehon tai -vesivirran tarkistaminen kaukolämpöyrityksen määrittämällä tavalla. Laskutusperusteen tarkistaminen edellyttää lämmityskaudella mitattua tuntitehotietoa

vähintään kolmen kuukauden ajalta eli joului- ja maaliskuun väliltä. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 1, 10-11)

Kaukolämmön tarpeen kaukolämpöverkoissa sanelevat verkkoon kytketyt asiakkaat. Verkkoihin syötetään lämpöä yleensä erillisistä lämpökeskuksista ja yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon laitoksista, joista jokainen on mitoitettu erikseen vastaamaan kyseisen verkon lämmöntarpeeseen (Pöyry Management Consulting Oy 2016, s. 7). Yleisesti kaukolämpöverkkoja syöttävät tuotantolaitokset on mitoitettu siten, että peruskuormalaitoksella tuotetaan yli 95 prosenttia vuotuisesta lämmöntarpeesta. Huippu- ja varavoimalaitoksia tarvitaan pääasiassa vain kylmien talvipäivien aiheuttamien kulutuspiikkien aikana. Myös tietyn lämmöntarpeen alapuolella saattaa olla kannattavampaa käyttää huippu- tai varakattilaa, joka on investointikustannuksiltaan edullisempaa, mutta käyttökustannuksiltaan kalliimpaa kuin perustuotanto. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 53) Kysynnän ja tuotannon vaihtelun eroja tasataan monissa verkoissa kaukolämpöakuilla, joihin voidaan varata lämpöä esimerkiksi kysyntäpiikkejä varten (Pöyry Management Consulting Oy 2016, s. 7).

Kaukolämmön tuotantomuoto vaikuttaa syntyviin päästöihin ja kaukolämpöenergian uusiutuvuuteen. Todellisuudessa suurin osa kaukolämmöntuotannosta perustuu edelleen fossiilisiin polttoaineisiin. (Huttunen 2017, s. 47) Kivihiilen korvaaminen muulla, kuin biomassalla tai turpeella edellyttää käytännössä lämmityksen sähköistämistä, eli esimerkiksi maalämmön käyttöä joko suurilla maalämpölaitoksilla keskitetyssä kaukolämmön tuotannossa tai kiinteistökohtaisessa hajautetussa tuotannossa. Lisäksi tarvitaan muita monipuolisia ratkaisuja, kuten energiatehokkuutta ja energian varastointia. (Hyysalo et al. 2017, s.27)

2.2.2 Kiinteistökohtainen maalämpö

Rakennetun ympäristön hajautettujen energiajärjestelmien tunnusmerkkinä on lähellä kulutuskohdetta tuotettu energia. Hajautettu tuotanto voi muodostua erillisistä lähienergialähteistä, mutta käytännössä nykyiset hajautetun energian ratkaisut ovat yhteydessä alueelliseen tai valtakunnalliseen jakeluverkkoon. Esimerkiksi maalämpö tarvitsee tuekseen sähköä, joka saadaan yleensä valtakunnan verkosta. Yksiköitä voi yhdistää sähköverkon lisäksi myös kaukolämpö ja –kylmäverkko. Tyypillisesti hajautetun energiajärjestelmän energiantuotantoyksiköt perustuvat uusiutuviin energianlähteisiin. Hajautettu energiajärjestelmä muuttaa perinteisen

energianjakeluverkon toimintatarkoitusta. Jakeluverkosta tulee myös siirtoverkko, josta otetaan energiaa käyttöön ja jonne syötetään lähienergiantuotantoa. (Airaksinen et al. 2013, s. 6)

Hajautetun tuotannon lisäämisellä on monia positiivisia vaikutuksia energiajärjestelmään, kuten huoltovarmuuden parantuminen ja päästöjen vähentyminen, jos hajautetulla energialla korvataan fossiilista energiaa. Hajautetut ratkaisut mahdollistavat erilaisten uusien teknologioiden käyttöönoton keskitettyä tuotantoa pienemmällä riskillä, kun yksittäiset investoinnit jäävät pieniksi. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 7) Hajautetuista pienimuotoisista energiajärjestelmistä voidaan hyötyä myös kansantaloudellisessa mielessä, sillä lämpöpumppuratkaisuilla on parhaimmat edellytykset vastata rakennetun ympäristön energiantuotannon ja kulutuksen tehostamistarpeeseen vuoteen 2020 mennessä (Airaksinen et al. 2013, s. 2). Hajautettujen tuotantomuotojen kannattavuustarkastelut eivät yksistään anna riittävää kuvaa hajautettuun tuotantoon investoimisen hyödyistä. Erityisesti, jos hajautettujen tuotantoteknologioiden kustannukset ovat lähellä keskitetyn tuotantomuodon kustannuksia, on myös muilla kuin taloudellisilla tekijöillä suuri merkitys energian käyttäjien valintoihin. Käyttäjät voivat olla valmiita maksamaan riippumattomuudesta tai ympäristöystävällisyydestä. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 99)

Maalämpöpumput hyödyntävät maaperään tai vesistöihin sitoutunutta auringon tuottamaa energiaa (Vapaavuori et al. 2014, s. 36). Ne ottavat lämpöä matalalämpöisestä, edullisesta lämmönlähteestä ja luovuttavat sitä korkeammassa lämpötilassa käyttökohteeseen arvokkaamman energian, eli sähkön, avulla. Mitä pienempi lämpötilannostotarve on, sitä vähemmän arvokasta energiaa tarvitaan ja lämpökerroin COP (Coefficient of Performance) paranee. COP on maalämpöpumpuilla yleensä 4,5 ja 2,5 väliltä, kun lämmityskiertoon menevä vesi on 30 – 60 asteista (°C). (Rinne & Syri 2013, s. 3) Sähkön määrä vastaa siis noin kolmannesta maaperästä otetun uusiutuvan energian lämpömäärästä. Kallioon porattu lämpökaivo on nykyään yleisin maalämmön talteenottotapa. (Vapaavuori et al. 2014, s. 36) Rakennuksen olemassa olevaan vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään maalämpöpumpun liittäminen on helppoa (Rinne & Syri 2013, s. 3).

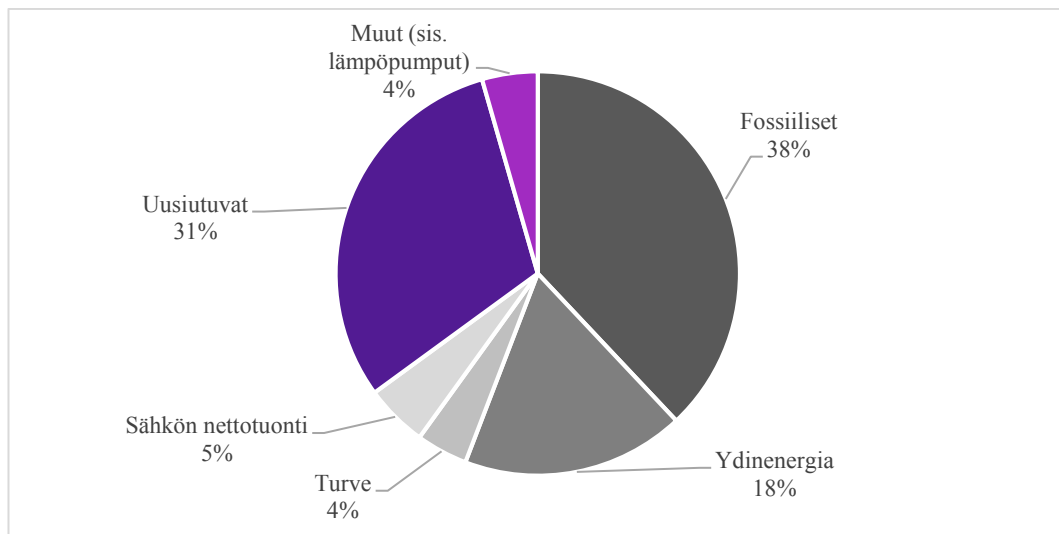
Vaikka maalämpö on niin sanotusti ilmaista luonnon energiaa, maalämpöjärjestelmän riippuvuus sähköstä heikentää sen ilmastoystävällisyyttä. Maalämpöpumppuja ei

kustannussyistä mitoiteta juuri koskaan suurimman lämmöntarpeen mukaan. (Airaksinen et al. 2013, s. 17) Ne mitoitetaan usein osateholle, eli esimerkiksi 60 prosentille tarvittavasta maksimilämmitystehosta investointikustannusten alentamiseksi (Rinne & Syri 2013, s. 3). Maalämpöjärjestelmän halutaan kattavan yli 90 prosenttia, mutta alle 100 prosenttia vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta. Loppu tuotetaan yleensä sähkövastuksilla. Lämpöpumpun ja sähkövastuksen tehojen tarkemmat mitoitukset riippuvat kuitenkin rakennuksen kulutusprofiilista ja tehontarpeesta. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 51) Maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa myös täysteholle, mutta se ei ole investointikustannuksiltaan yhtä houkuttelevaa. Sähkövastusten käyttö ajoittuu yleensä aikaan, jolloin sähkön kulutus on muutenkin suurimmillaan. Mahdollisimman vähäpäästöinen lämmitysmuoto on tuotannon kannalta sellainen, joka on ajallisesti vapaa ja sen lämpötilataso, eli lämmönlähteen ja lämmönluovutuksen välinen ero on alhainen. (Rinne & Syri 2013, s. 3) Lämpöpumppujen ilmastoystävällisyyden kehittäminen vaatii ratkaisuja, joilla talviaikainen sähkönkulutus voidaan minimoida, eli esimerkiksi lämmön varastointiratkaisuja (Airaksinen et al. 2013, s. 2).

Lämpöpumput vähentävät tarvetta hyödyntää kaukolämmön huippukattiloita talvella, mikä vuorostaan vähentää lämmöntuotannosta syntyviä päästöjä olettaen, että huippukattilat käyttävät fossiilista polttoainetta. Mikäli kaukolämmön määrä vähenee merkittävästi, voi se toisaalta aiheuttaa kesäaikaan huippu- tai varakattiloiden käytön yleistymistä, kun peruskuormalaitosta ei olekaan kannattavaa käyttää pienentyneellä lämpökuormalla. Nykyisessä tilanteessa huippu- tai varavoimatuotannon osuus on noin 4 prosenttia tuotetusta lämmöstä. Kiinteistökohtaisten lämmitysjärjestelmien tuottaessa suurimman osan lämmöstä ja kaukolämmön tuotannon laskiessa noin puoleen, huipputehontuotannon osuus voi jopa kolminkertaistua, sillä nykyinen kaukolämmön tuotantorakenne ei ole sopiva muuttuneessa toimintaympäristössä. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 53)

Globaalit investoinnit puhtaaseen energiaan ylsivät vuonna 2015 ennätyslukemiin, yhteensä 329 miljardiin dollariin (Salokoski 2017, s. 6). Tämän perusteella on selvää, että tahtotila kehittää energiamarkkinan murroksessa parempia energiantuotantomuotoja ja kestävämpää yhteiskuntaa, on suuri. Tekesin selvityksen (Salokoski 2017) mukaan ennustettavat toimenpiteet ja energiantuotannon rakenne vaihtelevat paljon eri toimijoiden laatimissa laskelmissa ja ennusteissa. Trendien perusteella vuonna 2025

toiminnassa on kokonaan uusiutuvan energian mikroverkkoja, joissa energiantuotanto tapahtuu uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla ja akkuvarastot täydentävät kokonaisuutta. (Salokoski 2017, s. 8) Energiatehokkuustoimien ansiosta energian loppukulutus tulee laskemaan ja samalla uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta kasvaa. Maalämmöstä on tulossa kaukolämmön suurin haastaja energiamarkkinoilla ja suosio tulee yhä kasvamaan, jos lämpövarastojen teknologiat yleistyvät. (Huttunen 2017, s. 31, 47-48) Uusiutuvan energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli noin 31 prosenttia vuonna 2016, joka nähdään kuvasta 6. (Tilastokeskus 2017a).



Kuva 6: Energialähteiden osuudet energian kokonaiskulutuksesta, vuonna 2016 (mukaillen Tilastokeskus 2017a).

2.3 Lämmitysenergian kulutus

Energiankulutus henkeä kohti on Suomessa korkea. Tämä johtuu esimerkiksi korkeasta elintasosta, kylmästä ilmastosta, suuresta valaistustarpeesta, energiantensiivisen teollisuuden suuresta osuudesta kansantaloudessa ja pitkistä etäisyyksistä. Ilmaston lämpenemisen myötä lämmitystarpeen arvioidaan kuitenkin pienenevän. Sään ääri-ilmiöt haastavat kulutuspiikkien myötä myös verkkojen kestävyyttä ja järjestelmän toimivuutta kaikkina vuorokauden- ja vuodenaikoina. (Vapaavuori et al. 2014, s. 13-16)

Lämmitysprosessien optimointi niin lämmitysenergiankulutuksen, kuin myös lämmitystehon osalta vaatii ymmärrystä myös kiinteistöjen energiankulutuksen tyypillisistä piirteistä. Suomalaisissa kiinteistöissä on havaittavissa kiinteistötyypin ja käyttötarkoituksen mukaisia lämmönkulutusprofileita. Energiatehokkuus ja lämmitysjärjestelmien optimointien kehittäminen edellyttävät, että kiinteistön

lämmönkulutusprofiilin muoto tiedetään. Kiinteistön lämmitys kokonaisuudessaan voi olla monimutkainen ja –vaiheinen kokonaisuus, joten on myös ymmärrettävä, miten kiinteistöjen lämmönjakoprosessit toimivat aina lämmönjakopaketista huonetilaan asti. Säättötoimenpiteet on osattava liittää osaksi järjestelmiä siten, että myös sisäolosuhteet pysyvät kaiken aikaa hyvällä tasolla. Tässä kappaleessa on tutkittu liike-, toimisto- ja teollisuusrakennus sektorin tyypillisiä lämmönkulutusprofiileja sekä tyypillisiä lämmönjakotapoja ja niiden toimintaa.

2.3.1 Energiankulutuksen profiilit

Kaukolämmön kysyntä vaihtelee huomattavasti hetkellisten vuorokausi- ja viikkorytmien mukaisesti, sekä vuositasolla. Vuositason vaihtelut ovat seurasta säätilojen ja ulkolämpötilojen vaihteluista. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, s. 7) Vuorokausitasolla kysynnän vaihtelussa näkyy erilaisten asiakkaiden profiilit, eli kulutus vaihtelee rakennuksen käyttäjien toiminnan ja sen ajoittumisen mukaisesti. Rakennuksissa, joissa ei ole erillisiä säätöjärjestelmiä, kulutuksen vaihtelut näkyvät lähinnä lämpimän käyttöveden kulutuksessa. Riippuen kiinteistön käyttötarkoituksesta, voidaan havaita esimerkiksi lämpimän käyttöveden aamu- ja iltapäiväpiikit. Talviaikaan koneellisen ilmanvaihdon kiinteistöissä ilmanvaihdossa on yleensä käytössä pakkaspudotus, jolla ilmanvaihto puolitetaan automaattisesti esimerkiksi -15 asteen (°C) ulkolämpötiloilla. Tämä toimii eräänlaisena automaattisena kysyntäjoustona. Suurimmat vuorokausi- ja viikkotason vaihtelut tapahtuvat sellaisten rakennusten lämmönkulutuksessa, joissa on käytössä erilaisia energiatehokkuutta parantavia ohjauksia, kuten aikasäädetty ilmanvaihtojärjestelmä. Lämmönkulutuksen aamuhuiput erottuvat tällaisten kiinteistöjen energiankulutuksesta selvästi, kun ilmanvaihtojärjestelmät käynnistyvät. Esimerkiksi liike- ja teollisuusrakennuksissa on usein tällaisia ohjauksia. (Valor Partners Oy 2015, s. 1,9)

Kysynnän ja tuotannon vaihtelun eroja tasataan monissa verkoissa kaukolämpöakuilla, joihin varastoidaan lämpöä esimerkiksi kysyntäpiikkejä varten (Pöyry Management Consulting Oy 2016, s. 7). Kaukolämpöjärjestelmän tasolla kulutusvaihtelut ovat kuitenkin pienempiä, kuin yksittäisten asiakkaiden kohdalla, sillä asiakkaiden erilaiset kysyntähuiput vaihtelevat ja siten tasapainottavat toisiaan. Kaukolämpöjärjestelmän tasolla on nähtävissä aamu- ja iltahuiput, jotka aiheutuvat lämpimän käyttöveden tarpeesta, sekä ilmanvaihtokoneiden käynnistymisestä. Ulkolämpötilan suuret vuorokausivaihtelut näkyvät lämmönkysynnässä pudotuksena keskipäivällä, kun

lämpötilan kohoaminen ja mahdollinen auringonpaiste lämmittävät rakennuksia. (Valor Partners Oy 2015, s. 10)

2.3.2 Lämmönjakotavat kaukolämmitetyssä kiinteistössä

Lämmönjakokeskus yhdistää asiakkaan ja kaukolämpöverkoston toisiinsa (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 64). Lämmönjakokeskuksessa on asiakkaan kaukolämpölaitteet, joilla tarkoitetaan lämmönsiirtimiä, säätölaitteita, pumppuja ja kiinteistön lämmönjakojärjestelmiä (Valor Partners Oy 2015, s. 8). Näitä laitteita tarvitaan jakamaan lämpöä esimerkiksi huonetilojen lämmitykseen, ilmanvaihtoon ja käyttöveteen. Kaukolämmityksen yhteyteen on kytkettävissä mikä tahansa nestekiertoinen lämmitysjärjestelmä, kunhan kaukolämmityksen lämpötilatasojen ja painehäviöiden ehdot täyttyvät. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 65, 83)

Lämmöntuottajalta tuleva kaukolämpövesi ja rakennuksen lämmitysjärjestelmien vedet on erotettu toisistaan lämmönsiirtimillä. Niitä laitteita, jotka sijaitsevat lämmönsiirtimen kaukolämpöyhtiön puolella, kutsutaan ensiöpuolen laitteiksi. Vastaavasti lämmönsiirtimen kiinteistön puolella sijaitsevia laitteita kutsutaan toisiopuoleksi. Lämmönsiirtimien käyttö on välttämätöntä kaukolämmityksessä, sillä kaukolämpöverkostoissa on korkeat painetasot ja lämpötilat, jotka poikkeavat rakennusten lämmitysjärjestelmien vastaavista. Lämmönsiirtimet myös suojelevat rakennusta kaukolämpöveden aiheuttamilta mittavilta vesivahingoilta, mikäli rakennuksen lämmitysjärjestelmässä tapahtuu vesivuoto. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 9, 64; Valor Partners Oy 2015, s. 8)

Lämmitysjärjestelmä toimii parhaiten, kun jokaiselle eri toiminta-ajoilla tai –lämpötiloilla toimivalle lämmityspiirille käytetään omaa lämmönsiirintä. Lämmönsiirtimien tulisi toimia kaikissa käyttöolosuhteissa siten, että kaukolämpöveden jäähtymä on mahdollisimman suuri. Lämmönmyyjä ei pysty suoraan vaikuttamaan asiakkaan säätölaitteisiin, vaan keskittyy toimitettavan kaukolämpöenergian laadun varmistamiseen, eli kaukolämpöveden lämpötilaan, paine-eroon ja painetasoon. Asiakkaan vastuulle jää rakennuksen kaukolämpölaitteiden toiminta, joka määrittää paluulämpötilan. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 65-69, 78)

Lämmönsiirtimien ja muiden laitteiden valinta riippuu tarvittavasta lämmitystehosta, vesivirrasta ja korkeimmasta sallitusta kokonaispainehäviöstä lämmönjakokeskuksessa.

Patteriverkoston ja lattialämmityksen lämmönsiirtimen teho saadaan lämmitystehontarvelaskennasta, johon vaikuttavat rakennusmateriaalit ja niiden lämmöneristyskyky. Ilmanvaihdon lämmönsiirtimen tehontarve saadaan ilmavirran lämmittämisen vaatimasta lämmitystehosta, joka riippuu ilmavirran suuruudesta, lämmitettävän ilman lämpöoloista ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton tehokkuudesta. Käyttövesisiirtimen mitoitusteho lasketaan toisiopuolen mitoitusvirtaaman ja käyttöveden siirtimelle tulevan kylmän veden ja sieltä käyttökohteisiin lähtevän lämpimän veden lämpötilaeroista. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 66-68, Energiateollisuus ry 2014b, s. 4, 12)

Lämmönjakokeskuksen säätölaitteet huolehtivat asiakkaan kaukolämpötehontarpeen säädöstä, sillä niillä säädetään kaukolämmön vesivirtaa. Säätölaitteet näin ollen määrittävät kaukolämmitysjärjestelmän taloudellisuuden. Säätöjärjestelmiin investoiminen tuo taloudellista etua jo lyhyessä ajassa ja sillä voidaan vaikuttaa viihtyvyyteen, eli rakennuksen sisälämpötilaan, käyttöveden tasaiseen lämpötilaan, sekä lämmityskustannuksiin. Säätöjärjestelmät koostuvat lämmityksen ja käyttöveden säätölaitteista, eli säätimistä, toimilaitteista ja antureista. Yksikkösäätimellä varustettu lämmitysjärjestelmä takaa hyvät säätömahdollisuudet rakennuksen toimintojen ohjaamiseksi, mutta lämmönjakokeskus on myös mahdollista liittää rakennusautomaatioon. Rakennusautomaation avulla rakennuksen toimintoja voidaan tarkkailla ja säätää ja se mahdollistaa yksilöllisen lämmöntoimituksen. Lisäksi lämmityspiireissä ja käyttöveden kiertojohdossa tarvitaan pumppuja, jotka tuottavat toiminta-arvojen mukaista virtaamaa. Pumpun valinta vaikuttaa lämmitysjärjestelmän toimivuuteen ja lämmön laatuun. Pumppujen valinnassa on huomioitava myös tarvittavan mitoitusvirtaaman ja nostokorkeuden saavuttaminen. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 64, 77-79; Energiateollisuus ry 2014a, s. 14-19)

Lämmönjakokeskukselta lähtevän patteriverkoston menoveden lämpötilaa säädetään ulkoilman lämpötilan perusteella. Menoveden lämpötilan on oltava riittävän korkea kaikkien kyseessä olevien tilojen lämmittämiseksi, jonka jälkeen huoneilman lopullista lämpötilaa hienosäädetään termostaattisella patteriventtiilillä. Jokaisella patterilla on oma termostaatti, joka rajoittaa patterin lämmönluovutusta, kun tilassa on ylimääräistä lämpökuormaa tavoiteltuun lämpötilaan verrattuna. Termostaatin tehtävä on siis säästää ostoenergiaa silloin, kun energiaa tulee kyseiseen tilaan jostain muusta lämmönlähteestä. Lattialämmitys on järjestelmä, jossa seinälle asennettujen pattereiden sijaan lämpöä

luovutetaan huonetilaan lattiaan asennetulla lämmönluovutusputkistolla. Lattian pintalämpötila aiheuttaa rajoituksia termiseen viihtyvyyteen, jonka takia lattialämmityksen menoveden lämpötilaa on rajoitettu ja lattialämmitysverkoston johdettavan veden lämpötila on alhaisempi kuin patteriverkoston. Myös lattialämmitysjärjestelmässä saavutetaan paras lopputulos säätämällä menoveden lämpötilaa ulkoilman lämpötilan mukaan. Huonetilojen lämpötilaa voidaan säätää erikseen huonetermostaateilla kuten patterilämmityksessäkin. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 86-88; Energiateollisuus ry 2014a, s. 57)

Ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluperusteet ovat samat kuin patteriverkostolle. Ilmanvaihtojärjestelmien osalta verkoston mitoituslämpötilat ovat saman suuruiset, kuin patteriverkostossa. Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimien mitoittaminen poikkeaa muiden lämmönsiirtimien mitoittamisesta, sillä lämpimässä käyttövedessä huipputehontarvetta voi esiintyä niin kesällä kuin talvellakin. Käyttöveden mitoittava tuloveden lämpötila on kaukolämpöverkoston kesäolosuhteiden lämpötila. Lämpimän käyttöveden teho- ja virtaamavaihtelut ovat suuria ja nopeita. Se asettaa huomattavat vaatimukset käyttövesisiirtimen laitteille, jotta käyttöveden tasainen lämpötila saadaan varmistettua. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 89; Energiateollisuus ry 2014, s. 8-9) Nämä neljä esiteltyä verkostoa ovat myös hyvin tyypillisiä lämmönjakoverkostoja liike-, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa.

Kaikissa kaukolämpötoiminnoissa tavoitellaan hyvää energiatehokkuutta. Lämmitysjärjestelmät suunnitellaan ja asennetaan siten, että energiankulutus ja tehontarve olisivat mahdollisimman pieniä. Säätojärjestelmät pyritään tekemään niin, että ne sopeuttavat energianhankinnan siten, että ulkopuoliset lämpökuormat hyödynnetään, lämpötilat pidetään mahdollisimman alhaisella tasolla lämmityskaudella, muuttuvat paine-ero-olosuhteet eivät häiritse toimintaa, energian- ja tehontarpeen optimointi on mahdollista ja lämmönjakolaitteiston perussäädön tarve on vähäinen. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 83; Energiateollisuus ry 2014, s. 7)

2.4 Energiankulutuksen optimointi

Suomen valtion omistama Motiva Oy aloitti toimintansa vuonna 1993 Energiansäästön palvelukeskuksena. Suomessa on siis tehty ainakin 24 vuoden ajan töitä kiinteistöjen energiatehokkuuden edistämiseksi. (Motiva Oy 2017a) Energian suuren merkityksen

vuoksi Suomessa on kiinnitetty perinteisesti paljon huomiota sen tehokkaaseen käyttöön (Vapaavuori et al. 2014, s. 13). Suomessa on jo pitkään pyritty myös kehittämään ympäristöä säästäviä ratkaisuja, kun kylmä ilmasto, pitkät etäisyydet ja omien fossiilisten energianlähteiden puute ovat pakottaneet toimimaan säästeliäästi energian ja kustannusten suhteen (Salokoski 2017, s. 34).

Suomesta löytyy kuitenkin myös hyödyntämätöntä potentiaalia. Esimerkiksi kansainvälisen energiajärjestön IEA:n julkistaman vertailun (IEA 2017) perusteella suomalaisten asuinkiinteistöjen energiatehokkuus on parantunut, mutta ei yhtä paljoa kuin esimerkiksi Ruotsissa (kuva 7). Suomalaisten asuinkiinteistöjen lämmityksen energiaintensiteetti, eli energian kokonaiskulutus kansantalouden arvonlisäystä kohti, oli IEA:n mukaan 0,56 gigajoulea neliöltä (GJ/m^2) vuonna 2014, kun se oli 0,61 gigajoulea neliöltä (GJ/m^2) vuonna 2000. Suomessa ollaan siis onnistuttu pudottamaan energiaintensiteettiä noin 8 prosenttia. Vastaava muutos on ollut Ruotsissa 27 prosenttia. (IEA 2017) Kyseinen vertailu käsitteli asuinkiinteistöjen energiaintensiteetin kehitystä. Toimitilapuolella ero ei todennäköisesti ole yhtä suuri Ruotsin hyväksi, mutta molemmista maista löytyy suurta potentiaalia myös toimitilakiinteistöjen energiatehokkuuden kehityksen osalta. (Mäkipelto 2017)

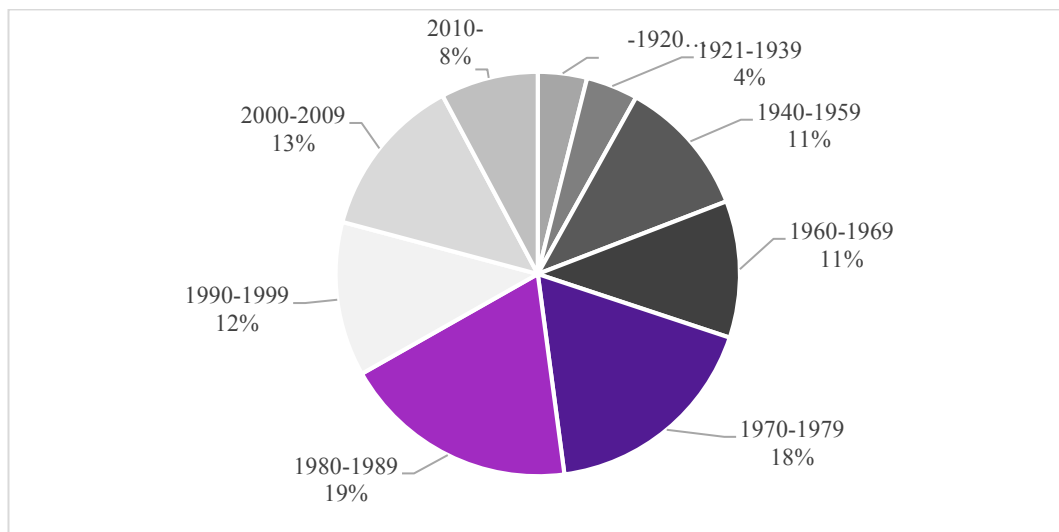


Kuva 7: Asuinkiinteistöjen lämmityksen energiaintensiteetti, lämpötilakorjattu (mukaillen IEA 2017).

Mentäessä kohti tavoitetta hiilineutraalista yhteiskunnasta, on tärkeää hyödyntää kaikkea löytyvää potentiaalia. Energiatehokkuuden nykyisen tason säilyttäminen ja sen edelleen parantaminen, kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja energian omavaraisuuden

lisääminen vaativat kaikki jatkuvaa panostusta ja kehitystyötä niin teknologian, kuin myös toimintatapojen osalta. (Vapaavuori et al. 2014, s. 49) Suomalaiset kiinteistöjen omistajat voivat kehittää kiinteistöjensä energijärjestelmiä hyvin kannattavasti ja pienillä riskeillä, panostamalla energiatehokkuuteen tai hyödyntämällä esimerkiksi lämpöpumpputeknologiaa (Mäkipelto 2017). Energian tehokkaalla ja säästävällä käytöllä tuetaan kaikkia energia- ja ilmastotavoitteita (Huttunen 2017, s. 72). Tila- ja energiatehokkuuden parantaminen ja järjestelmien uudistaminen nostavat paitsi olosuhteiden tasoa, myös kiinteistön arvoa (Soimakallio et al. 2017, s. 14). Välillisiä sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästöjä tulisi vähentää parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Suomen tulisi hyödyntää kaikin mahdollisin keinoin energiatehokkuuden ja cleantech –toimialan osaamista. (Koljonen et al. 2014) Kansainvälisen energijärjestö IEA:n arvion mukaan tavoiteltaessa lämpötilan nousun rajoittamista kustannustehokkaalla tavalla, energiatehokkuuden on oltava keskeisessä roolissa (Vapaavuori et al. 2014, s. 17).

Noin 50 prosenttia Suomen rakennuskannasta on rakennettu vuosien 1970 – 1999 välisenä aikana ja on iältään näin ollen 15 ja 45 vuoden väliltä. Suomen rakennuskannan ikäjakauma on esitetty seuraavassa kuvassa 8. (Tilastokeskus 2016b) Tässä ikäluokassa rakennuksille tehdään usein merkittäviä korjauksia, joiden yhteydessä myös lämmitysjärjestelmään olisi usein perusteltua tehdä parannuksia (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 34).



Kuva 8: Suomen rakennuskannan ikäjakauma, tarkasteltaessa rakennuksen kerrosalan (m²) mukaan (mukaillen Tilastokeskus 2016b)

Korjausten yhteydessä tekniikkaa kannattaisi päivittää vastaamaan nykypäivän vaatimuksia siltä osin, kun se on kustannustehokkaasti toteutettavissa (Soimakallio et al. 2017, s. 14). Merkittävä osa esimerkiksi lämmitystavan muutoksista ja muista parannuksista tehdään kuitenkin vasta tilanteessa, jossa olemassa oleviin järjestelmiin olisi välttämätöntä tehdä investointeja (Huttunen 2017, s. 47-48). Tästä syystä muutokset tapahtuvat rakennuskannassa hitaasti. Rakennuskannassa tehtävien muutosten tulisi aina ensisijaisesti pienentää primäärienergiankulutusta ja vähentää päästöjä, sillä tehtävillä valinnoilla on pitkäaikaisia vaikutuksia. (Airaksinen et al. 2013, s. 2)

Potentiaalisen rakennuskannan investointeja estää ja hidastaa myös mahdolliset vastikään toteutetut energiatehottomat korjaukset, jotka vievät investointihalukkuutta kiinteistöjen omistajilta. Teoreettista hyötyä syö myös se, että usein vanhojen kiinteistöjen parannusten yhteydessä on tehtävä tärkeitä laadullisia parannuksia vallitseviin olosuhteisiin, joka voi lisätä lopullista energiankäyttöä, vaikka kokonaisuus toimisi energiatehokkaammin. (Mattinen et al. 2016) Etenkin vanhemmassa rakennuskannassa säästöpotentiaali energiatehokkuustoimenpiteille on suuri, sillä lämmitysenergian osuus on noin kolme neljäsosaa koko rakennusten energiankulutuksesta (Hyysalo et al. 2017, s. 40).

Energiatehokkuuden kehittämisellä on mahdollista vähentää kiinteistöjen käyttökustannuksia merkittävästi. Keinoja ovat esimerkiksi talotekniikan päivittäminen energiatehokkaampaan, erilaiset lämmitysjärjestelmien ja ilmanvaihtojärjestelmien säädöt, sekä energiaa säästävät toimintatavat. Tarkemmin voidaan mainita muun muassa ilmanvaihdon aikaohjelmien tarpeenmukaistamiset, lämmöntalteenottojen hyötysuhteiden tehokkuuden varmistamiset ja tuloilman, huoneasetusten ja lämmityspaneeliverkoston menoveden asetusarvojen optimoinnit olosuhteet huomioiden. (Hyysalo et al. 2017, s. 40) Suurin osa energiatehokkuudella saaduista säästöistä tapahtuu teknologian ja teknisten ratkaisujen ansiosta. Uudet energiatehokkaammat ratkaisut ovat alkuun kalliimpia investointikustannuksiltaan kuin vanhempi teknologia, mutta käytön laajentumisen ja teknologin kehittymisen myös kustannukset yleensä alentuvat. Toimintaan ja valintoihin liittyvä energiatehokkuus on helpompaa ottaa yleisesti käyttöön, sillä alussa ei tarvita suuria investointeja. Toisaalta käytön tehostamisen mahdollistamaa säästöpotentiaalia ei usein saavuteta kokonaisuudessaan, koska tähän vaikuttaa käyttäjien valinnat. (Vapaavuori et al. 2014, s. 50)

3 DIGITAALISET TEKNOLOGIAT KIINTEISTÖN LÄMMITYSPROSESSISSA

Global Digital IQ 2017 –selvityksen mukaan digitalisaation ajama muutos on voimistunut kuluneen kymmenen vuoden aikana merkittävästi. Voidaan sanoa, että useat toimialat tulevat kokemaan merkittäviä muutoksia lähiaikoina. (Curran et al. 2017, s. 2) Disruptiivinen muutos tulee tarjoamaan vastauksia moniin nyky-yhteiskuntamme haasteisiin jo lähitulevaisuudessa ja seuraavan vuosikymmenen voittajia tulevat olemaan ne, jotka uskaltavat omaksua muutoksen. (Schreiber et al. 2017, s. 4)

Esineiden internetissä arvioidaan olevan tällä hetkellä noin viisi miljardia laitetta ja määrän uskotaan kasvavan 20 miljardiin vuoteen 2020 mennessä (Soimakallio et al. 2017, s. 53). Rohkeimmat arviot jopa esittävät, että vuonna 2020 tämä lukumäärä tulee olemaan 50 miljardia (Wellers 2015). On selvää, että interaktiivinen ja älykäs laitteiden ja ohjelmistojen verkosto tulee olemaan osa tulevaisuuttamme. Tämän verkoston laajentuessa mahdollisuudet innovaatioille ovat rajattomia. Esineiden internet ja digitalisaation mukanaan tuomat trendit tulevat olemaan itsestään selvä, tiedostamaton osa ympäristöämme, jossa laitteet, ihmiset ja esimerkiksi rakennukset vuorovaikuttavat saumattomasti ympäristönsä kanssa. (Wellers 2015)

Meidän tulee omaksua rohkeasti digitalisaation tuomia innovaatioita, sillä perinteiset keinot eivät yksin pysty vastaamaan kaikkiin energiamarkkinan murroksen mukanaan tuomiin haasteisiin. (Mattinen et al. 2016, s. 22) Digitaalisilla teknologioilla voidaan esimerkiksi madaltaa energiatehokkuuteen investoinnin kynnyistä ja edelleen pienentää rakennetun ympäristön muutosvelkaa, sillä energiatehokkaita käyttötapoja voidaan käyttöönottaa kiinteistöissä suhteellisen pienillä investointikustannuksilla. (Raatikainen 2016, s. 26; Soimakallio et al. 2017, s. 4) Energia-alan innovaatiot tulevat tukemaan modernia elämäntapaamme, kuten kaupungistumista, ilman kasvihuonekaasupäästöjen lisääntymistä. Muutosta tulisi kuitenkin vauhdittaa ennen kuin negatiiviset vaikutukset ympäristöömme jäävät pysyviksi (Gates 2017). Elinkeinopolitiikan kärkiteemaksi tulisi nostaa uuden teknologian kehittäminen. Innovaatioympäristöä vahvistamalla Suomella on mahdollisuudet sopeutua tulevan murroksen tuomiin haasteisiin. (Vapaavuori et al. 2014, s. 10).

3.1 Uusien teknologioiden keskeiset käsitteet

Globaalit ilmiöt ovat tuoneet mukanaan oman, yhä laajenevan käsitteistönsä uusista teknologioista ja niihin liittyvistä trendeistä. Kehityksen edetessä käsitteet leviävät ICT – alaa laajempaan käyttöön, myös esimerkiksi kiinteistö- ja rakennusalalle. (Soimakallio et al. 2017, s. 53) Näille käsitteille ja termeille on yleistä, että yksiselitteisiä ja vakiintuneita määritelmiä ei ole olemassa (Koistinen-Jokiniemi et al. 2017, s. 6). Tulkinta on laajaa, josta johtuen termit voivat tarkoittaa hieman eri asioita eri lähteissä. Microsoftin selvityksen (Korczak et al. 2017) perusteella tiedetään, että esimerkiksi suomalaiset yritysjohtajat määrittelevät digitalisuuden hyvin eri tavoin. Selvityksessä haastatelluista neljännes yhdisti digitaalisuuden suoraan teknologiaan tai IT investointeihin. Lähes puolet haastatelluista taas näkivät termin enemmän kokonaisvaltaisena liiketoiminnan kehityksen ajatusmaailmana konkreettisten toimien sijaan. (Korczak et al. 2017, s. 11)

Teknisesti ajateltuna digitalisaatiolla tarkoitetaan digitaaliteknologian liittämistä osaksi arkea, eli ympäriltämme kerättävän tiedon muuttamista digitaaliseen, tietokoneiden ymmärtämään muotoon. Toisaalta teknologisesti sillä tarkoitetaan yleistä kehitystä, jonka myötä digitaalisten sovellusten ja internetin käyttö on laajentunut. (Soimakallio et al. 2017, s. 53; Itkonen 2015) Digitalisaatio muuttaa liiketoimintatapoja ja asiakaskokemuksen syntymistä (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 8). Fyysiset tuotteet muuttuvat digitaalisiksi palveluiksi, jonka ansiosta käyttö-, tuotanto- ja jakelukustannukset alenevat. Digitaaliset alustat kehittävät tehokkuutta ja paikallisista tuotteista ja palveluista tulee globaaleja. (Koistinen-Jokiniemi et al. 2017, s. 6) Toimialat tulevat lähemmäs toisiaan, kun digitaalisuus ja ICT tulevat luonteviksi osiksi liiketoimintaympäristöjä. (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 8)

Internet of Things (IoT) eli esineiden internet on paljon käytetty termi. Sillä tarkoitetaan digitaalisia ratkaisuja, joiden avulla laitteita voidaan liittää verkon osaksi. Verkkoon liittäminen mahdollistaa laitteiden ohjaamisen etänä ja esimerkiksi niiden tuottaman datan analysoinnin reaaliaikaisesti. Kerätyn ja jalostetun datan pohjalta voidaan tuottaa sidosryhmille täysin uudenlaisia palveluita. Esimerkki tällaisesta sovelluksesta on energialajien kulutuspiikkien ajoittumisen seuranta ja käytön optimointi tämän perusteella. (Koistinen-Jokiniemi et al. 2017 s. 6) IoT-laitteista käytetään usein termiä intelligent assets, eli vapaasti käännettynä älykäs omaisuus. Tällaisia ovat fyysiset laitteet, jotka pystyvät aistimaan, tallentamaan ja kommunikoimaan ympäristönsä kanssa

enemmän tai vähemmän reaaliaikaisesti, usein langattomasti. (Ellen MacArthur Foundation 2016, s. 11)

Tekoäly on myös esimerkki käsitteestä, jota käytetään toimialoilla hyvin laajasti eri merkityksissä. Se on laaja kokonaisuus, mutta lyhyesti sillä tarkoitetaan laitteita, ohjelmistoja ja järjestelmiä, jotka kykenevät oppimaan ja tekemään päätöksiä lähes samalla tavalla kuin ihmiset. (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s. 15) Kapeampi ja selkeämpi alakäsite on koneoppiminen (machine learning), jolla tarkoitetaan tietokoneen kykyä oppia toistuvista tapahtumista ilman, että ihminen opettaa sitä erikseen. Koneoppimisella voidaan automatisoida tehokkaasti tiedon tulkintaa ja algoritmien avulla edelleen laajentaa havainnointikykyä perinteiseen raja-arvojen tulkintaan verrattuna. Koneoppimisesta on kaksi muotoa, valvottu ja valvomaton oppiminen. Valvotussa oppimisessa koneelle opetetaan tilanteita, joita se tarkkailee ja valvomattomassa oppimisessa kone itse löytää tilanteita ja ehdottaa niiden lisäämistä seurantaan. (Seikku 2018)

3.2 Digitalisaation kehityspolku

Innovaatioiden läpimenoajan lyheneminen on ollut aina tyypillistä teolliselle vallankumoukselle. Sähköistys tapahtui nopeammin kuin höyryvoiman rakentaminen ja todennäköisesti myös digitalisointi tulee tapahtumaan edelleen nopeammin kuin sähköistys aikanaan. Historiallisten merkkien mukaan seuraavan suuren teknologiamurroksen pitäisi olla käynnissä jo tämän vuosisadan puolivälissä. (Lehti 2017, s. 9) Kun tarkastelee viime vuosien aikana nousseita trendejä voisi sanoa, että ympäröivä älykkyys tulee väistämättä olemaan arkinen ja huomaamaton osa tulevaisuuttamme (Wellers 2015).

Intelin perustajan, Gordon E. Mooren, mukaan nimetty Mooren laki kuvaa hyvin digitaalitekniikan kehitystä 1960-luvulta lähtien. Sen mukaan mikropiireissä olevien transistorien lukumäärä kaksinkertaistuu noin kahden vuoden välein. Tämä eksponentiaalinen kasvu on mahdollistanut tietokoneiden ja järjestelmien kehityksen, sekä ohjelmistoihin perustuvat ratkaisut. Tämän lisäksi internetin kehitys on ehkä jopa merkittävämpi osa digitalisaation murrosta. Ethernetin keksijän, Robert Metcalfen laki sanoo, että kommunikaatioverkon arvo kasvaa osallistujamäärän neliönä. Internetissä on jo nykyisellään miljardeja käyttäjiä ja vielä enemmän laitteita, joten internetin käyttöarvo

on jo nyt todella suuri. (Mattila 2017, s. 3) Mooren ja Metcalfen lait yhdessä voimistavat toisiaan ja tulevat mahdollistamaan ratkaisuja, joita emme osaa vielä edes kuvitella. (Wellers 2015)

Digitalisaation voimakkaan kehityksen taustalla on ollut juuri nopeasti kasvanut laskentakapasiteetti sekä datan saatavuuden helpottuminen antureiden yleistyessä, tallennuskapasiteetin kasvaessa, kustannustason madaltuessa ja datan välittämisen yksinkertaistuessa (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s. 15). Digivallankumouksen mahdollistavat teknologiat ovat kaikki jo olemassa. Menestyminen digitalisaation murroksessa vaatii ympäristön jatkuvaa tarkkailua, tilaisuuksien oivaltamista ja rohkeaa kokeilua. Kokeilun mahdollistavat teknologiat ovat nykyään helposti ja edullisesti käytettävissä pilvipalveluiden muodossa. POC-kokeilu mahdollistaa myös sen, että onnistuessaan sovellukset on mahdollista käyttöönottaa ja skaalata nopeasti kysynnän mukaan. Toisaalta kokeilun epäonnistuessa ne on myös helppo hylätä, kun investointikustannukset eivät tuo suuria riskejä. (Mattila 2017, s. 7)

Työ- ja elinkeinoministeriön selvityksen (Ala-Pietilä & Lundström 2017) mukaan taloudellinen kasvu syntyy työmäärän lisäyksestä, uusista investoinneista ja yritysten kyvystä hyödyntää uutta teknologiaa. Kasvun ja tuottavuuden parantaminen tulee nojaamaan pitkälti ICT:n varaan, sillä se on ala, jolla on mahdollisuuksia pienentää kaikkien muiden alojen ympäristövaikutuksia ja investointiriskejä. ICT on jo niin tavanomainen osa ympäristöämme, että sen toimintaa ei huomaa, mutta toisaalta niin korvaamaton, että ilman sitä ei enää tulla toimeen. (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s.11; Ericsson 2015, s. 2) Yritykset ovat jo onnistuneet kuromaan IT ja liiketoiminta – maailmojen välistä eroa kiinni, mutta kehitystyötä on jatkettava täyden potentiaalin saavuttamiseksi (Curran et al. 2017, s. 2).

Energia-ala on digitalisaation näkökulmasta yksi vähiten kehittyneistä toimialoista ja suurin murros on vielä edessämme. Digitalisaatio on tiedostettu trendinä, mutta isoimpien mahdollisuuksien tukemiseksi on tehty vielä hyvin vähän. Etäluettavia mittareita on jo asennettu, mutta niiden seurauksena energiamarkkinaan ei ole tehty suuria muutoksia. (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 11) Kiinteistö- ja rakennusalalla digitaalisten ratkaisujen käyttöä on edistetty, jonka ansiosta eri sidosryhmät hyödyntävät jo uusia teknologioita, sovelluksia ja palveluita (Soimakallio et al. 2017, s. 5). Lisämahdollisuuksia digitalisaation hyödyntämiselle on kuitenkin paljon. Digitalisaatio tulee tarjoamaan

ratkaisuja esimerkiksi kaupungistumiseen ja sen mukanaan tuomaan energiantarpeen kasvuun, uusiutuvan energiantuotannon kehittämiseen, sekä kuluttajan roolin vahvistamiseen energiamarkkinassa. (Huttunen 2017, s. 103)

Euroopan komission Digital Economy and Society Index –vertailun (DESI) mukaan Suomi on Euroopan kolmanneksi kehittynein maa liiketoiminnan digitalisoinnissa (Euroopan komissio 2017). Tämän lisäksi World Economic Forum (WEF) sijoitti Suomen toiselle sijalle maailman maista vertailussa, jossa arvioidaan mahdollisuuksia hyödyntää ICT:tä liiketoiminnassa (Network Readiness Index). Tämän vertailun mukaan Suomi onnistuu hyvin erityisesti infrastruktuurin valmiuden ja osaamisen saralla. Lisäksi uudet teknologiat ovat suhteellisen edullisia ja hyvin saatavilla. (WEF 2016) Ollakseen jatkossakin hyvinvoiva maa, Suomen on kyettävä soveltamaan uutta teknologiaa yhä nopeammin ja viisaammin (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s. 12).

3.3 Kiinteistön lämmitysprosessin digitalisointi

Kansainvälisen energiamurroksen ja ilmastonmuutoksen hillinnän ajamana energijärjestelmän rakenne tulee muuttumaan merkittävästi myös Suomessa. Useita energiamurroksen muutostekijöitä on jo tunnistettu ja niillä tulee olemaan vaikutuksia energijärjestelmien systeemiajatteluun, tekniikkaan ja liiketoimintamalleihin. Keskeisimpiä teemoja tulevat olemaan globaalit megatrendit, kuten hajautetun, uusiutuvan energiantuotannon lisääntyminen, digitalisaatio ja kuluttajan vaikutusvallan kasvaminen. Energijärjestelmä tulee olemaan tulevaisuudessa älykäs, kilpailukykyinen ja joustava ja se tulee hyödyntämään monia teknologioita, joiden kehitystyö on käynnissä parhaillaan. (Salokoski 2017, s. 6)

Maailma kehittyy nopeasti ja muutoksen tarkkaa suuntaa on todella vaikeaa ennustaa. Selvää on se, että ympäristö- ja ilmastoystävällinen teknologia tulee olemaan kehityksen keskiössä. (Vapaavuori et al. 2014, s. 15) Pariisin ilmastopimuksen kovat tavoitteet esimerkiksi uusiutuvan energiantuotannon lisäämisestä tulevat haastamaan energijärjestelmien tasapainoa (Salokoski 2017, s. 6, 15). Perinteisiin energia-alan teknologioihin kohdistuu yhä enemmän epävarmuuksia, jonka seurauksena globaalin energiamurroksen vauhti kohti uusiutuvia energialähteitä kiihtyy entisestään. (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s. 25; Hyysalo et al. 2017, s. 4) Uusiutuvaa, hajautettua energiantuotantoa lisäämällä voitaisiin parantaa Suomen energiaomavaraisuutta

(Huttunen 2017, s. 34). Uusiutuvan energiantuotannon määrän ennustetaan lisääntyvän, kun kuluttajien tietoisuus kasvaa ja kustannukset alenevat (Salokoski 2017, s. 15). Suomen ilmasto-olosuhteet tuovat haasteita siihen, miten hajautettujen järjestelmien lisääminen vaikuttaa koko energiajärjestelmän tasapainoon. Vuodenajoilla on suuri vaikutus esimerkiksi lämmityksen huipputehontarpeeseen. Uusiutuvia energiamuotoja tulisi käyttää kustannustehokkuuden ja energiajärjestelmän tasapainon kannalta siten, että ne tukevat toisiaan eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. (Huttunen 2017, s. 34, 44, 100) Digitalisaatio tuo ratkaisuja verkostojen tasapainon haasteisiin niin tuotannon, kuin myös kulutuksen älykkäiden ohjausten myötä. (Salokoski 2017, s. 15)

Myös järjestelmien energiatehokkuutta edelleen parantaville teknologioille ja innovaatioille on kasvavaa tarvetta, kun perinteiset keinot eivät yksin pysty vastaamaan säästötavoitteisiin (Mattinen et al. 2016, s. 22). Kiinteistöihin on mahdollista lisätä älykkyyttä ja energiatehokkaita käyttötapoja liittämällä RAU-järjestelmään digitaalisia teknologioita. Pilvipalvelualustoilla kiinteistön seuranta ja ohjausta voidaan tehostaa. (Salokoski 2017, s. 25; Raatikainen 2016, s. 25-26) ICT-alaa hyödyntämällä voidaan saavuttaa toimiva, energiatehokas ja nykyaikainen energiajärjestelmä (Salokoski 2017, s. 14, 25). Uudet palvelut tulevat perustumaan suurten tietomassojen ja reaaliaikaisen tiedon käsittelyyn ja hyödyntämiseen, jolloin tiedonsiirto- ja tallennuskapasiteetti ovat tärkeässä asemassa. (Soimakallio et al. 2017, s. 7)

3.3.1 Lämmitysjärjestelmän älykkyys

Rakennusautomaatiojärjestelmillä on tärkeä rooli kiinteistöjen prosessien ohjaamisessa. Jollain mittarilla voitaisiin varmasti sanoa, että rakennusautomaatiojärjestelmät pitävät jo itsessään sisällään paljon älykkyyttä, sillä ne osaavat reagoida kiinteistössä ja prosesseissa tapahtuviin muutoksiin itsenäisesti. Ne pitävät sisällään lukuisia mittauspisteitä ja näin ollen suuren määrän dataa kiinteistön toiminnasta. Tämän datan perusteella kiinteistöä olisi mahdollista ohjata vielä tehokkaammin, mutta ongelmaksi muodostuu suuren datamäärän käsittely perinteisillä menetelmillä. Digitalisten teknologioiden avulla tämä tieto on mahdollista siirtää käsiteltäväksi pilvipalveluun. Tällöin rakennusautomaation ja pilvipalvelun välille rakennetaan tietoturvallinen yhteys, jossa esimerkiksi edullinen ohjelmoitava tietokone laitetaan toimimaan rakennusautomaatiojärjestelmän ja pilvipalvelun välisenä viestimenä. Rakennusautomaation kommunikointiprotokolla on yleensä perinteisempi, kuin ICT-alan suosimat protokollat. Toiminnan yksinkertaistamiseksi välissä toimiva tietokone voi

toimia myös eräänlaisena tulkkina kahden eri protokollalla toimivan järjestelmän välissä. (Raatikainen 2016, s. 18, 22; Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 79)

Rakennusautomaatiojärjestelmissä käytettyjä kommunikaatioprotokollia on useita. Näistä voidaan mainita kaksi yleisesti tuettavaa: Modbus ja Bacnet. Modbus on yksinkertainen, vakaa ja yleisesti käytetty 1970-luvulla kehitetty viestintäteknologia, jonka haasteena on datan muodon rajoittuneisuus, sekä puuttuva tuki suurille binäärisille datajoukoille. Vanhemmista rakennusautomaatiojärjestelmistä löytyy yleisesti tuki Modbus –protokollaan, vaikka se ei olisikaan järjestelmän itse käyttämä protokolla. Bacnet on uudempi viestintäteknologia, joka kehitettiin kaikenkokoisten ja tyyppisten rakennusautomaatiojärjestelmien ja säätöverkkojen viestintää varten. Bacnet –protokollaan pohjautuvat järjestelmät ovat yleistymässä uusien rakennusautomaatiojärjestelmien myötä. (Raatikainen 2016, s. 20-21) Esineiden internetin ja ICT-teknologioiden tarpeisiin vastaa esimerkiksi MQTT –protokolla (MQ Telemetry Transport), sillä sen avulla erityyppiset, rajoittuneet resurssit omaavat, yksinkertaiset laitteet voivat keskustella keskenään. MQTT on yleinen väyläprotokolla, jota ICT-teknologiat ja –sovellukset osaavat yleisesti käsitellä. (Gupta 2014)

Tietoa rakennusten toiminnasta voidaan myös rikastaa edullisesti rakennusautomaatiojärjestelmän ulkopuolisella datalla. Esimerkkejä tällaisesta ovat ulkoilman sääennuste, energian hinnan seuranta tai vaikkapa langattomat IoT-anturit. (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 51) Esineiden internet on dynaaminen verkko, joka kokoaa yhteen lukuisia eri asioita mittaavia laitteita. Verkossa olevat laitteet pystyvät kommunikoimaan ja vuorovaikuttamaan keskenään, sekä muiden samassa verkossa olevien osien, kuten pilvipalvelun kanssa. Esineiden internetin laitteita löytyy markkinoilta lukemattomia, eri käyttötarkoituksiin. (Raatikainen 2016, s. 25) Kiinteistöissä yleisesti käytettyjä ovat olosuhteita mittaavat lämpötilan, kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden anturit, sekä esimerkiksi valaistusta ohjaavat ja käyttöastetta tarkkailevat liiketunnistimet.

Älykkyys on termi, jolla kuvataan nykyään lähes kaikkia esineiden internettiin liitettyjä sovelluksia. Yksinkertaisen tehtävän omaava laite liitetään osaksi verkkoa, tuottamaan jotain arvokasta tietoa ympäristöstään. Älykkyys on laitteiden vuorovaikutuksen yläpuolella toimiva kerros. Tuotetusta datasta saadaan yhdistelemällä ja analysoimalla jotain uutta tietoa, jonka perusteella voidaan tehdä esimerkiksi viisaampia prosessin

ohjauspäätöksiä. (Schreiber 2017, s. 24) Oulun yliopistossa tehdyssä väitöskirjassa (Raatikainen 2016) todettiin, että pilvipalvelussa saatavilla olevien laskentamenetelmien innovatiivinen käyttö johtaa uusien informaatiopalveluiden kehitykseen ja esimerkiksi energiatehokkuudesta saadaan uudenlaista, monta prosessin osatekijää yhdistävää tietoa. Kun dataa kerätään ja analysoidaan monipuolisesti esimerkiksi kiinteistön lämmitysprosessista ja sen optimaalisuuteen vaikuttavista osista, voidaan tietoa saada käsiteltyä tehokkaammin. Parhaimmassa tapauksessa analysoinnin tuloksena voidaan jopa oppia uutta tietoa kiinteistön syy-seuraus suhteista. Tämän perusteella kiinteistön toimintaa voidaan edelleen optimoida täyteen potentiaaliinsa. (Raatikainen 2016, s. 92)

3.3.2 Lämmitysenergian kulutuksen seuranta ja mallinnus

Science-lehden artikkelissa on listattu jo vuonna 2010, että tärkeimpiä osia energiatehokkuuden älykkyyden kehittämisessä on kiinteistön laadun seuranta ja ohjaus (Gerhenfeld 2010). Lämmitysprosessin optimoinnin osalta on parempi, mitä tarkemmin ja tiheämmin lämpöenergian mittaustietoja on saatavilla. Vähintään tunnittainen mittaaminen on tärkeä osa nykyaikaista kaukolämpöjärjestelmää ja toimii tärkeänä taustatietona prosessin analysoinnille. (Mäkelä & Tuunanen 2015, s. 107) Suomessa ollaan jo pitkällä älykkäiden etäluettavien energiamittareiden kehityksessä. Lähes kaikilla energian kuluttajilla on Suomessa etäluettavat mittarit, jotka mittaavat tunnittaista energiankäyttöä, kykenevät vastaanottamaan viestintäverkon välityksellä kuormituskomentoja ja kykenevät ohjaamaan toimintaansa niiden perusteella. (Salokoski 2017, s. 19)

Tulevaisuuden energiajärjestelmän joustavuus vaatii perustakseen tällaista älykästä energian tuotannon ja kulutuksen seurantaa, nopeaa tiedonsiirtoa, tehokasta datan analysointia ja välitöntä reagointia muutoksiin. (Salokoski 2017, s. 31) Kun mittaustietoa kertyy lämmitysjärjestelmistä tiheällä aikajänteellä ja monipuolisesti eri lähteistä, järjestelmästä on mahdollista muodostaa kattava kokonaiskuva. Datan kerääminen on vasta ensimmäinen askel, kun tavoitellaan järjestelmien tehokasta optimointia. Tämän jälkeen oman haasteensa tuovat datan tehokas käsittely, analysointi ja haluttujen ohjauskäskyjen muodostaminen.

Useista eri lähteistä kerättävä data on monimuotoista ja harvoin rakenteellista. Perinteisesti data on rakenteista, mutta se voi olla myös puolirakenteista, kuten XML- (Extensible Markup Language) tai JSON- (JavaScript Object Notation) tiedostojen

sisältö, tai täysin rakenteetonta, kuten kirjoitettu teksti tai äänidata. Tällaisen suuren datamäärän käsittely vaatii kehittyneitä menetelmiä. (Salmi 2015) IBM:n vuonna 2011 tekemän selvityksen mukaan tulevien viiden vuoden aikana syntyvästä datasta 80 prosenttia tulisi olemaan rakenteetonta (IBM Corporation 2011). Näin ollen tarve datan monimuotoisuuden hallintaan ja suuren datamäärän analysointiin kehitetyille teknologioille on tänä päivänä suurta. Pilvilaskennan (engl. Cloud computing) yleistymisen myötä monimuotoisen datan käsittelyyn löytyy lukemattomia, helposti käyttöönotettavia ominaisuuksia. Pilvipalvelut ja pilvilaskenta ovat nykyajan teknologisia ilmiöitä, joihin löytyy ratkaisuja kaikilta suurilta teknologiayrityksiltä, kuten Microsoftilta, Googlelta ja IBM:ltä. Pilvipalvelut mahdollistavat yksinkertaisesti kuvattuna verkkoyhteyden avulla hyödynnettävän, tarpeen mukaan lisättävän laskentaresurssin, jota voidaan ottaa käyttöön eri lähteistä koottavan datan käsittelyä varten. Datan käsittelyyn käytetään lukuisia pilvipalveluun sisäänrakennettuja työkaluja, jotka tehostavat datan hallintaa ja analysointia. (Salmi 2015, s. 17)

Nykyaikaisten teknologioiden avulla pystytään myös simuloimaan todellisten järjestelmien toimintaa ja näin etsimään parhaita mahdollisia todellisuudessa toimivia ohjausmuotoja. (Salokoski 2017, s. 32) Tulevaisuuden joustavista energiajärjestelmistä puhuttaessa, käytetään usein termiä virtuaalivoimalaitos, joka on jo todellisuutta. Useat energiayhtiöt ovat tehneet kokeiluja esimerkiksi sähkön virtuaalivoimalaitoksista. Käytännössä tällä tarkoitetaan käyttöreserviä, jota voidaan hienosäätää kulutuksen ja tuotannon tasapainottamiseksi. (Juuti 2016) Sama periaate pätee myös kaukolämmön virtuaalivoimalaitoksiin. Tulevaisuuden joustavassa energiajärjestelmässä virtuaalivoimalaitoksilla tulee todennäköisesti olemaan merkittävä rooli. Niillä voidaan koota hajautettua tuotantoa yhdeksi isommaksi kokonaisuudeksi, toteuttaa varastointia ja hallita kulutusta suhteessa tuotettuun energiaan. (Salokoski 2017, s. 32)

Digitalisaatio murtaa raja-aitoja energiantuotannon ja –kulutuksen välillä, kun energiantuottajien ja –kuluttajien välille voidaan rakentaa digitaalisia käyttöliittymiä. (Vapaavuori et al. 2014, s. 61) Digitaalisen teknologian avulla kuluttajille näkymätön ja abstrakti asia, lämpö, saadaan näkyväksi, havainnolliseksi ja konkreettiseksi. Palvelualustojen, tiedonhallinnan ja tietoliikenneteknologioiden, sekä ohjelmistojen avulla voidaan luoda palveluita ja digitaalista liiketoimintaa. Käyttöliittymänä toimii sovellus, joka kerää, jakaa ja tallentaa tietoa. Kuluttajan rajapintana toimii esimerkiksi mobiilisovellus, johon kulutukseen liittyviä asioita on visualisoitu kuluttajan helposti

ymmärtämään muotoon. Visualisoitu tieto esimerkiksi kulutuskäyttäytymisestä voi kannustaa kuluttajaa tekemään energiatehokkaampia valintoja. Tämän tyyppisten palveluiden ketterä kehittäminen on helpottunut, kun käytössä on monipuolisia valmiita palveluverkostoja, kuten pilvipalvelualustoja ja niiden sisäänrakennettuja työkaluja. (Soimakallio et al. 2017, s. 59)

3.3.3 Lämmitysenergian kulutuksen älykäs optimointi

Uuden energiateknologian epävarmuudet kohdistuvat nopeasti kehittyviin älykkään energiantuotannon ja –kulutuksen osa-alueisiin, kuten varastoinnin ja kulutuksen jouston kehitykseen (Hyysalo et al. 2017, s. 5). Digitalisaation avulla energiantuotantoa ja –kulutusta voidaan ohjata suhteessa toisiinsa siten, että järjestelmätasolla saavutetaan mahdollisimman tasapainoinen tilanne (Huttunen 2017, s. 103). Kaukolämmön osalta tällainen jousto tarkoittaa käytännössä lämmönkulutuksen parempaa hallintaa kiinteistötasolla, sekä hukkalämmön hyödyntämistä ja varastointia (Hyysalo et al. 2017, s. 36).

Älykkäistä energijärjestelmän joustoa tavoittelevista ohjauksista puhuttaessa, käytetään usein termiä kysynnänjousto. Käytännössä tällaisen ohjauksen tavoitteena on kaukolämmön kulutuksen ja tehontarpeen ajoituksen muuttaminen tavanomaiseen lämmitystarpeeseen verrattuna ilman, että kiinteistön olosuhteiden laatu huononee. Tällainen ohjaus ei välttämättä säästä lämpöenergiaa, vaan tavoitteena on lämmönkulutuksen ajallinen siirto siten, että hetkellinen tehontarve ajoittuu sopivammin järjestelmäkokonaisuuden tasapainon kannalta. (Valor Partners Oy 2015, s. 3) Teknologian Tutkimuskeskuksen VTT:n toteuttamassa tutkimuksessa on todettu, että betonirakenteisen kiinteistön kaukolämmön tehoa voidaan leikata muutaman tunnin ajaksi 20-25 prosenttia ilman, että kiinteistön sisäilmaolosuhteet huononevat. (Kärkkäinen et al. 2003, s. 3) Yksittäisten kiinteistöjen kulutuksen jouston ja optimoinnin vaikutukset koko energijärjestelmän tasolla ovat tietysti pieniä. Uuden teknologian avulla yksittäisiä kuluttajia voidaan sitoa kuluttajaryhmiksi, jolloin vaikutukset koko järjestelmän tasapainon kannalta ovat merkittävämpiä. (Huttunen 2017, s. 73)

Digitalisaatio ja älykkäät järjestelmät tulevat avuksi myös korjausrakentamiseen. Järjestelmien parannusten ja korjausten yhteydessä joudutaan monesti valitsemaan energiatehokkuudeltaan heikompi ratkaisu, vastoin globaaleja kehitystavoitteita. Tämä on usein seurausta investointikustannusten suuruudesta. Kiinteistöihin on mahdollista

lisätä älykkyyttä ja energiatehokkaita käyttötapoja liittämällä rakennusautomaatiojärjestelmään digitaalisia teknologioita. Pilvipalvelualustoilla kiinteistön seuranta ja ohjausta voidaan tehostaa. (Salokoski 2017, s. 25; Raatikainen 2016, s. 25-26) Digitalisaation avulla tuotetulla energiatehokkuudella on todettu olevan myös muita hyviä vaikutuksia. VTT:n skenaario-selvityksessä (Koljonen et al. 2014) todettiin, että rakennusten energiankäytön kokonaishiilitase saadaan selvästi pienimmäksi sellaisessa skenaariossa, jossa uuden teknologian osuus on merkittävä.

Tulevaisuuden energiajärjestelmiltä vaaditaan myös kykyä ennakoida olosuhteiden ja käyttäjien tarpeiden muutoksiin (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s. 25). Edelleen lisääntyvä mittausdatan määrä luo edellytyksiä reagoivalle ohjaukselle (Huttunen 2017, s. 72). ICT-alan teknologiat, kuten pilvipalvelut, algoritmit, koneoppiminen ja tekoäly mahdollistavat suuren datamäärän käsittelyn ja analysoinnin. (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s. 42). Järkevä lämmitysprosessien optimointi vaatii älykkäiden laitteiden ja ohjelmistojen lisäksi vahvaa osaamista lämmitysprosessien toiminnasta. (Salokoski 2017, s. 19) Kokonaisuuden paras hallinta saavutetaan siis silloin, kun eri alojen asiantuntijat tekevät yhteistyötä (Curran et al. 2017, s. 2).

Energiamarkkina tulee olemaan kuluttajien kannalta tulevaisuudessa hyvin erilainen, sillä kuluttajan valta energiamarkkinassa kasvaa. Energiaa tullaan kuluttamaan, kun se on edullista ja myymään, kun hinta on korkea. Asiakkaat tulevat tarvitsemaan tuekseen kokonaisvaltaisia palvelumarkkinoita. (Salokoski 2017, s. 19) Monimutkaisen järjestelmäkokonaisuuden optimoinnissa uudella teknologialla tulee olemaan suuri merkitys. Digitalisaation keinot, lämpövarastot, akut ja älykkäät ohjaukset helpottavat ja tehostavat järjestelmän hallintaa. Reaaliaikaisella seurannalla ja ohjauksella, voidaan varmistaa aina halvin energia ja suurimmat taloudelliset hyödyt asiakkaalle. (Salokoski 2017, s. 14, 25) Uusien energiapalveluiden syntyyn vaikuttavat keskeisesti teknologian ja liiketoimintainnovaatioiden nopeus ja laajuus. Kehityksen edistämiseksi energiamarkkinaa tulisi avata myös uusille perinteisen alan ulkopuolisille toimijoille. (Hyysalo et al. 2017, s. 38, 41)

4 ENERGIAMARKKINA JA DIGITAALISUUDEN TUOTTAMA LISÄARVO

Konsulttiyritys EY:n mukaan kolme ajavaa voimaa – teknologia, globalisaatio ja väestönmuutos – synnyttävät vuorovaikutuksessa keskenään megatrendejä, jotka muovaavat tulevaisuuttamme disruptiivisella tavalla. Näiden seurauksena ympäristömme muuttuu älykkääksi, innovaatio muuntaa maailmaamme resurssiköyhästä resurssirikkaaksi ja yksilöt nousevat yhdeksi tärkeimmistä liiketoiminnan sidosryhmistä. (Schreiber et al. 2017, s. 16) Megatrendien vaikutuksen tulevat näkymään kaikilla toimialoilla ennemmin tai myöhemmin. Niiden laajalle ylettyvä vaikutus muovaa tulevaisuuden liiketoimintaa, yhteiskuntaa, taloutta ja yksilöitä. (Raatikainen 2016, s. 17) Myös PwC:n (Curran et al. 2017) ja Microsoftin (Korczak et al. 2017) teettämät selvitykset hahmottelevat samanlaista tulevaisuutta: yritysjohtajat listaavat teknologian ja digitalisaation globaaleista trendeistä suurimmiksi liiketoimintaa muuttaviksi voimiksi.

Kukaan ei pysty varmasti tietämään, miltä maailma tulee näyttämään edes vuosikymmenen päästä. Tämä haaste tulisi omaksua riskien pelkäämisen sijaan siten, että epävarmuudesta voi löytää mahdollisuuksia kehittyä ja innovoida täysin uudenlaista liiketoimintaa. Seuraavan vuosikymmenen voittajia tulevat olemaan rohkeat, muutoksen omaksuvat yritykset. (Schreiber et al. 2017, s. 4) Lisäarvon kysymys on jatkuvan ja kiihtyvän kehityksen vuoksi vaikea. Asia, joka tuottaa asiakkaalle lisäarvoa tänään, ei välttämättä tee sitä huomenna. Varmaa on ainoastaan muutos, yhteiskunnan teknologinen kehitys ja digitalisaatio. Näin ollen, ehkä tärkein lisäarvoa tuottava palvelu on sellainen, joka valmistelelee asiakasta energiamarkkinan murrokseen digitalisoimalla kiinteistön prosesseja. Tällä tavoin voidaan varmistaa, että asiakas saa myös tulevaisuudessa edullisinta energiaa. (Salokoski 2017, s. 19)

Energiamurroksessa tullaan tarvitsemaan myös olemassa olevan energiainfrastruktuurin muutosta ja uudistumista. Tällaisen perinteisen alan muuntautuminen ei tule tapahtumaan nopeasti. Yhteiskuntamme kehittämiseen ja kasvun vauhdittamiseksi tullaan todennäköisesti tarvitsemaan ketteriä, ennakkoluulottomia ja rohkeita kasvuyrityksiä. Kun digitalisaation huipulla olevia palveluyrityksiä kytketään osaksi teollista ekosysteemiä, saadaan aikaiseksi kasvua. Tällaisen mallin kannattavuuden takaamiseksi perinteiset arvoketjut pitäisi avata rohkeasti uusille toimijoille. (Salokoski 2017, s. 34) Perinteiset toimintatavat ja säädökset voivat pahimmassa tapauksessa jopa estää uusien

innovatiivisten, energiatehokkaiden teknologioiden käyttöönottoa. Markkinatoimijoiden ja kuluttajien toimeliaisuus ei yksin riitä muuttamaan markkinaa, vaan tueksi tarvitaan yhteiskunnan ohjausta ja rakenteellista muutosta. (Vapaavuori et al. 2014, s. 15)

4.1 Liiketoimintamallit ja energiantuotannon arvoketju

Jokaisen liiketoimintaa kehittävän keskustelun taustalla tulisi olla selkeä ymmärrys kyseisestä liiketoimintamallista. Se toimii monimutkaista kokonaisuutta sopivasti yksinkertaistavana pohjana, jonka ansiosta kaikki keskustelun osapuolet ymmärtävät yrityksen arvon muodostumisen periaatteet. (Osterwalder & Pigneur 2010, s. 15) Kirjallisuudesta löytyy lukuisia liiketoimintamallien määritelmiä. Osterwalder & Pigneur (2010) määrittelee sen selkeästi: liiketoimintamalli kuvaa ne perusteet, joilla yritys tuottaa, toimittaa ja vangitsee arvoa. Liiketoimintamalli voidaan kuvata yhdeksän elementin avulla. Elementeillä ovat osa-alueita, joihin yrityksen tulisi kiinnittää huomiota, kun suunnitellaan liiketoiminnan kehittämistä. (Osterwalder & Pigneur 2010, s. 14) Tämä malli on esitetty alla olevassa kuvassa 9.

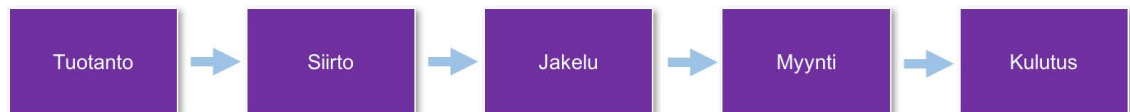


Kuva 9: Business model canvas ja sen yhdeksän elementtiä (mukaillen Osterwalder & Pigneur 2010, s. 49).

Puhuttaessa esimerkiksi energialiiketoiminnan murroksesta ja uusien teknologioiden hyödyntämisestä lisäarvon tuottamiseksi, on ymmärrettävä energialiiketoiminnan ekosysteemin osapuolten liiketoimintamalleja, eli arvon muodostumista. Kaikilla ekosysteemin osapuolilla on oma liiketoimintamallinsa ja oma kuvauksensa. Kehityksen kannalta on tärkeää hahmottaa, mihin esimerkiksi uudet palveluyritykset sijoittuvat suhteessa energiayhtiöihin ja heidän asiakkaisiinsa.

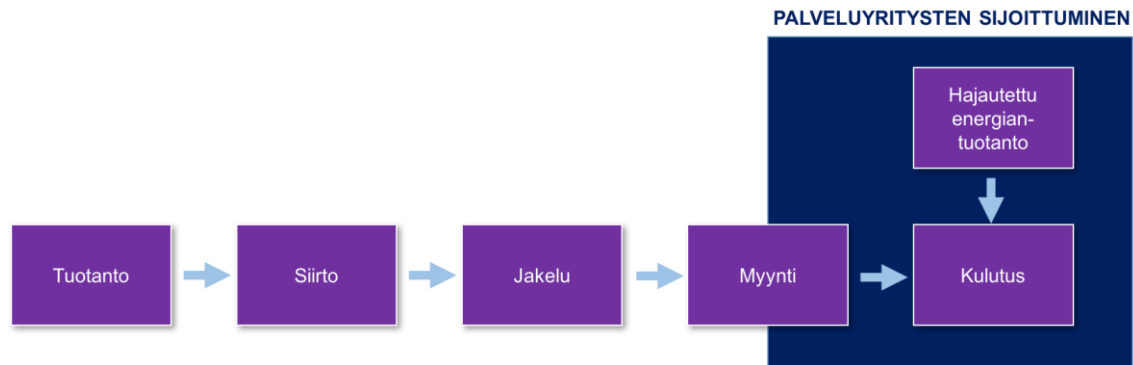
Kun suunnitellaan uutta liiketoimintaa digitaalisten teknologioiden tuottamana ja sen muodostamaa lisäarvoa asiakkaille, kuvastusta yhdeksästä kentästä erityisen tärkeäksi nousee arvolupaus. Arvolupaus tulee muodostaa etenkin uusien teknologioiden ja digitaalisten palveluiden osalta niin hyvin, että asiakas pystyy ymmärtämään saamansa hyödyn. Kun asiakas tekee valintaa yrityksestä, jolta haluaa ostaa tuotteen tai palvelun, arvolupaus voi määrittää tuon valinnan suuntaan tai toiseen. Arvolupaus kuvaa sitä tuotteiden ja palveluiden muodostamaa joukkoa, joka luo lisäarvoa tarkastelun kohteena olevalle asiakassegmentille. Arvolupaus ratkaisee asiakkaan ongelman tai vastaa johonkin asiakkaan tarpeeseen. (Osterwalder & Pigneur 2010, s. 22; Li 2007, s. 1127)

Kokonaisuuden hahmottamisen vuoksi on myös hyvä ymmärtää energialiiketoiminnan arvoketjua, sillä se vaikuttaa olennaisesti uusien palveluiden ja toimijoiden mahdollisuuksiin energiamarkkinassa. Energiantuotannon arvoketju on esitetty alla olevassa kuvassa 10. Energiantuotannon arvoketju koostuu tuotannosta, siirrosta, jakelusta, myynnistä ja kulutuksesta. Perinteisessä mallissa arvoketjun osapuolina ovat energiayhtiö ja asiakas.



Kuva 10: Energiantuotannon arvoketju (mukaiillen Richter 2012, s. 2486).

Hajautettu energiantuotanto, oli kyseessä sitten sähkö tai lämpö, muuttaa tätä perinteistä arvoketjua, kun tuotanto voi tapahtua lähellä asiakasta. Digitaalisten teknologioiden mukanaan tuomat uudet palvelut ja toimijat muuttavat myös arvoketjua. Tällaisessa mallissa energiayhtiö ja asiakas eivät ole enää arvoketjun ainoat osapuolet. Palveluyritys voi perustaa oman liiketoimintamallinsa täysin esimerkiksi palveluihin, jotka optimoivat asiakkaan energian ostamista ja kulutusta. Myös esimerkiksi hajautettu energiantuotanto voi kuulua kolmannen osapuolen palveluun. Alla olevassa kuvassa 11 on Richterin (2012) kuvaamaa hajautetun energiantuotannon arvoketju, ja lisäksi näkemys siitä, minne palveluyritykset sijoittuvat tässä arvoketjussa. (Richter 2012, s. 2487; Valor Partners Oy 2015, s. 8)



Kuva 11: Energiantuotannon arvoketju, hajautettu energiantuotanto ja palveluyritykset mukaan lukien (mukaillen Richter 2012, s. 2487; Valor Partners Oy 2015, s. 8).

Kuvan 11 mukaisessa arvoketjussa toimijat muodostavat liiketoimintaekosysteemin, eli eri toimijoiden tuottamien ratkaisukokonaisuuksien systeemin. Toimijat kokoontuvat jonkin keskeisen asian ympärille ja tuottavat arvoa sekä asiakkailleen, että ekosysteemin osapuolille, omilla ratkaisullaan. Tällainen malli mahdollistaa liiketoiminnan ketterän kehittämisen ja nopean reagoinnin tuleviin muutoksiin. (Ala-Pietilä & Lundström 2017, s. 64)

4.2 Perinteinen kaukolämpöliiketoiminta

Kaukolämpöjärjestelmän toiminta voidaan jakaa edellisen kappaleen arvoketjun (kuva 10) mukaisesti viiteen osaan. Näitä ovat lämmön tuotanto, siirto, myynti, jakelu ja kulutus. (Valor Partners Oy 2015, s. 8) Kaukolämpöverkot ovat tyypillisesti paikallisten energiayhtiöiden omistamia, ja ne hoitavat usein arvoketjun kolme ensimmäistä osaa, eli lämmön tuotannon, jakelun ja myynnin asiakkaille. Monilla paikkakunnilla energiayhtiöt myös ostavat esimerkiksi teollisuuden hukkalämpöä. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 103) Kaukolämpöyhtiöt saattavat myös käyttää tuotannon ja verkoston uudisrakennuksessa, käytössä, kunnossapidossa ja tietojärjestelmissä alihankkijoita (Valor Partners Oy 2015, s. 8).

Kaukolämpöyhtiö toimittaa kaukolämpöveden asiakaskiinteistöön, jossa asiakkaan lämmitysjärjestelmä vastaanottaa veden kulutettavakseen. Lämmönsiirtimien yhteydessä on kaukolämpöyhtiön mittalaitteet, joilla mitataan meno- ja paluuviesien lämpötilojen eroja, sekä virtausmääriä. Niiden perusteella lasketaan asiakkaan käyttämä energia, josta kaukolämpöyhtiö laskuttaa asiakasta. Asiakkaat saattavat hyödyntää käyttöön ja kunnossapitoon liittyvissä asioissa huoltoyhtiöitä, sekä kiinteistöjen hallintaan

liittyvissä asioissa isännöintitoimistoja tai kiinteistömanagereita. Näiden lisäksi asiakas voi hyödyntää esimerkiksi energiatehokkuuspalveluita tarjoavia yrityksiä. (Valor Partners Oy 2015, s. 8)

Toiminnan kannattavuus perustuu kaukolämmössä kustannustehokkaaseen lämmön toimittamiseen, eli peruskuormalaitosten korkeaan käyttöasteeseen, käytettävyyteen ja hyötysuhteeseen. Näihin voidaan vaikuttaa minimoimalla voimalaitosten käynnistysten ja alasajojen määrä, sekä maksimoimalla täydellä kuormalla ajettava käyntiaikaa. Lisäksi kaukolämpöyhtiön näkökulmasta on tärkeää, että tuotanto-, verkosto- ja asiakaslaitteet on mitoitettu oikein. Huippulämmön toimittaminen on usein epäkannattavaa kaukolämpöyhtiölle, joten huippulämpökeskusten käyttö halutaan minimoida. Nopeat kulutuksen vaihtelut aiheuttavat kaukolämpöjärjestelmälle lisäkustannuksia ja huonontavat järjestelmän tehokkuutta. Kaukolämpöjärjestelmälle paras asetelma olisi sellainen, jossa tuotantorakenne voisi joustaa kulutuksen mukaan tai kulutus voisi joustaa tuotannon mukaan. (Valor Partners Oy 2015, s. 11)

Lämmitysmarkkinoilla kaukolämpö kilpailee muiden lämmitysmuotojen kanssa, mutta on useimmiten määräävässä markkina-asemassa. Tämä ei ole kiellettyä, mutta aseman väärinkäyttö, kuten kohtuuton hinnoittelu olisi. (Valor Partners Oy 2015, s. 8) Viime aikoina kaukolämpöyhtiöiden toimintaympäristö on kuitenkin alkanut muuttua. Kiinteistökohtaiset lämmitysratkaisut ja lämpöpumppeihin perustuvat ratkaisut ovat nousseet varteenotettaviksi kilpailijoiksi kaukolämmön rinnalle. Hybridiratkaisut ovat yleistyneet, joissa kaukolämpö jätetään kiinteistökohtaisen lämmitysratkaisun, kuten maalämmön rinnalle. Tällaisessa ratkaisussa kaukolämpö toimii vara- ja huippulämmityskapasiteettina. Myös energiatehokkuuden parantuminen on pienentänyt lämmön ominaiskulutusta ja muuttanut lämmönkulutuksen profiilia kaukolämmön kannalta haastavaksi. Uusi kulutus rakenne on haastava, koska tehon tarve on suurempaa kuin lämpöenergian kulutus. (Pöyry Management Consulting Oy 2016, s. 22)

Kaukolämpöyhtiöiden toimintaympäristön muutokset luovat uhkia ja mahdollisuuksia. Yksi voimakkaasti kaukolämpöalaa vaikuttava trendi on digitalisaatio, joka muuttaa alaa kokonaisvaltaisesti. Toimintatavat, liiketoimintamallit, palvelut, tuotteet ja asiakaskokemus muovaavat toimialaa ja energiayhtiöiden on päätettävä, haluavatko ne kehittyä alan murroksen mukana. Suurimmat toimialaa muuttavat uudistukset ovat todennäköisesti vasta tulossa. Asiakkaiden kulutuskäyttäytymisen muuttumisen myötä

syntyy myös tarve palveluliiketoiminnalle, kun asiakkaat haluavat kokonaisvaltaista palvelua, joka turvaa toimintavarmuuden, halutut olosuhteet ja selkeän hinnoittelun. (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 6)

4.3 Digitalisaation mahdollistamat liiketoimintamallit

Innovatiiviset ja disruptiiviset liiketoimintamallit muuntavat parhaillaan energiamarkkinaa (Ellen MacArthur Foundation 2016, s. 27). Digitaalisuuden merkitys kasvaa ja mullistaa yhteiskuntaa, samalla, kun IoT-teknologiat kehittyessään synnyttävät markkinaan uusia liiketoimintamalleja (Huttunen 2017, s. 103). Tietoliikenneverkoista ja tietokoneista tulee yleiskäyttöisiä teknologioita, joiden vaikutus näkyy kaikilla toimialoilla. ICT-sovellukset muovaavat kulutustottumuksia ja asettavat monenlaisia muutostarpeita toimialoille. (Itkonen 2015) Erityisesti palveluliiketoiminta on nousemassa yhä tärkeämmäksi osaksi energiamarkkinaa, jolloin energiantuotannon toiminta-alueen merkitys vähenee (Huttunen 2017, s. 103). Digitalisaation myötä on mahdollista vastata asiakkaiden tarpeisiin aiempaa innovatiivisemmin keinoin, joka mahdollistaa kilpailun perinteisten, kokeneiden toimijoiden kanssa (Korczak et al. 2017, s. 14). Erityisesti cleantechin ja digitalisaation rajapinnoilla olevat yritykset tulevat olemaan vahvoilla tulevaisuuden energiamarkkinassa (Salokoski 2017, s. 31).

Energiamarkkina muuttuu myös yhä enemmän kuluttajavetoiseksi, eli kuluttajat voivat siirtyä yhä pienemmällä vaivalla toiseen lämmitysmuotoon, jos kaukolämpö ei palvele kasvavia vaatimuksia. Asiakkaille on tarjolla useita vaihtoehtoisia, varteenotettavia tuotantomuotoja ja myös niitä yhdisteleviä energiantuotannon palvelumalleja (engl. renewable energy as a service), jotka edesauttavat uusiutuvan energian käytön lisääntymistä. Asiakkaat ovat kasvavassa määrin kiinnostuneita selkeistä energian kokonaispalveluratkaisuista, joissa hyvät sisäilmaolosuhteet ja lämmöntuotanto taataan yksinkertaisella hinnoittelumallilla. Asiakkaat haluavat maksaa vain tarvitsemastaan energiasta selkeän hinnoittelun pohjalta ja hyödyntää mielellään mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavaa energiantuotantoa. (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 4, 32; Ellen MacArthur Foundation 2016, s. 27) IoT-teknologiat mahdollistavat hajautettujen energiantuotantojärjestelmien optimoinnin, yksinkertaisesti, osana palveluita. Järjestelmien älykkyyden lisäämisellä saavutettava energiatehokkuus on myös tunnistettu ja kasvava osa tulevaisuuden energialiiketoimintaa. (Ellen MacArthur Foundation 2016, s. 27)

Uuden liiketoiminnan ja uusien toimijoiden lisäksi digitalisaatio voi tuoda mahdollisuuksia myös perinteisille energiayhtiöille. Se voi tuoda työkaluja asiakaskokemuksen, sekä liiketoimintamallien ja prosessien kehittämiseen. Avartamalla näkökulmia digitalisaation mahdollisuuksille ja visioimalla ennakkoluulottomasti uudenlaisia palvelumalleja, myös kaukolämpöyhtiöt voivat hyötyä digitalisaatiosta ja energiamarkkinan murroksesta. Esimerkkejä kaukolämpöyhtiön kehittämismahdollisuuksista ovat kaksisuuntaisen kaukolämpöverkon kehitys, varastointiratkaisut ja kysynnänjousto, tietopohjainen lisäarvon tuottaminen, sekä selkeämpi hinnoittelu. (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 24, 39)

Kaukolämpöverkon osapuolilla voi tyypillisesti olla eri näkökulmat siitä, miten kaukolämpöä tulisi käyttää. Näkökulmat ovat useimmiten jokin yhdistelmä ilmaston muutoksen torjumista, energiatehokkuutta, verkon tasapainon parantamista ja kustannustehokkuutta. Asiakkaat haluavat kuluttaa lämpöenergiaa ensisijaisesti siten, että kustannukset ovat mahdollisimman pienet. Toisena prioriteettina voi olla myös ympäristön kannalta resurssitehokas toiminta. Asiakkaat eivät kuitenkaan pysty tekemään yksin koko järjestelmän tasapainoa tukevia päätöksiä, vaan tarvitsevat tukeen palveluita ja älykkäitä ohjelmistoja. Kaukolämpöyhtiön tavoitteena puolestaan on tehokas ja kannattava lämmöntuotantoliiketoiminta. Kumpikaan perinteisistä osapuolista ei siis ole automaattisesti ympäristöämme säästävistä ja teknologiamurrosta eteenpäin vievästä näkökulmasta puolueeton. (Valor Partners Oy 2015, s. 8) Eräs kaukolämpöyhtiö on sanonut Deloitte & Touchen haastattelussa (2016), että kaukolämpöyhtiöt joutuvat kannibalisoimaan omaa liiketoimintaansa energiansäästöpalveluilla, sillä uhkana on, että joku muu yritys tarjoaa sitä energiayhtiöiden sijasta.

Kolmannen osapuolen osallistuminen järjestelmän optimointiin olisi näiden tietojen perusteella positiivisen kehityksen kannalta erittäin tärkeää. Perinteisen markkinan ulkopuolinen toimija voi auttaa asiakasta tekemään hyviä päätöksiä niin kustannusten, kuin myös ympäristön ja kehityksen kannalta. Tämä ajaa markkinaa kulutuslähtöisesti ja energiayhtiöt joutuvat kehittämään palvelujaan säilyttääkseen kilpailukykynsä. Kaukolämmön liiketoiminnan kehittyessä, se säilyy varteenotettavana lämmitysmuotona. Palveluyritykset voivat tällöin auttaa energiayhtiöitä ohjaamalla asiakkaiden kiinteistöjä kaukolämmön tuotannon ja energiayhtiöiden kannattavuuden kannalta optimaalisella tavalla, kunhan se palvelee myös asiakkaiden tavoitteita kustannustehokkuudesta. (Valor Partners Oy 2015, s. 8; Ellen MacArthur Foundation 2016, s. 27) Lämpöyhtiöiden tulisi

kehittää ja löytää sellaisia yhteistyön malleja kumppaniyritysten kanssa, joilla asiakkaille tarjottavia kokonaisratkaisuja saadaan houkuttelevammiksi (Deloitte & Touche Oy 2016, s. 6). Esimerkiksi kysynnänjoustosta puhuttaessa huolena on, että yksittäisen kiinteistön toimenpiteet ovat liian pieniä kaukolämpöverkon mittakaavassa. Malli, jossa palveluyritys kokoaa useita kaukolämpöasiakkaita joustoreserviksi, voisi olla kaikkien osapuolten kannalta järkevä. (Valor Partners Oy 2015, s. 3)

Energiamurroksen kannalta kaukolämpömarkkinat tulisi avata kilpailulle. Nykyisellään kaukolämmön tilanne eroaa esimerkiksi sähköverkon tilanteesta, sillä kaukolämmön haltijoiden ei tarvitse ottaa muiden tuottajien lämpöä verkkoihinsa. Osittain tämä on ymmärrettävissä, sillä tuotannon sijainti verkon kysyntään ja siirtokapasiteettiin nähden, verkon muu tuotanto ja verkostolle sopiva lämpötila, ovat tekijöitä, jotka ovat kriittisiä kaukolämpöverkoston toimivuudelle. Tällainen asema markkinassa ei saisi kuitenkaan estää innovaatiota ja uusien ilmastoystävällisten liiketoimintamallien syntymistä. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, s. 103) Teollisen vallankumouksen jatkuminen digitaalisen palvelutalouden teknologiavallankumouksena olisi monessa suhteessa hyvä uutinen. Luonnonvarojen kestävämpi käyttö on kaikkia osapuolia palveleva tavoite. (Lehti 2017, s. 5)

4.4 Syntyvän lisäarvon todentaminen

Microsoftin selvityksen (Korczak et al. 2017) mukaan suomalaiset yritysjohtajat ovat avoimia kokeilemaan erityislaatuisia ja innovatiivisia näkökulmia liiketoiminnan ja järjestelmien kehityksessä, mutta yhtä aikaa vaativia halutessaan konkreettisia tuloksia saavutetusta lisäarvosta. Haastatellut myös ymmärtävät, että kokeilujen lopullinen lisäarvo ei välttämättä näy heti selvästi, vaan saattaa muuntua täyteen potentiaaliinsa vasta jossain myöhemmässä vaiheessa, kun markkina muuttuu tai teknologiat kehittyvät edelleen sopivalla tavalla. Kehitystyö tuottaa siis myös paljon sellaista lisäarvoa, jonka tunnistaminen on vaikeaa. Esimerkkejä tällaisista aineettomista, arvoperusteisista hyödyistä voivat olla esimerkiksi varautuminen tulevaan teknologiamurrokseen, teknologiseen kehitykseen osallistuminen, varautuminen energiamarkkinan murrokseen ja kaukolämmön mahdolliseen markkinaperusteiseen hinnoitteluun, sekä ilmastoystävällinen kulutuskäyttäytyminen. (Korczak et al. 2017, s. 34-35)

Uusien liiketoimintamallien ja älykkäiden, kiinteistön energiankulutusta optimoivien, ohjausten kehityksestä on kuitenkin mahdollista mitata myös selkeämpää lisäarvoa. Tällaisia muuttujia on tärkeää tunnistaa, jotta syntyvää lisäarvoa voidaan arvioida eri osapuolten näkökulmasta. Kaukolämpöverkon tyypillisiä osapuolia ovat kaukolämpöyhtiöt ja asiakkaat. Tämän diplomityön keskiössä on lisäarvon tuottaminen asiakkaalle, mutta myös yhteiskunnallisia vaikutuksia halutaan arvioida.

Asiakkaan näkökulmasta lisäarvoa tuotetaan silloin, kun käyttö- tai investointikustannukset pienentyvät. Tähän voidaan vaikuttaa pudottamalla kiinteitä tehomaksuja ja alentamalla energiamaksuja. Investointikustannukset voivat pienentyä esimerkiksi, jos lämmityksen tehontarpeen putoaminen tekee maalämpöratkaisusta kannattavamman. Lisäksi, jos älykkäällä ohjaustavalla pienennetään kiinteistön aiheuttamaa kuormitusta energiajärjestelmälle, tuotetaan asiakkaalle aineetonta lisäarvoa. Myös palvelun laadun parantuminen voidaan laskea aineettomaksi lisäarvoksi. (Valor Partners Oy 2015, s. 8, 15)

Yhtä aikaa asiakkaan näkökulmasta on tärkeää, että kiinteistön olosuhteet pysyvät erinomaisella tasolla (Valor Partners Oy 2015, s. 15). Tästä syystä on tärkeää tarkkailla kiinteistön olosuhteita, kuten lämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuutta. Näitä tarkkailemalla varmistetaan, että lämmitysprosessin optimointeja ei tehdä kiinteistön olosuhteiden kustannuksella. Olosuhteiden tasoon vaikuttavat myös useat muuttujat, jotka ovat kaukolämmön optimointia tarkkailevan kokeilun ulkopuolella, kuten käyttäjien toimet. Sisäilmaolosuhteiden tasoa voidaan tarkkailla soveltaen esimerkiksi sisäilmastoluokituksen (sisäilmastoluokkia ovat S1, S2 ja S3) tavoitearvojen toteutumisen perusteella. Koska operatiivisten olosuhteiden seuranta on käytännössä erittäin haastavaa, yksinkertaistetaan tarkastelu usein koskemaan vain sisäilmastoluokituksen enimmäis- ja vähimmäisarvoja. (Sisäilmayhdistys ry 2008)

Lämmitysenergian kulutusta voidaan vertailla kuukausitasolla mitatun kulutuksen ja normeeratun kulutuksen osalta. Muutokset lämmitysenergian kulutuksessa on myös mahdollista muuttaa taloudellisiksi luvuiksi, jos energian hinta tiedetään. Kun kulutus on normeerattua, se on vertailukelpoista kiinteistön sijainnista tai lämpötilaeroista riippumatta. Toteutuneen lämmönkulutuksen tiedot normeerataan lämmitystarveluvun avulla. Lämmitystarveluku perustuu siihen, että lämmityksen energiankulutus on verrannollinen sisälämpötilan ja ulkolämpötilan erotukseen. Käyttöveden

lämmittämiseen liittyvään osuuteen tämä periaate ei päde, joten käyttöveden osuus erotetaan normeerattavasta lämmitysenergian kulutuksesta. (Forssell 2017)

Kiinteistön kulutusta voidaan myös verrata muihin saman tyyliisiin kiinteistöihin laskemalla kiinteistön ominaiskulutus. Ominaiskulutuksen tyypillisiä arvoja on esitetty liitteen 1 kuvassa 39 (Motiva 2017b). Kiinteistön energiankulutuksesta voidaan saada tunnittaista tehontarpeen, vesimäärän ja jäähtymän mittausdataa. Näiden perusteella voidaan analysoida, onko vertailtavien jaksojen aikana tapahtunut muutosta kiinteistön huipputehon tarpeessa. Tätä verrataan kaukolämpöyhtiön määrittämään sopimustehoon. Sopimustehon määrittäminen on sopimuskohtaista ja riippuu hyvin paljon kaukolämpöyhtiön menettelytavoista, jonka vuoksi todellista taloudellista vaikutusta kaukolämpölaskuun voi olla vaikeaa määrittää.

Kaukolämpötehon mittaustietoa on myöskin hyvin harvoin oikeasta mitoituslaskentamallista. Energiateollisuus on määrittellyt suosituksessaan (Energiateollisuus ry 2014b) tavan selvittää laskennallinen tehontarve mitoituslaskentamallissa, joka perustuu regressiolaskentamenetelmään. Tehontarpeelle muodostetaan regressiosuora mitoituslaskentamallia vastaavan tehontarpeen selvittämiseksi, joka määritetään pistejoukon suurimpien arvojen perusteella. Tehontarpeen laskennassa mittausajanjakson tulisi olla vähintään edellisen pakkasjakson pituinen. (Energiateollisuus ry 2014b, s. 13) Vaikutusta voidaan arvioida, jos tiedetään alkuperäinen sopimusteho ja kyseisen kaukolämpöyhtiön tehomaksun suuruus.

Kuormitusta energiajärjestelmälle voidaan arvioida tehon kulutusprofiilin muodosta. Yksi lisäarvo voi olla myös kiinteistön todellisen tehontarpeen tunteminen, jolloin esimerkiksi maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa tehokkaammin ja asiakkaan kustannusten kannalta optimaalisimmin. Kaukolämpöyrityksen näkökulmasta lisäarvoa on kaukolämpöliiketoiminnan kannattavuutta parantavat toimet. Tällaisia ovat peruskuormavoimalaitosten käyttöasteen ja käyntiajan parantaminen, huippulämpökeskusten käyttöajan lyhentyminen ja tuotantoinvestointien lykkääminen. Yhteiskunnallisesti näkökulmasta lisäarvoa on onnistuttu tuottamaan yksinkertaisuudessaan silloin, jos energiankäyttö vähenee ja energiantuotannon ympäristöystävällisyys paranee. (Valor Partners Oy 2015, s. 8, 15) Myös nämä lisäarvot perustuvat samoihin tarkasteltaviin suureisiin, eli kaukolämmön kulutuksen ja tehontarpeen kehitykseen, joiden mittaaminen on mahdollista.

5 KOHDEKIINTEISTÖN OMINAISPIIRTEET

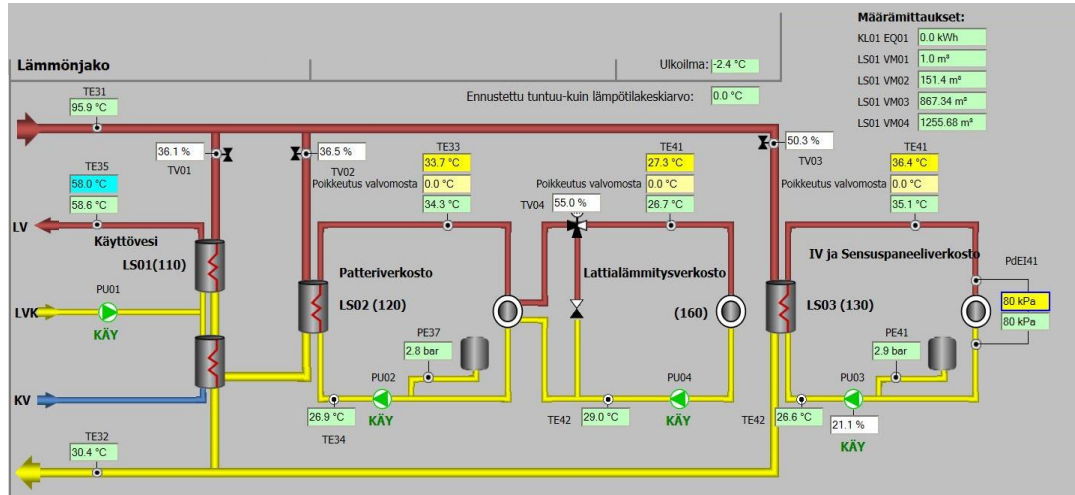
Tämän diplomityön käytännönosion tavoitteena oli tutkia, voidaanko digitaalisten teknologioiden avulla kehittää älykkäitä optimoinnin keinoja, jotka tuottavat lisäarvoa asiakkaille. Kohdekiinteistön teknologisia valmiuksia kehitettiin älykkäiden ohjausten kokeilua varten. Älykkäiden ohjausten kehitys siis myös paransi kohdekiinteistön valmiutta reagoida digitalisaation tuomaan muutokseen ja energiamarkkinan murrokseen. Teoriaosion luvun kolme perusteella on saatu hyvä käsitys siitä, mitkä ominaisuudet ovat tärkeitä digitaalisten ohjaustapojen kehityksen kannalta. Teknologisen valmiuden jälkeen kiinteistön lämmitysprosessia voitiin säätää hyvin monipuolisesti, kohdekiinteistölle parhaaksi katsotulla tavalla. Teoriaosion luvun kaksi perusteella ymmärretään, mitkä kiinteistön ominaisuuksista ovat merkittäviä lämmitysprosessien optimoinnin kannalta.

Tämän luvun tarkoituksena on esitellä tarkasteltavan kohdekiinteistön teknologisia valmiuksia, sekä niitä parannuksia, joita kohdekiinteistöön toteutettiin älykkäiden ohjausten kehittämiseksi. Luvussa tutustutaan kohdekiinteistön ominaisuuksiin ja etenkin lämmitysprosessin erityispiirteisiin, jotta osataan arvioida säätötapojen vaikutuksia juuri kyseisen kiinteistön energiankulutuksen optimoinnin kannalta.

Kohdekiinteistö on Helsingissä sijaitseva toimistorakennus, joka on rakennettu vuonna 2015. Kiinteistö on siis verrattain uusi, mikä tekee siitä hyvän testikiinteistön. Näin uudessa kohteessa ei oleteta olevan mitään suuria energiatehokkuuden haasteita, jotka vaikuttaisivat tutkimustulosten suuruusluokkaan. Kohdekiinteistössä on kuusi kerrosta ja sen tilavuus on 21 973 kuutiota (m³). Kiinteistön pääasiallinen rakennusmateriaali on betoni. Kiinteistön käyttötapa ja kulutusprofiili ovat pääasiassa samanlaisia, kuin tyypillisessä toimistorakennuksessa. Poikkeuksen tuo työpaikkaruokala, josta aiheutuu käyttöveden kulutuspiikkejä. Lisäksi kiinteistössä on jakeluväri. Kohdekiinteistön kaukolämmön sopimusteho on 336,0 kilowattia (kW) ja sopimusvesivirta 3,6 kuutiota tunnissa (m³/h). Kohdekiinteistö sijaitsee säävyöhykkeellä yksi, joten sen kaukolämmön mitoitussulkolämpötila on -26,0 astetta (°C).

Lämmitysmuotona kohdekiinteistössä toimii kaukolämpö ja ilmanvaihtojärjestelmänä koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä. Kohdekiinteistön prosesseja ohjataan Fidelix – rakennusautomaatiojärjestelmällä. Lämmönjakojärjestelmä pitää sisällään käyttövesi-, patteri-, lattialämmitys- ja ilmanvaihtoverkoston (IV-verkosto). Nämä verkostot voidaan

nähdä lämmönjaon valvomografiikkakuvasta, joka on alla olevassa kuvassa 12. Kuvasta nähdään esimerkkinä muutamia pisteitä, joita tullaan poikkeuttamaan älykkäiden ohjausten avulla. Näitä ovat patteri-, lattialämmitys-, sekä IV- ja lämmityspaneeliverkoston menoveden, asetusarvot.

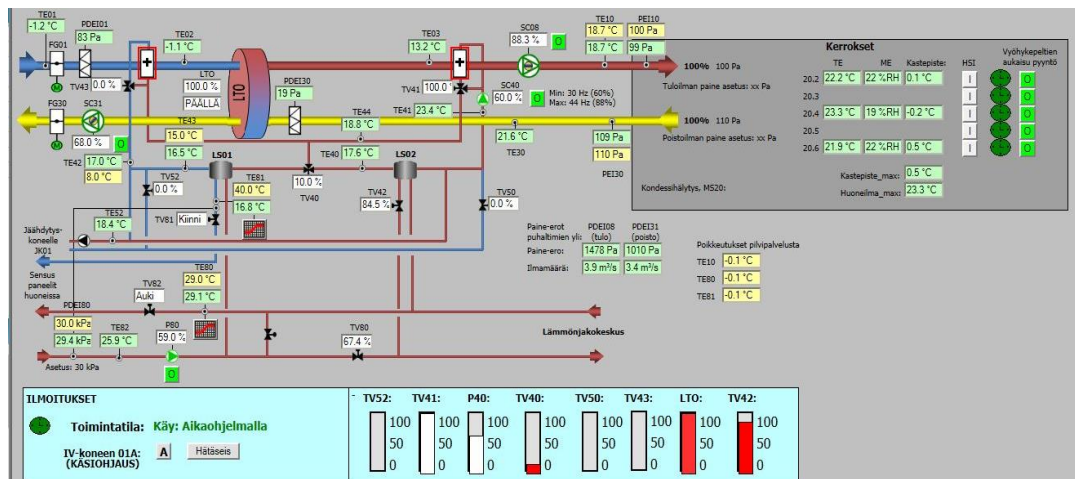


Kuva 12: Lämmönjakojärjestelmän valvomografiikkakuva Fidelix – rakennusautomaatiojärjestelmästä.

Kiinteistössä on viisi ilmanvaihtokonetta (TK), joita ohjataan omilla aikaohjelmilla. TK1 ja TK2 palvelevat toimistokerroksia, toinen itä- ja toinen länsipäätä. Kerroskohtainen ohjaus on tehty näistä kahdesta ilmanvaihtokoneesta vyöhykkeiden avulla. Lisäksi TK3 palvelee ravintolaa ja aulaa, TK4 keittiötä ja TK5 sosiaalitiloja. Ilmanvaihtokoneet käyvät seuraavilla aikaohjelmilla:

- TK1: päällä ma – su klo 06:00 – 20:00
- TK2: päällä ma – pe klo 06:00 – 18:00
- TK3: päällä ma – pe klo 06:00 – 18:00
- TK4: päällä ma – pe klo 05:00 – 17:00
- TK5: päällä ma – pe klo 06:00 – 18:00

Seuraavassa kuvassa 13, on esitetty rakennusautomaatiojärjestelmän valvomografiikkakuva yhden ilmanvaihtokoneen (TK1) osalta. Kuvasta nähdään esimerkkinä muutamia pisteitä, joita tullaan muuttamaan älykkäiden ohjausten avulla. Näitä ovat ilmanvaihtokoneiden tuloilman ja huonesäätimien perusasetuksen asetusarvot.



Kuva 13: Ilmanvaihtokoneen TK1 valvomografiikkakuva Fidelix – rakennusautomaatiojärjestelmästä.

Kohdekiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmän sisäänrakennetut ohjaukset ja säädöt, ovat LeaseGreen Suomi Oy:n asiantuntijoiden kokemuksen perusteella jo itsessään kehittyneempiä, kuin monessa vastaavan kokoisessa toimistokiinteistössä. Tästä johtuen lopputuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että älykkäillä ohjauksilla ei todennäköisesti saada tässä tapauksessa aikaiseksi yhtä suuria vaikutuksia, kuin alkeellisemmän ohjausjärjestelmän omaavissa kiinteistöissä.

Kohteen rakennusautomaatiojärjestelmä tukee Modbus-väyläprotokollaa, jonka ansiosta kiinteistö on helppoa liittää LeaseGreen Suomi Oy:n pilvipalveluun. Liittäminen tapahtuu pienellä ohjelmoitavalla tietokoneella. Sen avulla kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan lähetettyä pilvipalveluun tiedot kaikista halutuista mittauspisteistä. Lisäksi tähän kohteeseen rakennettiin mahdollisuus kirjoittaa viestejä pilvipalvelusta. Pilvipalvelusta voidaan lähettää viestejä, jotka kulkevat ohjelmoitavan tietokoneen kautta rakennusautomaatiojärjestelmän määriteltyihin pisteisiin.

6 SÄÄTÖTAPOJEN VERTAILU

Diplomityön käytännönosion tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko digitaalisten teknologioiden avulla kehittää säätötapoja, jotka optimoivat kiinteistön lämmitysenergian kulutusta paremmin, kuin perinteisemmät menetelmät. Ensimmäinen säätötapa on kiinteistön perinteinen käyttö, joka perustuu kiinteistön alkuperäisiin suunnitelmiin ja säätöihin. Tämän jälkeen toisessa säätötavassa kiinteistön prosessien toimintaa ja energiatehokkuutta on parannettu perinteisillä optimoinnin keinoilla. Kolmannessa säätötavassa puolestaan yhdistyy edellisen säätötavan perinteiset energiatehokkuustoimenpiteet ja tilaajayrityksen kehittämä älykäs ohjaus, joka on toteutettu digitaalisten teknologioiden avulla. Eri säätötavat ajoittuvat kolmen eri vuoden aikajaksolle, jonka ansiosta niiden toiminnasta ja vaikutuksista kaukolämmön huipputehoon ja energiankulutukseen on saatavilla hyvin vertailukelpoista mittausdataa. Säätötapojen vertailujaksoiksi valittiin kolmen eri vuoden tammikuu, jolloin säätötavat saatiin keskenään hyvin vertailukelpoisiksi.

Säätötapojen A, B ja C tarkkoja ohjausmenetelmiä ei tulla käsittelemään, sillä ne ovat LeaseGreen Suomi Oy:n IPR-oikeutta. Tärkeämmäksi koetaan säätötapojen vaikutusten monipuolinen arviointi, laskenta ja visualisointi, jotta syntyvä lisäarvo voidaan havaita. Säätötapojen eroja tullaan arvioimaan tässä käytännönosiossa monipuolisesti, perustuen valittuihin mitattaviin suureisiin. Kaikki valitut suureet lasketaan jokaiselle säätötavalle, jonka jälkeen niiden välisiä eroja vertaillaan viimeisessä alaluvussa. Näitä suureita ovat:

- Kaukolämmön normeerattu kulutus megawattitunteina (MWh)
- Kaukolämmön mitattu kulutus megawattitunteina (MWh) ja sen kustannus euroissa (€)
- Kiinteistön ominaiskulutus eli energiankulutus kilowattitunteina, tilavuusyksikköä kohden ($\text{kWh/m}^3\text{a}$)
- Kaukolämmön tunnitainen huipputehontarve kilowatteina (kW) ja sen suhde kaukolämmön sopimustehoon prosentteina (%) ja euroina
- Kaukolämmön tunnitaisen tehontarpeen regressiolaskenta mitoituskolämpötilaan kilowateissa (kW) ja sen suhde kaukolämmön sopimustehoon prosentteina (%) ja euroina
- Kaukolämmön tehontarpeen tasaisuuden analysointi kilowatteina (kW)

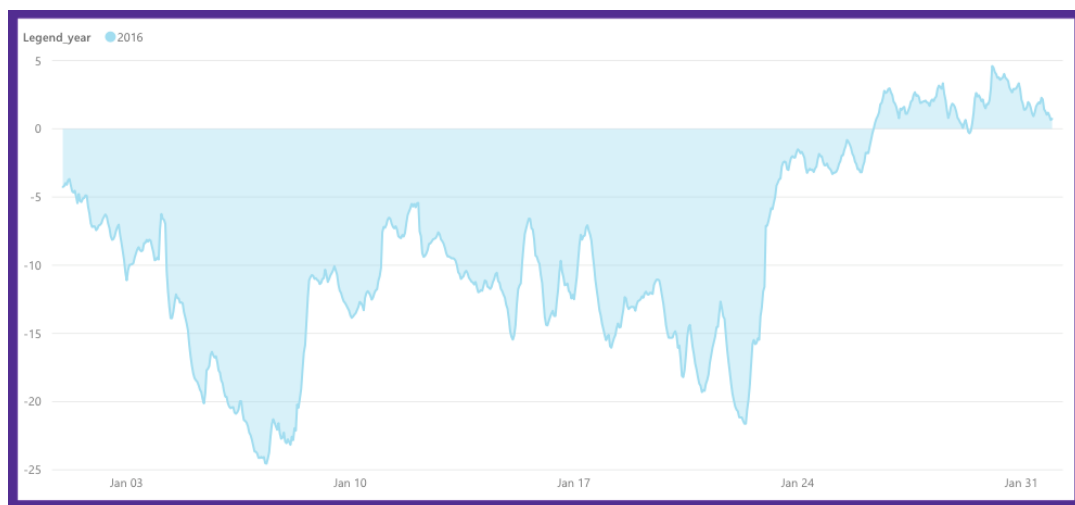
- Kiinteistön olosuhteiden taso valitulla aikajaksolla niiden vertailujaksojen osalta, joilta mittausdataa on saatavilla

Kaukolämmönkulutuksen ja tehontarpeen kustannusten arvioimiseksi tarvitaan energiayhtiön määrittelemät energianhinnat. Niiden perusteella voidaan arvioida säätötapojen vaikutuksia asiakkaan kustannuksiin. Paikallisen kaukolämpöyhtiö Helenin hinnastoesimerkkien mukaan vuoden 2016 energiamaksun keskihinta kerrostaloille, liikekiinteistöille ja kauppakeskuksille oli 40,36 euroa megawattitunnilta (e/MWh). Tätä käytettiin kaikkien vertailujaksojen energiamaksun laskemiseen, jotta ne saatiin keskenään vertailukelpoisiksi. Vesivirtamaksu puolestaan määräytyy sopimusvesivirran mukaan. Kun sopimusvesivirta on väliltä 2,0 – 10,0 kuutiota tunnissa (m³/h), on vesivirtamaksu 5000 – 16 000 euroa vuodessa. (Helen Oy 2018)

6.1 Säätötapa A

Ensimmäinen tutkittava säätötapa ajoittuu vuoden 2016 tammikuuhun. Kiinteistö oli ollut tuolloin käytössä noin 6 kuukauden ajan. Tällä vertailujaksolla kiinteistöä oli käytetty suunnitelmien mukaisella tavalla, automaation perusasetuksilla.

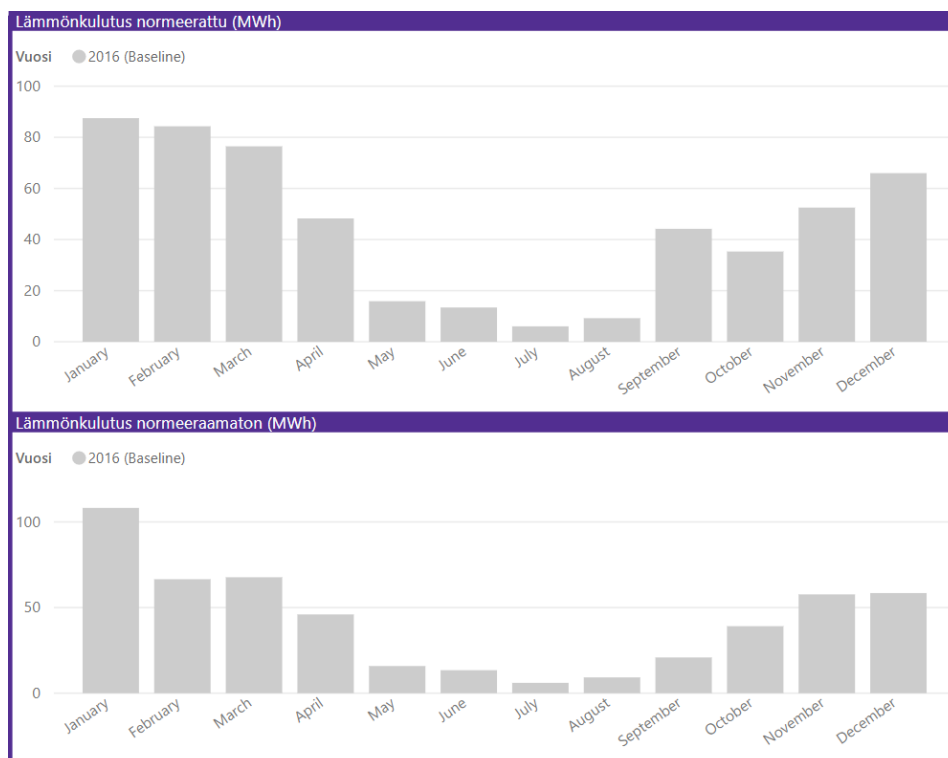
Vuoden 2016 tammikuun lämmitystarveluku oli 800, kun vertailukauden 1981-2010 vastaava luku on 647. Vertailujaksolla oli 19 päivää, jolloin ulkolämpötila oli alle -10,0 astetta (°C). Tuon kuukauden aikana pakkajakso, eli aika jolloin ulkolämpötila oli alle 0,0 astetta (°C), kesti pisimmillään 26 päivää. Nämä nähdään alla olevasta kuvasta 14.



Kuva 14: Säätötavan A tarkastelujakson ulkolämpötila-analyysi.

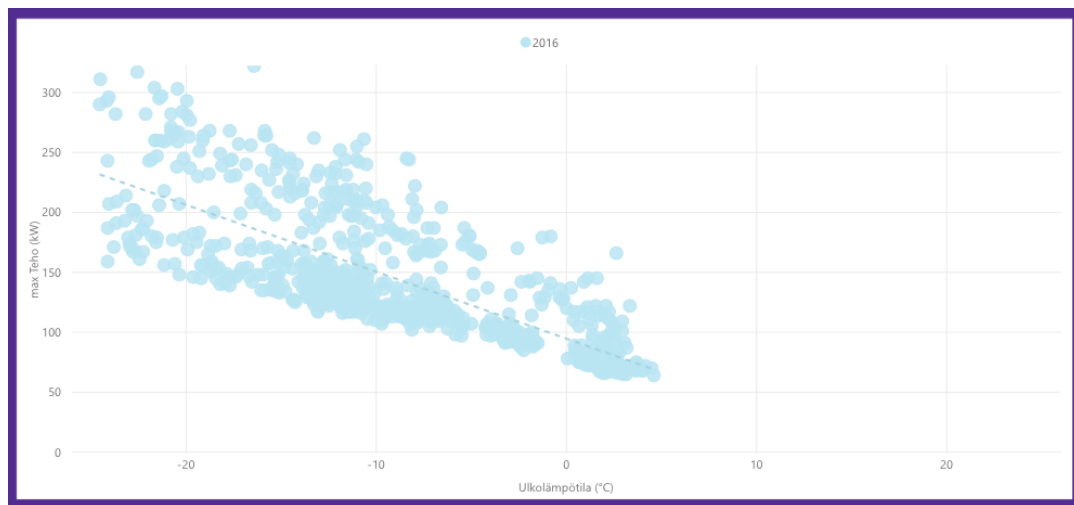
Lämmitystarvelukujen vertailun ja pakkaspäivien lukumäärän perusteella voidaan päätellä, että säätötavan A tarkastelujakson mitattu kulutus oli huomattavasti korkeampaa, kuin kiinteistön tavallinen talvikuukausien kulutus. Tästä syystä tarkastelussa käytettiin myös normeerattua kaukolämmön kulutusta. Säätötavan A tarkastelujakson, eli vuoden 2016 tammikuun normeerattu lämmönkulutus oli 87,5 megawattituntia (MWh). Kohdekiinteistön vuoden 2016 kulutus oli 539,0 megawattituntia (MWh). Kun kiinteistön tilavuus on 21 976 kuutiota (m³), saatiin kohdekiinteistön vuoden 2016 ominaiskulutukseksi noin 24,5 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/m³a).

Asiakas maksaa energialaskunsa absoluuttisen eli mitatun kulutuksen perusteella. Säätötavan A tarkastelujakson, eli vuoden 2016 tammikuun mitattu kulutus oli 108,0 megawattituntia (MWh). Energiamaksu saadaan laskettua käyttämällä vuoden 2016 energiamaksun keskihintaa, joka oli 40,36 euroa megawattitunnilta (e/MWh) (Helen Oy 2018). Tämän vertailujakson energiamaksu oli näin ollen 4 400 euroa kuukaudessa (e/kk). Vuoden 2016 mitattu energiankulutus oli 509,0 megawattituntia (MWh), joka tarkoittaa energiamaksuna noin 20 500 euroa vuodessa (e/a). Mitattuja ja normeerattuja kulutuksia vuodelta 2016 on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 15.



Kuva 15: Kohdekiinteistön vuoden 2016 normeeraamaton ja normeerattu kaukolämmön kulutus.

Kuvassa 16 on esitetty kaukolämmön mitattu tunnittainen teho kilowateissa (kW) ulkolämpötilan ($^{\circ}\text{C}$) funktiona. Sääötavan A tarkastelujaksolla suurin mitattu kaukolämmön huipputeho oli 322,0 kilowattia (kW), joka on 14,0 kilowattia (kW) ja 4 prosenttia (%) vähemmän, kuin kohdekiinteistön kaukolämmön sopimusteho. Tällä ajanhetkellä ulkolämpötila oli $-16,4$ astetta ($^{\circ}\text{C}$). Kaukolämmön tehon mittaustiedot osuvat harvoin mitoitusulkolämpötilaa vastaavaan ajanhetkeen, etenkin kohdekiinteistön säävyöhykkeellä eteläisessä Suomessa, missä mitoitusulkolämpötila on $-26,0$ astetta ($^{\circ}\text{C}$). Tästä johtuen kaukolämmön mitattuun tehodataan sovellettiin myös regressiolaskentamenetelmää.

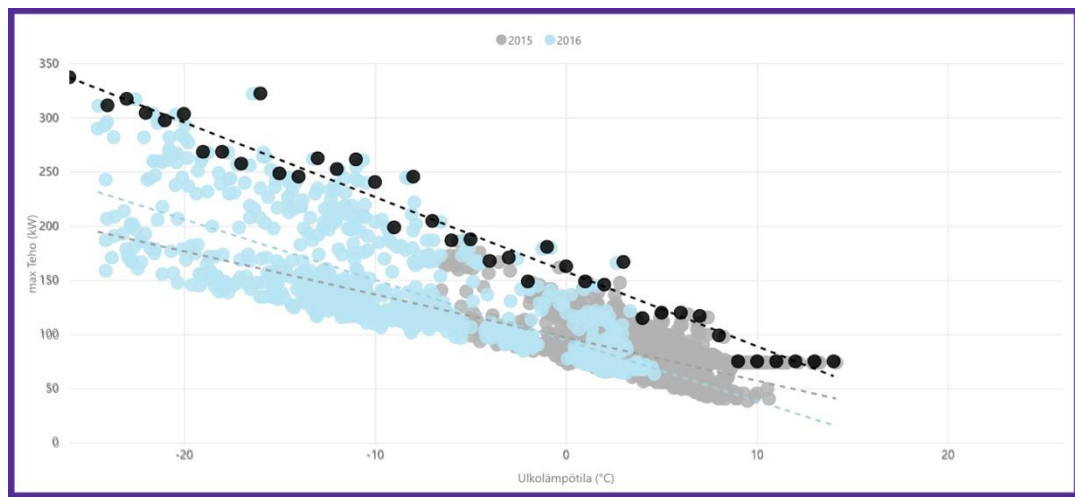


Kuva 16: Kohdekiinteistön kaukolämmön mitattu tunnittainen teho kilowateissa (kW) suhteessa ulkolämpötilaan ($^{\circ}\text{C}$), sääötavan A tarkastelujaksolla.

Kuvassa 17 on esitetty pistejoukon suurimpiin arvoihin sovitettu regressiosuora, jonka avulla saatiin laskettua mitoitusulkolämpötilassa tarvittava lämmitysteho sääötavan A tapauksessa. Sääötavan A kuukauden tarkastelujakso olisi ollut liian lyhyt aika tehontarpeen määrittämiseen, sillä laskentajakson tulisi olla minimissään pakkasjakson pituinen. Tästä syystä sääötavan A regressiolaskentamenetelmässä hyödynnettiin mittausdataa vuoden 2015 marraskuusta vuoden 2016 tammikuuhun ulottuvalta ajalta. Lämpötilat olivat alkuperäisessä lähteessä kahden desimaalin tarkkuudella. Regressiolaskentamenetelmää varten lämpötilat pyöristettiin kokonaisluvuiksi, jotta datajoukon kokoa, yhtä lämpötilayksikköä kohden, saatiin kasvatettua. Tämän jälkeen datajoukosta valittiin jokaista lämpötilan arvoa vastaava suurin tehon arvo. Näin regressiokäyrä asettui pistejoukon ylälaitaan laskentaohjeen mukaisesti.

Regressiokäyrästä saatiin suoran yhtälö, jonka avulla voitiin laskea tehon arvo mitoitusulkolämpötilassa.

Tältä vertailujaksolta regressiokäyrän mitoitusulkolämpötilaan lasketuksi arvoksi, eli laskennalliseksi tehontarpeeksi saatiin 337,0 kilowattia (kW), joka on 1,0 kilowattia (kW) ja 0,3 prosenttia (%) suurempi, kuin kohdekiinteistön kaukolämmön sopimusteho. Kaukolämmön sopimustehoa vastaava sopimusvesivirta on kohdekiinteistön tapauksessa 3,6 kuutiota tunnissa (m^3/h). Regressiolaskentamenetelmällä saatua tehoa vastaava vesivirta saatiin laskemalla 0,3 prosentin korotus sopimusvesivirtaan. Laskennalliseksi sopimusvesivirraksi saatiin 3,6 kuutiota tunnissa (m^3/h), joka on sama, kuin sopimusvesivirta. Tätä vesivirtaa vastaava tehomaksu on noin 8 780 euroa vuodelta (e/v) (Helen Oy 2018).



Kuva 17: Kohdekiinteistön kaukolämmön tehontarpeen määrittely regressiolaskentamenetelmän avulla, perustuen marraskuun 2015 ja tammikuun 2016 väliseen mittausdataan.

Kaukolämmön tehontarpeen tasaisuutta voidaan vertailla tarkastelemalla mitattua tunnittaista tehoa aikajanalla. Kuvassa 18 kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) on esitetty aikajanalla, säätötavan A vertailujaksolla. Kiinteistön tehontarpeesta voidaan erottaa arkipäivien peruskuorma ja tehopiikit, sekä viikonloppujen peruskuorma ja tehontarpeen vaihtelut. Viitenä peräkkäisenä päivänä tehontarve kasvoi päivän aikana siten, että kuvaajassa on havaittavissa piikki. Tämän jälkeen kahtena peräkkäisenä päivänä tehontarve oli huippupiikkien ja myös peruskuorman osalta pienempää. Kiinteistön peruskuormaa on kuvaajan alaosan tasaisesti värjätty osa. Peruskuormalla tarkoitetaan kiinteistön käyttöajan ulkopuolista

lämmitystarvetta, jolloin esimerkiksi ilmanvaihto ei ole päällä, eikä näin ollen kuluta lämmitystehoa. Kohdekiinteistössä myös käyttöveden tarve pienenee huomattavasti viikonloppuina, sillä lounasravintola ei ole tällöin auki.

Tämän vertailun kannalta merkittävintä on kuitenkin tehohuippujen suuruus ja niiden vaihtelu. Vuoden 2016 tammikuun suurin tehopiikki oli 322,0 kilowattia (kW) ja pienin tehopiikki oli 122,0 kilowattia (kW). Tehopiikkien suurimman ja pienimmän arvon ero oli säätötavan A tapauksessa 200,0 kilowattia (kW).



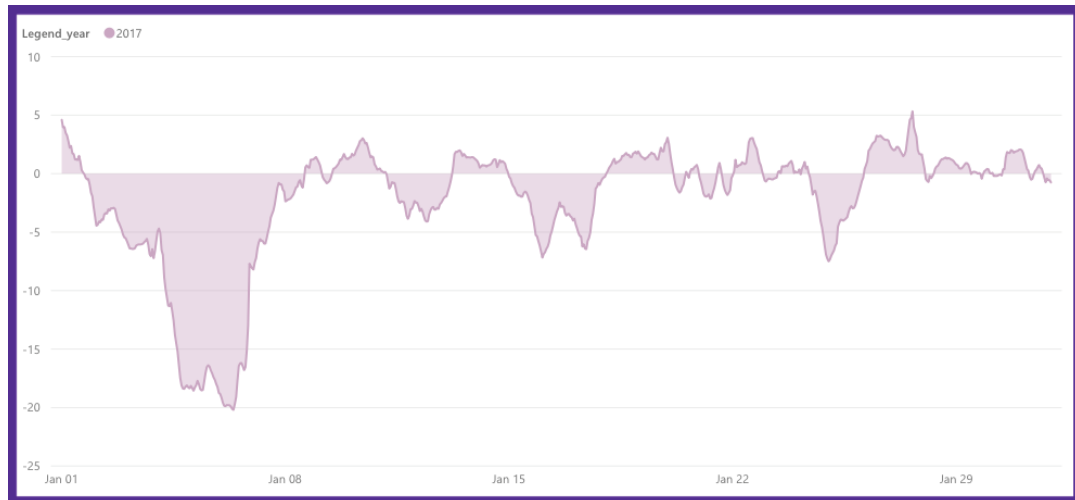
Kuva 18: Kohdekiinteistön kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) esitettynä aikajanalla, säätötavan A tarkastelujaksolla.

6.2 Säätötapa B

Toinen tutkittavista säätötavoista ajoittuu vuoden 2017 tammikuuhun. Tällä vertailujaksolla kiinteistön lämmitysprosessin toimintaa optimoitiin perinteisillä energiatehokkuutta parantavilla käytätapamuutoksilla. Näitä muutoksia olivat esimerkiksi lämmityspaneeliverkoston menoveden, tuloilman ja huoneasetusten lämpötilojen asetusarvojen optimointi, sekä ilmanvaihdon tarpeenmukaistaminen.

Tämä tarkastelujakso oli lämpimämpi, kuin säätötavan A tarkastelujakso. Vuoden 2017 tammikuun lämmitystarveluku oli 586, kun vertailukauden 1981-2010 vastaava luku on 647. Vertailujaksolla oli ainoastaan 3 päivää, jolloin ulkolämpötila oli alle -10,0 astetta (°C). Tuon kuukauden aikana pakkajakso, eli aika jolloin ulkolämpötila oli alle 0,0 astetta

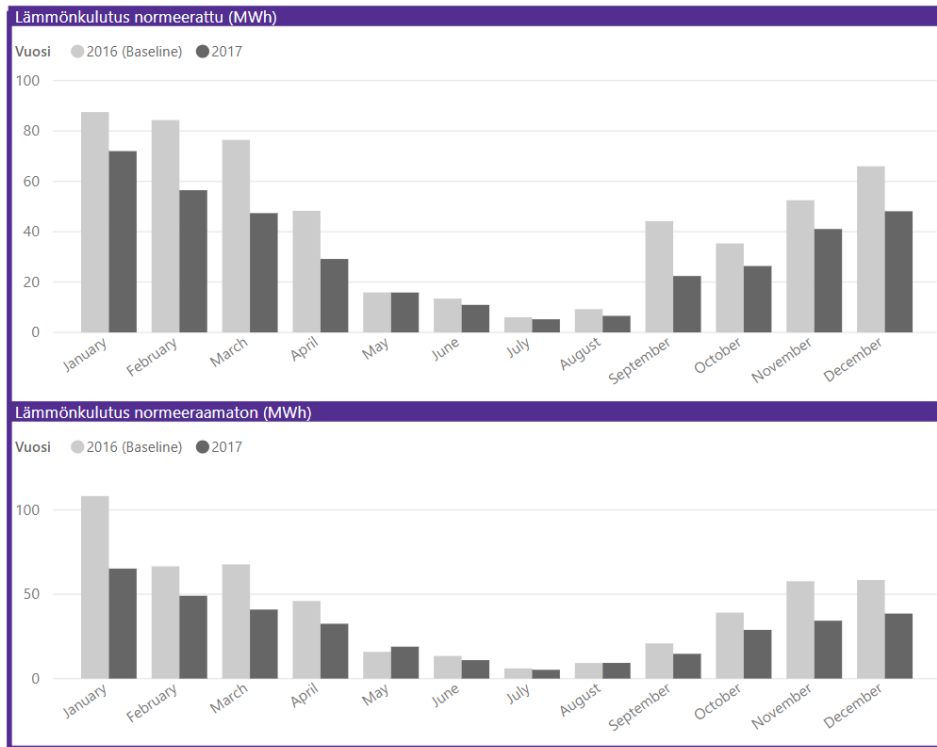
(°C), kesti pisimmillään vain 8 päivää. Nämä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 19.



Kuva 19: Säättöavan B tarkastelujakson ulkolämpötila-analyysi.

Lämmitystarvelukujen vertailun ja pakkaspäivien lukumäärän perusteella nähdään, että säättöavan B tarkastelujakso oli keskimääräistä tammikuuta lämpimämpi. Säättöapojen vertailukelpoisuuden varmistamiseksi tarkastelussa käytettiin myös normeerattua kaukolämmön kulutusta. Säättöavan B tarkastelujakson, eli vuoden 2017 tammikuun normeerattu kulutus oli 72,0 MWh, joka on 15,5 megawattituntia (MWh) ja noin 18,0 prosenttia (%) vähemmän, kuin säättöavan A tarkastelujaksolla. Kohdekiinteistön normeerattu lämmönkulutus vuonna 2017 oli 381,4 megawattituntia (MWh), joka on 157,6 megawattituntia (MWh) ja noin 29,0 prosenttia (%) vähemmän, kuin vuonna 2016. Kun kiinteistön tilavuus on 21 976 kuutiota (m³), saatiin kohdekiinteistön vuoden 2017 ominaiskulutukseksi noin 17,4 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/ m³a).

Säättöavan B tarkastelujakson, eli vuoden 2017 tammikuun mitattu kulutus oli 65,2 megawattituntia (MWh). Vuoden 2016 energiamaksun keskihinnan perusteella, säättöavan B tarkastelujakson energiamaksu oli 2 600 euroa kuukaudessa (e/kk). Vuoden 2017 mitattu kulutus oli 348,5 megawattituntia (MWh), joka on 160,5 megawattituntia (MWh) vähemmän, kuin vuonna 2016. Vuoden 2017 energiamaksu oli noin 14 100 euroa vuodessa (e/v), joka on 6 400 euroa vuodessa (e/v) vähemmän, kuin vuoden 2016 energiamaksu. Mitattuja ja normeerattuja kulutuksia vuodelta 2017 ja niiden vertailua vuoteen 2016 on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 20.



Kuva 20: Kohdekiinteistön vuoden 2017 normeeraamaton ja normeerattu kaukolämmön kulutus.

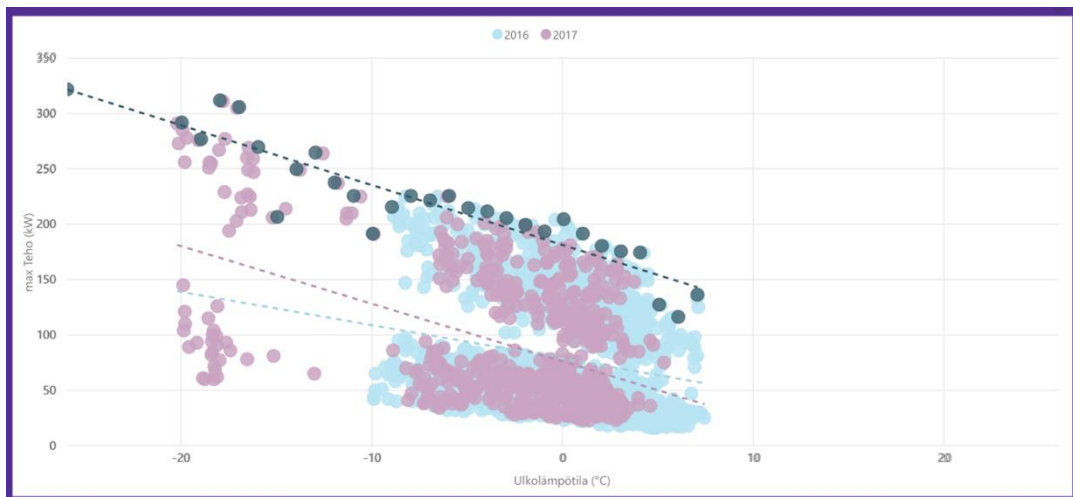
Kuvassa 21 on esitetty kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) ulkolämpötilan (°C) funktiona. Sääötävän B tarkastelujaksolla suurin mitattu kaukolämmön huipputeho oli 311,0 kilowattia (kW), joka on 25,0 kilowattia (kW) ja 7,0 prosenttia (%) vähemmän, kuin kohdekiinteistön kaukolämmön sopimusteho. Tällä ajanhetkellä ulkolämpötila oli -17,8 astetta (°C).



Kuva 21: Kohdekiinteistön kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) suhteessa ulkolämpötilaan (°C), sääötäpojen A ja B tarkastelujaksoilla.

Kaukolämmön tehon mittaustiedot eivät osu tälläkään vertailujaksolla mitoitussulkolämpötilaan eli $-26,0$ asteeseen ($^{\circ}\text{C}$). Kuvassa 22 on esitetty pistejoukon suurimpiin arvoihin sovitettu regressiosuora, jonka avulla saatiin laskettua mitoitussulkolämpötilassa tarvittava lämmitysteho säätötavan B tapauksessa. Tässä tapauksessa regressiolaskentamenetelmässä hyödynnettiin mittausdataa vuoden 2016 marraskuusta vuoden 2017 tammikuuhun ulottuvalta ajalta. Säätötavan B regressiolaskennassa käytettiin täsmälleen samoja menetelmiä, kuin säätötavan A tapauksessa.

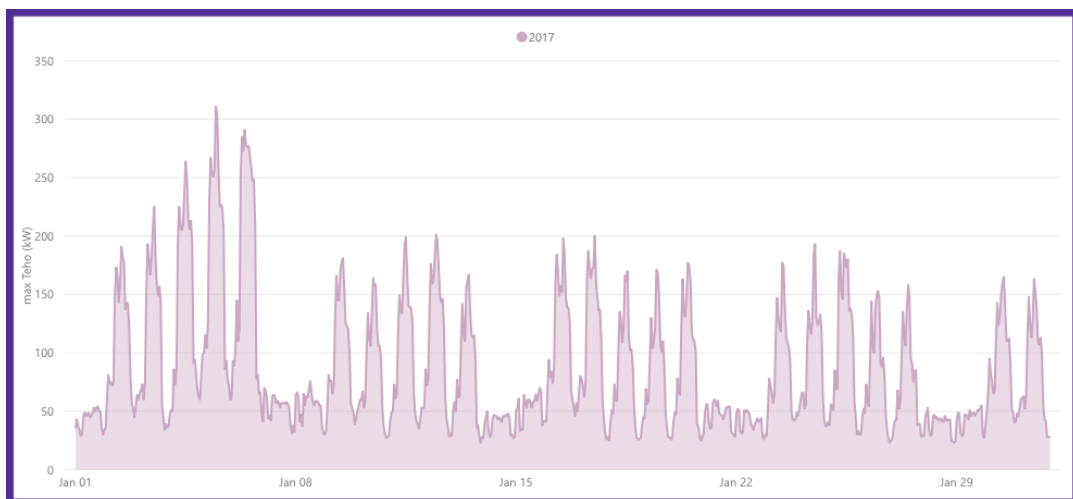
Tältä vertailujaksolta regressiokäyrän mitoitussulkolämpötilaan lasketuksi arvoksi, eli laskennalliseksi tehontarpeeksi saatiin $321,0$ kilowattia (kW), joka on $15,0$ kilowattia (kW) ja noin $4,5$ prosenttia (%) pienempi, kuin kohdekiinteistön kaukolämmön sopimusteho. Kohdekiinteistön kaukolämmön sopimustehoa ($336,0$ kilowattia (kW)) vastaava sopimusvesivirta on $3,6$ kuutiota tunnissa (m^3/h). Regressiolaskentamenetelmällä saatua tehoa vastaava vesivirta saatiin laskemalla kohdekiinteistön sopimustehoa $4,5$ prosenttia (%) pienempi arvo. Näin voidaan tehdä, sillä teho ja vesivirta ovat toistensa johdannaissuureita, kun kaukolämpöverkoston jäähtymä pysyy samana. Laskennalliseksi sopimusvesivirraksi saatiin $3,4$ kuutiota tunnissa (m^3/h). Tätä vesivirtaa vastaava tehomaksu on noin $8\,380$ euroa vuodelta (e/v) (Helen Oy 2018). Tämä on 400 euroa vuodessa (e/v) vähemmän, kuin säätötavan A tapauksessa.



Kuva 22: Kohdekiinteistön kaukolämmön tehontarpeen määrittely regressiolaskentamenetelmän avulla, perustuen marraskuun 2016 ja tammikuun 2017 väliseen mittausdataan.

Kuvassa 23 kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) on esitetty aikajanalla, säätötavan B vertailujaksolla. Kiinteistön tehontarpeesta voidaan erottaa tässäkin tapauksessa arkipäivien peruskuorma ja tehopiikit, sekä viikonloppujen peruskuorma ja tehontarpeen vaihtelut. Peruskuorma on ollut koko säätötavan B vertailujaksolla pienempää, kuin säätötavan A tapauksessa. Säätötavan B tehontarpeen pienin arvo oli 23,0 kilowattia, joka on 42,0 kilowattia (kW) vähemmän, kuin säätötavan A vastaava arvo.

Tämän vertailun kannalta merkittävintä on kuitenkin tehuippujen suuruus ja niiden vaihtelu vertailujaksolla. Vuoden 2017 tammikuun suurin tehopiikki oli 311,0 kilowattia (kW) ja pienin tehopiikki oli 153,0 kilowattia (kW). Tehopiikkien suurimman ja pienimmän arvon ero oli säätötavan B tapauksessa 158,0 kilowattia (kW). Tehopiikkien vaihtelu oli näin ollen 42,0 kilowattia (kW) pienempää, kuin säätötavan A tapauksessa.



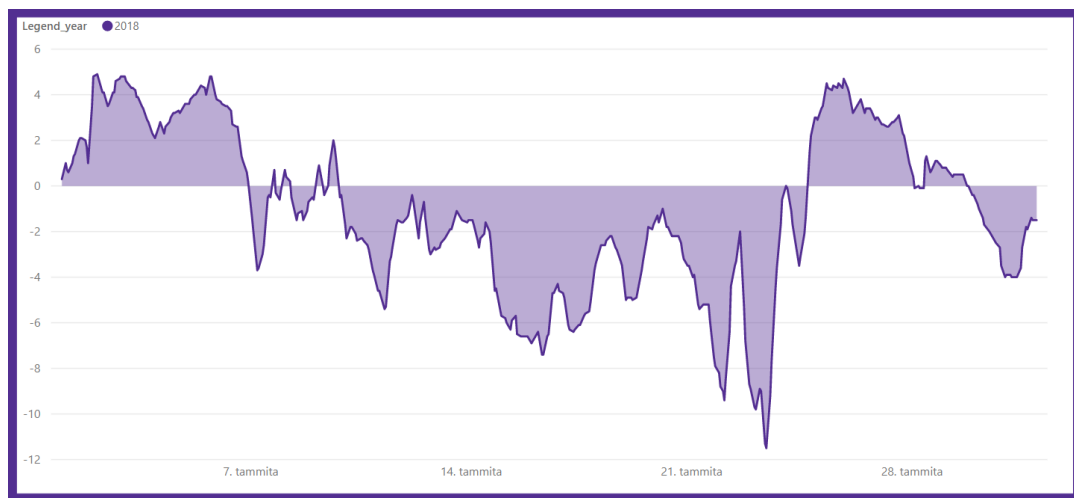
Kuva 23: Kohdekiinteistön kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) esitettynä aikajanalla, säätötavan B tarkastelujaksolla.

6.3 Säätötapa C

Kolmas tutkittavista säätötavoista ajoittuu vuoden 2018 tammikuuhun. Tällä vertailujaksolla kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmän ja lämmitysprosessin toimintaa lisäoptimoitiin pilvipalvelun kautta tehtävällä älykkäällä ohjauksella. Taustalla vaikutti siis jo säätötavan B perinteiset optimoinnit. Älykäs ohjaus perustui kiinteistön lämmitystarpeen ennakointiin ja hetkellisen lämmityksen huipputehontarpeen pienentämiseen. Ennakointi perustui muun muassa ilmatieteenlaitoksen säädäntään ja ohjattavia suureita olivat useat rakennusautomaatiojärjestelmän ohjausparametrit, kuten

lämmitysverkostojen, tuloilman ja huonetilojen lämpötila-asetukset. Näitä ohjausparametreja optimoitiin älykkään ohjauksen tekemän laskennan perusteella.

Tämä tarkastelujakso oli edelleen lämpimämpi, kuin säätötapojen A ja B tarkastelujaksot. Vuoden 2018 tammikuun lämmitystarveluku oli 563, kun vertailukauden 1981-2010 vastaava luku on 647. Vertailujaksolla oli ainoastaan 1 päivä, jolloin ulkolämpötila oli alle -10,0 astetta (°C). Tuon kuukauden aikana pakkajakso, eli aika jolloin ulkolämpötila oli alle 0,0 astetta (°C), kesti pisimmillään 16 päivää. Nämä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 24.

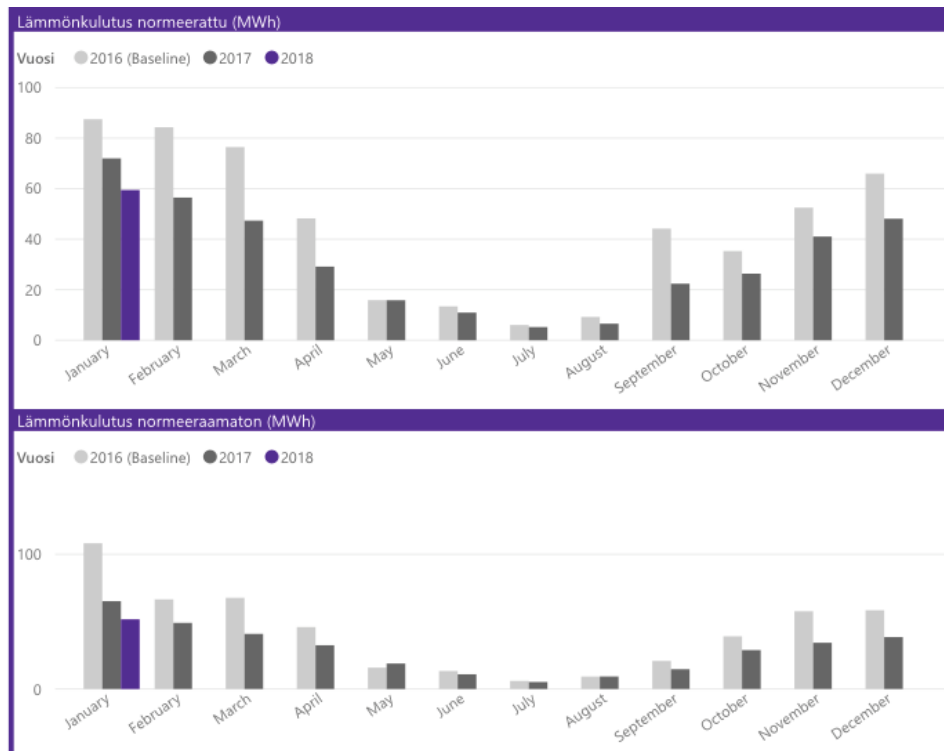


Kuva 24: Säätötavan C tarkastelujakson ulkolämpötila-analyysi.

Lämmitystarvelukujen vertailun ja pakkaspäivien lukumäärän perusteella nähdään, että säätötavan C tarkastelujakso on ollut keskimääräistä tammikuuta lämpimämpi. Säätötapojen vertailukelpoisuuden varmistamiseksi tarkastelussa käytettiin myös normeerattua kaukolämmön kulutusta. Säätötavan C tarkastelujakson, eli vuoden 2018 tammikuun normeerattu kulutus oli 59,5 megawattituntia (MWh). Tämä on noin 28,0 megawattituntia (MWh) ja 32,0 prosenttia (%) vähemmän, kuin säätötavan A tarkastelujaksolla. Tarkastelujaksoon B verrattuna pudotus on 12,5 megawattituntia (MWh) ja noin 17,4 prosenttia (%). Oletetaan, että normeerattu kulutus koko vuodelta 2018 putoaisi vuoteen 2017 verrattuna prosentuaalisesti saman verran, kuin vertailujakson normeerattu kulutus eli 17,4 prosenttia (%). Vuosittaisen kulutuksen voidaan olettaa putoavan vähintään yhtä paljon kuin säätötavan C vertailujakson kulutuksen. Esimerkiksi edeltäneellä vertailujaksolla (säätötapa B, vuonna 2017) vuotuinen kulutus putosi enemmän, kuin vertailujakson kulutus. Vuotuinen kulutus

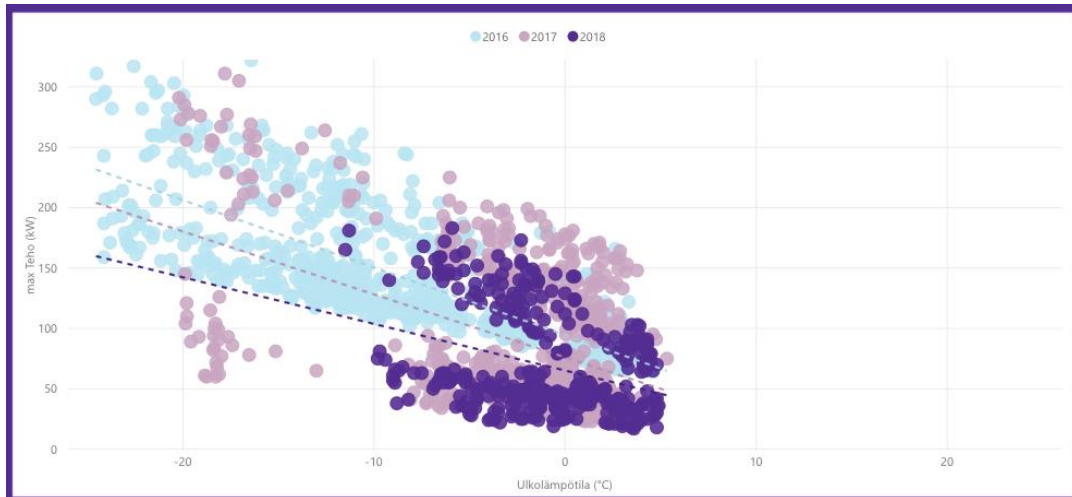
putosi 29,0 prosenttia (%), kun vertailujakson kulutus putosi 18,0 prosenttia (%). Tällöin vuoden 2018 normeerattu kulutus tulisi olemaan noin 315,1 megawattituntia (MWh). Kun kiinteistön tilavuus on 21 976 kuutiota (m³), tulisi kohdekiinteistön vuoden 2018 ominaiskulutukseksi noin 14,3 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/ m³a).

Säätötavan C tarkastelujakson, eli vuoden 2018 tammikuun mitattu kulutus oli 51,7 megawattituntia (MWh). Vuoden 2016 energiamaksun keskihinnan perusteella, säätötavan C tarkastelujakson energiamaksu oli 2 100 euroa kuukaudessa (e/kk). Säätötavan C tarkastelujakson mitattu kulutus oli 56,3 megawattituntia (MWh) vähemmän, kuin säätötavan A tarkastelujaksolla ja 13,5 megawattituntia (MWh) vähemmän, kuin säätötavan B tarkastelujaksolla. Oletetaan, että mitattu kulutus koko vuodelta 2018 putoaisi vuoteen 2017 verrattuna prosentuaalisesti saman verran, kuin tammikuun mitattu kulutus eli 20,7 prosenttia (%). Tällöin vuoden 2018 mitattu kulutus tulisi olemaan noin 276,4 megawattituntia (MWh). Energimaksuna tämä olisi 11 200 euroa vuodessa (e/v), joka on 2 900 euroa vuodessa (e/v) vähemmän, kuin säätötavan B tapauksessa. Mitattuja ja normeerattuja kulutuksia vuodelta 2018 ja niiden vertailua vuosiin 2016 ja 2017 on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 25.



Kuva 25: Kohdekiinteistön vuoden 2018 normeeraamaton ja normeerattu kaukolämmön kulutus.

Kuvassa 26 on esitetty kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) ulkolämpötilan (°C) funktiona. Sääötavan C tarkastelujaksolla suurin mitattu kaukolämmön huipputeho oli 183,0 kilowattia (kW), joka on 153,0 kilowattia (kW) ja noin 45,5 prosenttia (%) vähemmän, kuin kohdekiinteistön sopimusteho. Tällä ajanhetkellä ulkolämpötila oli -5,9 astetta (°C).

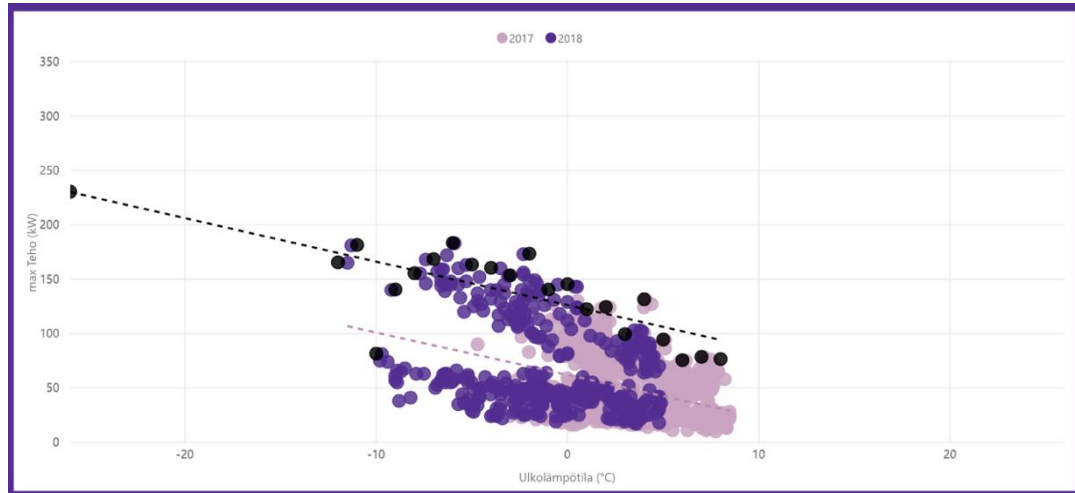


Kuva 26: Kohdekiinteistön kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) suhteessa ulkolämpötilaan (°C), sääötapojen A, B ja C tarkastelujaksolla.

Kaukolämmön tehon mittaustiedot eivät osu tälläkään vertailujaksolla mitoitusulkolämpötilaan eli -26,0 asteeseen (°C). Tästä syystä ja myös sääötapojen vertailukelpoisuuden varmistamiseksi tähänkin tehon mittaustietoon sovellettiin regressiolaskentamenetelmää. Kuvassa 27 on esitetty pistejoukon suurimpiin arvoihin sovitettu regressiosuora, jonka avulla saatiin laskettua mitoitusulkolämpötilassa tarvittava lämmitysteho sääötavan C tapauksessa. Tässä tapauksessa regressiolaskentamenetelmässä hyödynnettiin mittausdataa vuoden 2017 marraskuusta vuoden 2018 tammikuuhun ulottuvalta ajalta. Sääötavan C regressiolaskennassa käytettiin täsmälleen samoja menetelmiä, kuin sääötapojen A ja B tapauksissa.

Tällä vertailujaksolla regressiokäyrän mitoitusulkolämpötilaan lasketuksi arvoksi, eli laskennalliseksi tehontarpeeksi saatiin 230,0 kilowattia (kW), joka on 106,0 kilowattia (kW) ja noin 31,5 prosenttia (%) pienempi, kuin kohdekiinteistön kaukolämmön sopimusteho. Kohdekiinteistön kaukolämmön sopimustehoa (336,0 kilowattia (kW)) vastaava sopimusvesivirta on 3,6 kuutiota tunnissa (m^3/h). Regressiolaskentamenetelmällä saatua tehoa vastaava vesivirta saatiin laskemalla kohdekiinteistön sopimustehoa 31,5 prosenttia (%) pienempi arvo. Laskennalliseksi

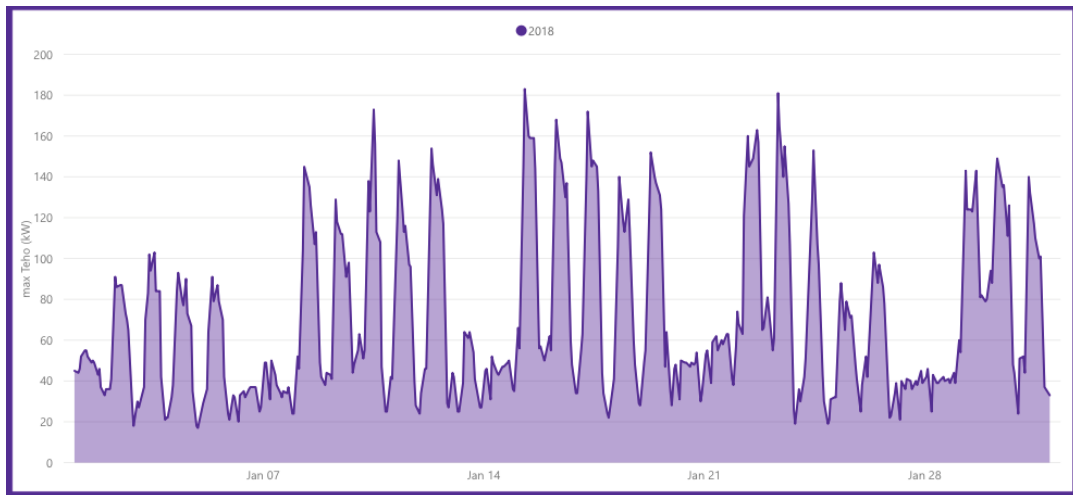
sopimusvesivirraksi saatiin noin 2,5 kuutiota tunnissa (m^3/h). Tätä vesivirtaa vastaava tehomaksu on noin 6 550 euroa vuodessa (e/v) (Helen Oy 2018). Tämä on 2 230 euroa vuodessa (e/v) vähemmän, kuin säätötavan A tapauksessa ja 1 830 euroa vähemmän, kuin säätötavan B tapauksessa.



Kuva 27: Kohdekiinteistön kaukolämmön tehontarpeen määrittely regressiolaskentamenetelmän avulla, perustuen marraskuun 2016 ja tammikuun 2017 väliseen mittausdataan.

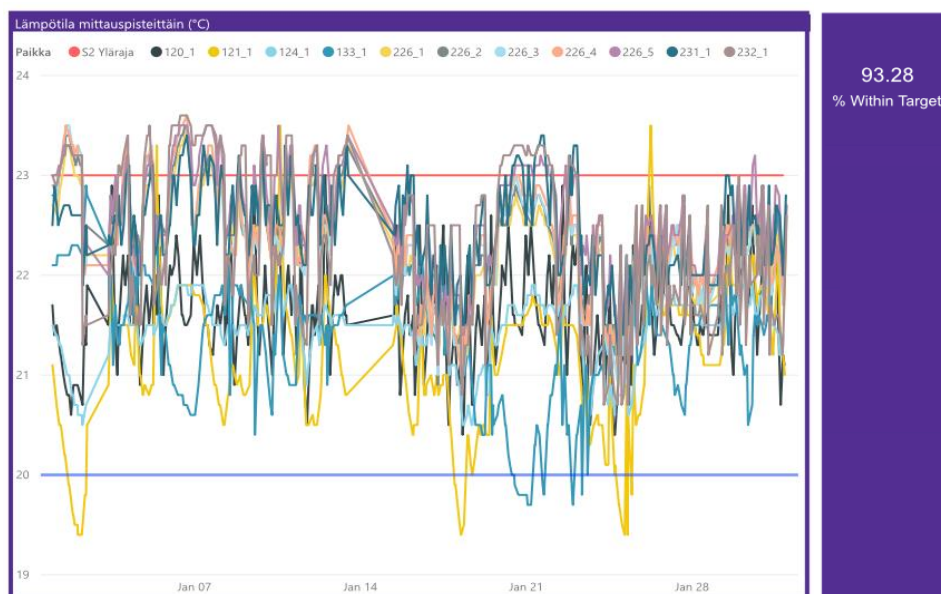
Kuvassa 28 kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) on esitetty aikajanalla, säätötavan C vertailujaksolla. Kiinteistön tehontarpeesta voidaan erottaa tässäkin tapauksessa arkipäivien tehopiikit, sekä viikonloppujen peruskuorma ja tehontarpeen maltilliset vaihtelut. Peruskuorman suuruudessa ei ole tässä säätötavan C tapauksessa erotettavissa suuria vaihteluita arkipäivien ja viikonloppujen välillä. Peruskuorma on ollut tasaisesti alhaisempaa, kuin säätötapojen A ja B tapauksessa. Peruskuorman pienin arvo oli 17 kilowattia (kW), joka on 48 kilowattia (kW) vähemmän, kuin säätötavan A tapauksessa ja 6 kilowattia (kW) vähemmän, kuin säätötavan B tapauksessa.

Tämän vertailun kannalta merkittävintä on kuitenkin tehohippujen suuruus ja niiden vaihtelu vertailujaksolla. Vuoden 2018 tammikuun suurin tehopiikki oli 183,0 kilowattia (kW) ja pienin tehopiikki oli 88,0 kilowattia (kW). Tehopiikkien suurimman ja pienimmän arvon ero oli siis säätötavan C tapauksessa 95,0 kilowattia (kW). Tehopiikkien vaihtelu oli näin ollen 105 kilowattia (kW) pienempää, kuin säätötavan A tapauksessa ja 63 kilowattia (kW) pienempää, kuin säätötavan B tapauksessa.



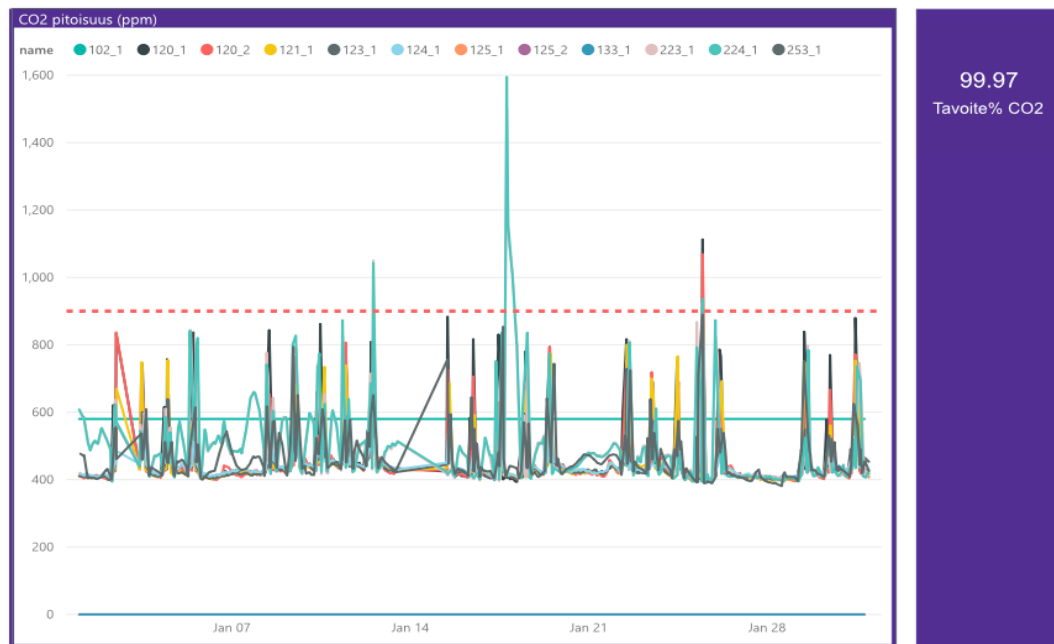
Kuva 28: Kohdekiinteistön kaukolämmön mitattu tunnitainen teho kilowateissa (kW) esitettynä aikajanalla, säätötavan C tarkastelujaksolla.

Säätötavan C seurantajaksolta seurattiin myös olosuhteita (kuva 29). Vuosilta 2016 ja 2017 tätä dataa ei ole saatavilla. Rakennusautomaatiojärjestelmässä oli 190 kappaletta lämpötilan mittauspisteitä, joita täydennettiin langattomilla mittauspisteillä. Tavoitteena oli seurata, että hyvä sisäilmasto toteutuu. Sisäilmastoluokituksen mukaan huonelämpötilojen tulisi pysyä lämmityskaudella 20,5 – 22,5 asteen (°C) välillä 90 prosenttia (%) käyttöajasta. Operatiivisten olosuhteiden seuranta on kuitenkin käytännössä haastavaa, jonka vuoksi tarkastelu on tehty enimmäis- ja vähimmäisarvoihin, 20,0 – 23,0 asteeseen (°C). (Sisäilmayhdistys ry 2008) Säätötavan C vertailujaksolla huonelämpötilat olivat enimmäis- ja vähimmäisarvoissa 93,3 prosenttia (%) käyttöajasta.



Kuva 29: Säätötavan C tarkastelujakson olosuhdeseuranta huonelämpötiloista.

Rakennusautomaatiojärjestelmästä seurattiin lämpötilan lisäksi 29 kappaletta hiilidioksidin mittapisteitä, joita vielä täydennettiin langattomilla hiilidioksidin mittauspisteillä. Hiilidioksidin raja-arvoksi sisäilmastoluokituksessa on määritelty 900 tilavuuden miljoonasosaa (ppm) (engl. parts per million). Tavoitteena oli, että hiilidioksidipitoisuuden tulisi pysyä tämän raja-arvon alapuolella 90 prosenttia (%) käyttäjasta. (Sisäilmastoyhdistys ry 2008) Säättötavan C vertailujaksolla hiilidioksidipitoisuus oli tässä tavoitteessa 99,97 prosenttia (%) käyttäjasta. Tämä on nähtävissä kuvasta 30.



Kuva 30: Säättötavan C tarkastelujakson olosuhdeseuranta kohdekiinteistön hiilidioksidipitoisuuksista.

7 TULOKSET JA LISÄARVON TOTEUTUMINEN

Tarkastelujen tuloksena pyrittiin saamaan vastaus kolmanteen tutkimuskysymykseen, eli siihen, mitkä tutkituista säätötavoista ovat optimaalisimpia ja tuottavat eniten lisäarvoa. Säätötapojen A, B ja C ohjausmenetelmien vaikutuksia tutkittiin yllä olevissa alaluvuissa valittujen suureiden perusteella. Seuraavaksi lasketut parametrit kaikista kolmesta säätötavasta tiivistettiin taulukon muotoon (kuva 31). Tämän avulla säätötapojen välisiä eroja päästiin analysoimaan ja vertailemaan. Lopputuloksena saatiin vastaukset kysymyksiin tuotetusta lisäarvosta ja voitiin tehdä päätelmiä siitä, mikä säätötapojen yhdistelmä vaikuttaisi olevan paras muodostuvan lisäarvon kannalta.

	Säätötapa A	Säätötapa B	Säätötapa C
Vertailujakson lämmitystarveluku	800,0	586,0	563,0
Vertailujakson pakkasjakson pituus (päivää)	26	8	16
Vertailujakson normeerattu lämmönkulutus (MWh/kk)	87,5	72,0	59,5
Vuoden normaarattu lämmönkulutus (MWh/v)	539,0	381,4	315,1 *
Vuoden ominaiskulutus (kWh/m3a)	24,5	17,4	14,3 *
Vertailujakson mitattu kulutus (MWh)	108,0	65,2	51,7
Vertailujakson energiakustannus (e/kk)	4 400	2 600	2 100
Vuoden mitattu kulutus (MWh)	509,0	348,5	276,3 *
Vuoden energiakustannus (e/v)	20 500	14 100	11 200 *
Suurin tunnittainen huipputeho (kW)	322,0	311,0	183,0
Suurinta tunnittaista huipputehoa vastaava ulkolämpötila (astetta)	-16,4	-17,8	-5,9
Laskennallinen tehontarve (kW) (regressiolaskenta)	337,0	321,0	230,0
Laskennallista tehontarvetta vastaava sopimusvesivirta (m3/h)	3,6	3,4 *	2,5 *
Vastaava tehomaksu (e/v)	8 780	8 380	6 550
Tehopiikkien suurimman ja pienimmän arvon ero (kW)	200,0	158,0	95,0
Olosuhteet tavoitteessa yli 90 % käyttäjästä	-	-	Kyllä

*laskennallinen arvo

Kuva 31: Säätötapojen A, B ja C vertailu valittujen suureiden perusteella.

Lämmitystarveluvut ja vertailujaksojen pakkasjaksojen pituudet kertoivat, että säätötapojen vertailujaksot, vuosien 2016-2018 tammikuut eivät olleet keskenään täysin vertailukelpoisia mitatun energiankulutuksen ja tehon arvioinnin kannalta. Tästä syystä säätötapojen vaikutuksia päätettiin arvioida myös normeerattujen kulutusten kautta, sekä ulkolämpötilaan sovitettuna tehontarpeen funktiona. Seuraavassa kuvassa 32 on esitetty taulukoituna kohdekiinteistön normeeratut lämmönkulutukset eri säätötapojen osalta ja niiden väliset vertailut. Tuloksista nähdään, että säätötavalla B lämmitysenergian normeerattua kulutusta on onnistuttu pudottamaan vertailujakson aikana noin 18,0 prosenttia (%), jonka lisäksi säätötavalla C normeeratusta lämmönkulutuksesta on onnistuttu vielä pudottamaan noin 17,4 prosenttia (%). Säätötavan C vuositason

normeerattu lämmönkulutus arvioitiin siten, että koko vuoden lämmönkulutuksen arvioitiin putoavan yhtä paljon, kuin vertailujakson normeeratun kulutuksen. Tämä on suuntaa antava arvio vuoden 2018 lämmönkulutuksesta. Kesäkuukausien hyödyt voivat jäädä pienemmiksi, joka laskee keskimääräistä säästöä.

	Säätötapa A	Säätötapa B	Säätötapa C
Vertailujakson normeerattu lämmönkulutus (MWh/kk)	87,5	72,0	59,5
	Vertailu säätötapaan A		Vertailu säätötapaan B
	- 15,5 MWh		- 12,5 MWh
	-18,0 %		-17,4 %
Vuoden normaaratut lämmönkulutus (MWh/v)	539,0	381,4	315,1 *
	Vertailu säätötapaan A		Vertailu säätötapaan B
	- 157,6 MWh		- 66,3 MWh
	-29,0 %		-17,4 %

Kuva 32: Vertailujaksojen ja vuosien normeeratut lämmönkulutukset (MWh/kk ja MWh/v) eri säätötapojen osalta, sekä vertailu eri säätötapojen välillä.

Kun säätötavan C vuositasen normeerattu lämmönkulutus oli arvioitu, pystyttiin laskemaan myös kiinteistön ominaiskulutus kaikkien säätötapojen tapauksessa. Alla olevasta kuvasta 33 nähdään, että myös tässä tapauksessa tulokset paranevat mentäessä säätötavasta A, aina säätötapaan C asti. Motiva Oy on koostanut energiakatselmustietokannastaan rakennustyyppikohtaisia lämpöenergian ominaiskulutuksia, jotka on esitetty liitteen 1 kuvassa 39. Tämän taulukon perusteella tiedettiin, että yksityisen palvelusektorin rakennuksista pienimmän 25 prosentin (%), eli alakvartiilin ominaiskulutus on alle 25,1 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/m³a). Säätötavan A tapauksessa kohdekiinteistön ominaiskulutus on jo parempi, kuin tämä pienimmän 25 prosentin (%) arvo. Säätötavan B jälkeen kiinteistön ominaiskulutus oli 17,4 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/m³a), joka on jo pienimmän 5 prosentin (%) ja minimin välissä. Pienin ominaiskulutus on taulukon mukaan 9,5 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/m³a). Säätötavalla C arvioidaan päästävän arvoon 14,3 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/m³a). Kaikki kiinteistön ominaiskulutusten arvot, kaikilla eri säätötavoilla ovat erinomaisia.

	Säätötapa A	Säätötapa B	Säätötapa C
Vuoden normaaratut lämmönkulutus (MWh/v)	539,0	381,4	315,1 *
Vuoden ominaiskulutus (kWh/m ³ a)	24,5	17,4	14,3 *
	Vertailu säätötapaan A		Vertailu säätötapaan B
	- 157,6 MWh		- 66,3 MWh
	-29,0 %		-17,4 %

Kuva 33: Kohdekiinteistön ominaiskulutukset eri säätötavoilla.

Seuraavassa kuvassa 34 on taulukoituna mitattujen kulutusten suuruudet megawattitunteina (MWh) eri säätötavoilla ja niiden energiamaksujen arvioidut suuruudet. Säätötavan A vertailujakson mitattu kulutus oli 108,0 megawattituntia (MWh) ja vuositasolla 509,0 megawattituntia (MWh). Säätötavan B osalta vastaavat luvut olivat 65,2 megawattituntia (MWh) ja 348,5 megawattituntia (MWh). Mitattu kulutus putosi siis vuositasolla 160,5 megawattituntia (MWh) ja noin 31,5 prosenttia (%). Tämä tarkoittaa energiakustannuksena 6 400 euron vuosittaista säästöä. Säätötavan C tarkastelujaksolla voidaan havaita edelleen mitatun energiankulutuksen pienentymistä, mutta muutos ei ole yhtä suurta. Säätötavan C tarkastelujaksolla mitattu kulutus oli 51,7 megawattituntia (MWh). Vuoden 2018 laskennalliseksi kulutukseksi saatiin 276,3 megawattituntia (MWh), joka tarkoittaisi vielä säätötapaan B verrattuna 2 900 euron vuosittaista säästöä (e/v).

	Säätötapa A	Säätötapa B	Säätötapa C
Vertailujakson mitattu kulutus (MWh)	108,0	65,2	51,7
Vertailujakson energiakustannus (e/kk)	4 400	2 600	2 100
Vuoden mitattu kulutus (MWh)	509,0	348,5	276,3 *
Vuoden energiakustannus (e/v)	20 500	14 100	11 200 *

Vertailu säätötapaan A Vertailu säätötapaan B
- 6 400 (e/v) - 2 900 (e/v)

Kuva 34: Kohdekiinteistön mitatut lämpöenergiankulutukset, sekä niiden energiakustannukset.

Älykäs ohjaus, eli säätötapa C pudottaa merkittävästi kohdekiinteistön huipputehontarvetta. Suurin tunnittainen huipputeho säätötavan A vertailujaksolla oli 322,0 kilowattia (kW), jonka jälkeen säätötavalla B huipputeho putosi arvoon 311,0 kilowattia (kW). Säätötavalla B oli siis ainoastaan noin 3,4 prosentin (%) alentava vaikutus huipputehoon. Säätötapa C sen sijaan pudotti huipputehontarpeen arvoon 183,0 kilowattia (kW), joka on noin 44,7 prosenttia (%) alhaisempi, kuin säätötavan B vertailujaksolla. Nämä tulokset voidaan nähdä kuvasta 35.

	Säätötapa A	Säätötapa B	Säätötapa C
Suurin tunnittainen huipputeho (kW)	322,0	311,0	183,0
Suurinta tunnittaista huipputehoa vastaava ulkolämpötila (astetta)	-16,4	-17,8	-5,9

Vertailu säätötapaan A Vertailu säätötapaan B
- 11,0 kW - 139,0 kW
- 3,4 % - 44,7 %

Kuva 35: Eri säätötapojen vaikutukset kohdekiinteistön lämmön huipputehoon.

Tehomaksun tarkastelua varten säätötapojen vertailujaksojen mittausdataan sovellettiin regressiolaskentamenetelmää, jonka avulla saatiin laskettua Energiateollisuuden ohjeen (Energiateollisuus ry 2014b) mukaiset kohdekiinteistön laskennalliset tehontarpeet mitoitusulkolämpötilassa. Tässäkin vertailussa nähtiin, että säätötapa C pudotti laskennallista tehontarvetta suhteessa sopimustehoon eniten. Säätötavan A laskennalliseksi tehontarpeeksi saatiin 337,0 kilowattia (kW), jota vastaava tehomaksu oli 8 780 euroa vuodessa (e/v). Säätötavan B laskennalliseksi tehontarpeeksi saatiin 321,0 kilowattia (kW), jota vastaava tehomaksu oli 8 380 euroa vuodessa. Säätötavalla B näyttäisi siis olevan vaikutusta tehomaksuun noin 400 euroa vuodessa (e/v). Säätötavan C tapauksessa laskennallinen tehontarve putosi enemmän, 230,0 kilowattiin (kW), joka tarkoitti tehomaksuna 6 550 euroa vuodessa. Tällä säästettäisiin siis vielä säätötapaan B verrattuna 1 830 euroa vuodessa (e/v). Nämä tulokset on esitetty kuvassa 36.

	Säätötapa A	Säätötapa B	Säätötapa C
Laskennallinen tehontarve (kW) (regressiolaskenta)	337,0	321,0	230,0
Laskennallista tehontarvetta vastaava sopimusvesivirta (m ³ /h)	3,6	3,4 *	2,5 *
Vastaava tehomaksu (e/v)	8 780	8 380	6 550
		Vertailu säätötapaan A	Vertailu säätötapaan B
		- 400 (e/v)	- 1 830 (e/v)

Kuva 36: Kohdekiinteistön regressiolaskennan tulokset eri säätötavoille ja vastaavat tehomaksujen arviot.

Eri säätötapojen vertailujaksoilla tapahtui myös kehitystä lämmitystehontarpeen profiilissa. Säätötavasta A aina säätötapaan C mentäessä kulutusprofiilin huippujen suuruus pieneni ja suurimman ja pienimmän tehopiikin välinen ero pieneni (Kuva 37). Koska säätötavalla C vaikuttaisi olevan merkittävin vaikutus tutkittuihin tehontarpeisiin, haluttiin samalla varmistua, ettei tällä ole negatiivista vaikutusta kiinteistön sisäolosuhteisiin. Ne pysyivät säätötavan C vertailujaksolla tavoitelukemissa yli 90 % käyttäjistä niin huonelämpötilan, kuin myös hiilidioksidipitoisuuden osalta.

	Säätötapa A	Säätötapa B	Säätötapa C
Tehopiikkien suurimman ja pienimmän arvon ero (kW)	200,0	158,0	95,0

Kuva 37: Tehopiikkien suuruus ja kuormituksen vaihtelu.

Säätötapojen välisten erojen tuottamaa lisäarvoa halutaan vielä tarkastella yhteenvetona eri näkökulmista. Tässä diplomityössä tarkasteltaviksi näkökulmiksi on valittu seuraavaan kuvaan 38 taulukoidut kysymykset. Kuvassa on myös esitetty lyhyet vastaukset lisäarvon muodostumisesta. Asiakkaan näkökulmasta lisäarvoa syntyi eniten

säätötavan C tapauksessa. Energiakustannusten arvioitiin putoavan noin 11 500 euroa vuodessa (e/v). On kuitenkin huomattava, että osa säätötavan C energiakustannusten pienentymisestä on seurausta säätötavan B, eli perinteisten energiatehokkuusmenetelmien synnyttämistä hyödyistä. Olosuhteet säilyivät koko tarkastelujakson ajan tavoitellulla tasolla. Vertailujen perusteella voidaan sanoa, että kohdekiinteistö kuormittaa energiajärjestelmää vähiten säätötavalla C, joka yhdistää perinteiset ja älykkäät menetelmät. Huipputehojen vaihtelu pienentyi 105 kilowattia (kW) säätötavalla C, säätötapaan A verrattuna. Laskennallinen ominaiskulutus kehittyi paremmaksi, kuin parhaalla 5 prosentilla (%) vertailukiinteistöistä keskimäärin, arvoon 14,3 kilowattituntia tilavuusyksikköä kohden (kWh/m³a). Säätötavalla C kasvatettiin myös kohdekiinteistön teknologiavalmiutta. Kohdekiinteistön älykäs optimoiminen on muutosten myötä mahdollista myös tulevaisuuden energiajärjestelmässä. Säätötavan C myötä myös kiinteistökohtaiseen maalämpöjärjestelmään investoimisen potentiaali kasvoi. Säätötapa B pienensi kohdekiinteistön huipputehontarvetta noin 4,5 prosenttia (%), kun säätötavalla C huipputehontarve pieneni noin 31,5 prosenttia (%).

	A	Säätötapa B	Säätötapa C
Asiakkaan näkökulma			
Pienentyvätkö käyttökustannukset?		Kyllä, säätötapaan A verrattuna	Kyllä, säätötapaan A verrattuna
- Energiakustannus		6 400 e/v	9 300 e/v
- Tehomaksu		400 e/v	2 230 e/v
Säilyivätkö kiinteistön olosuhteet tavoitellulla tasolla?		-	Kyllä, yli 90 % käyttöajasta oltiin tavoitearvoissa
Kasvoiko kiinteistön kilpailukyky?		Kyllä, tehonvaihtelu pienentyivät 42 kilowatin (kW) verran	Kyllä, tehonvaihtelu pienentyivät 105 kilowatin (kW) verran. Lisäksi regressiolaskennan tuloksen mukaan kiinteistön huipputehontarve putosi arvoon 230 kilowattia (kW).
- Vähien kiinteistön aiheuttama kuormitus energiajärjestelmälle?			Kyllä, kiinteistön ominaiskulutus oli parempi, kuin parhaalla 5 prosentilla (%) vertailukiinteistöistä keskimäärin
- Paranoiko kiinteistön ominaiskulutus suhteessa muihin vastaaviin?		Kyllä, kiinteistön ominaiskulutus oli parempi, kuin parhaalla 5 prosentilla (%) vertailukiinteistöistä keskimäärin	Kyllä, kiinteistön ominaiskulutus oli parempi, kuin parhaalla 5 prosentilla (%) vertailukiinteistöistä keskimäärin
- Muita kilpailukykyä kasvattavia tekijöitä?			Kohdekiinteistön teknologiavalmius kasvoi suuresti ja pienillä kustannuksilla. Kiinteistöön voidaan nyt helposti jatkokehittää tarvittavia ohjaustapoja jalisäärvoa tuottavia palveluita
Kasvoiko kiinteistökohtaiseen maalämpöjärjestelmään investoinnin potentiaali?		Ei juurikaan, regressiolaskennan tuloksen mukaan kiinteistön todellinen huipputehontarve pieneni noin 5 prosenttia (%).	Kyllä, regressiolaskennan tuloksen mukaan kiinteistön todellinen huipputehontarve pieneni noin 32 prosenttia (%).
Yhteiskunnallinen näkökulma			
Parantuiko ympäristöystävällisyys?			
- Vähentyikö energiankäyttö		Kyllä, energiankäyttö vähentyi noin 31,5 prosenttia (%), verrattuna säätötapaan A	Kyllä, energiankäyttö vähentyi noin 45,7 prosenttia (%), verrattuna säätötapaan A.
- Tulivatko kiinteistökohtaiset energiantuotannon ratkaisut kannattavemmiksi?		Ei juurikaan, laskennallinen tehontarve putosi noin 5 prosenttia (%)	Kyllä, laskennallinen tehontarve putosi noin 32 prosenttia (%)
Kaukolämpöryityksen näkökulma			
Parantuiko kaukolämpöliiketoiminnan kannattavuus, eli tasaantuko tehontarve?		Kyllä, tehonvaihtelu pienentyivät 42 kilowatin (kW) verran, toki vaikutus yksittäisen kiinteistön osalta on pieni kaukolämmön tuotannon mittakaavasta	Kyllä, tehonvaihtelu pienentyivät 105 kilowatin (kW) verran, toki vaikutus yksittäisen kiinteistön osalta on pieni kaukolämmön tuotannon mittakaavasta

Kuva 38: Tuotetun lisäarvon arviointi eri näkökulmista.

Yhteiskunnallista ja energiayhtiön näkökulmaa tutkittiin energiankäytön ja tehontarpeen pienentymisen, sekä tehontarpeen tasaisuuden kautta. Yhteiskunnallisesti lisäarvoa syntyy eniten, jos energiankäyttöä ja tehontarvetta pystytään pienentämään. Myös tästä näkökulmasta perinteiset ja älykkäät menetelmät yhdistävä säätötapa C on optimaalisin. Tulosten analysoinnissa on tärkeää huomata, että säätötapa C ei yksinään pudottaisi energiankulutusta niin paljoa, kuin säätötapojen B ja C yhdistelmä. Energiayhtiön näkökulmasta säätötapa C tuotti eniten hyötyjä, sillä tehonvaihtelut pienentyivät vertailujakson aikana 105 kilowattia (kW). Energiayhtiön näkökulmasta yksittäisen kiinteistön tehontarpeen tasaantumisella on vielä pieni vaikutus. Kuitenkin, jos useat kiinteistöt toimisivat samalla tavalla, tällä olisi merkittävämpi vaikutus energijärjestelmän tasapainoon.

Säätötapojen vertailujen ja saatujen tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että kokonaisuuden kannalta paras menetelmä on hyödyntää perinteisiä energiatehokkuuden ja lämmitysprosessien optimoinnin keinoja, yhdessä digitaalisten keinojen kanssa. Säätötavan B perinteisillä keinoilla onnistuttiin vaikuttamaan eniten kiinteistön energiankulutukseen ja säätötavan C älykkäillä ohjauksilla vaikutettiin eniten huipputehon parametreihin. Paras säätötapa on näin ollen yhdistelmä, jossa kiinteistön prosessien toiminta optimoidaan rakennusautomaation perinteisillä menetelmillä, jonka jälkeen tehdään lisäoptimointeja digitaalisten teknologioiden mukanaan tuomilla älykkäillä keinoilla.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityön tavoitteena oli tutustua kirjallisuuden perusteella lämmitysprosesseihin ja niiden optimointiin, digitaalisten teknologioiden mukanaan tuomiin älykkäisiin optimoinnin keinoihin, sekä energiamarkkinan toimintaan. Toiveena oli saada selville, tuottavatko eri säätötavat LeaseGreen Suomi Oy:n asiantuntijoiden hypoteesin mukaisesti lisäarvoa asiakkaan ja yhteiskunnan näkökulmasta. Näkemyksenä oli, että erityisesti säätötapa C (älykäs optimointi) tulee tuottamaan uudenlaisia tuloksia kohdekiinteistön huipputehon optimoinnista.

Työn alussa esitettyjen tutkimuskysymysten vastaukset tullaan tiivistämään seuraavaksi, jonka avulla työn kokonaisuus ja saadut tulokset selkiytyvät. Tehdyn kirjallisuusselvityksen ja vertailujen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä asiantuntijoiden hypoteesien toteutumisesta, sekä antaa suosituksia siitä, miten tutkittuja säätötapoja ja digitaalisten teknologioiden mahdollistamia palveluita voitaisiin edelleen kehittää.

8.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Kirjallisuuskatsauksen perusteella opittiin, että kiinteistöjen energiankulutuksen optimointiin on monia tapoja, joita on hyödynnetty Suomessa jo useiden vuosien ajan monipuolisesti. Suurin osa energiatehokkuudella saaduista säästöistä tapahtuu teknologian mukanaan tuomien ratkaisujen ansiosta. Tällaisia keinoja ovat esimerkiksi talotekniikan päivittäminen energiatehokkaampaan, sekä lämmitysjärjestelmien ja ilmanvaihtojärjestelmien säädöt ja tarpeenmukaistukset. Työn ohessa opittiin kuitenkin myös, että lämmitysprosessien optimoinnissa on tärkeää vahva ymmärrys kohdekiinteistön prosesseista ja syy-seuraus suhteista. Kohdekiinteistöt voivat erota toisistaan paljon olemassa olevan talotekniikan säätöjen älykkyyden osalta. Lämmönjakotavat ja niiden taustalla olevat ohjelmat ja säädöt voivat vaikuttaa paljon siihen, miten juuri kyseessä olevan kiinteistön energiankulutusta tai huipputehoa voidaan pienentää. Teknologian ja järjestelmien uudistamiseen perustuvat energiatehokkuusratkaisut eivät yleisty nopeasti, sillä investoinnit voivat vaikuttaa suurilta suhteessa saavutettaviin hyötyihin.

Näiden lisäksi energiatehokkuutta voidaan kuitenkin parantaa myös energiaa säästävillä toimintatavoilla, mutta niiden käyttöönotto vaatii erityisosaamista. Tällaisia toimintatapoja voidaan ottaa tehokkaasti käyttöön digitaalisten teknologioiden kautta, jotka ovat investointikustannuksiltaan huomattavasti edullisempia, kuin taloteknisten järjestelmien päivitykset. Digitaalisten teknologioiden avulla toteutettavista energiankulutuksen ja tehontarpeen optimointikeinoista löytyy vähän käytännön tutkimuksia tai esimerkkejä. Teknologioiden tutkiminen ja alan kehityksen seuraaminen ovat kuitenkin vakuuttavia todisteita siitä, että ainoastaan mielikuvitus ja prosessien laaja tuntemus ovat rajoitteena prosesseja optimoiville sovelluksille. Kun digitaalisten teknologioiden mukanaan tuomia työkaluja oppii käyttämään ja alaa seuraa aktiivisesti, on mahdollista kehittää laskentaan ja päätelmiin perustuvia energiatehokkaita toimintatapoja. Esimerkkejä tällaisista kehitettävistä keinoista ovat erilaiset kysynnän jouston menetelmät, sisäolosuhteet ja sääennusteen huomioivat ennakoivat ohjaukset, sekä energian hintaan perustuvat energian kulutuksen ja varastoinnin sovellukset.

Digitaalisten teknologioiden tutkimisen ja energiamarkkinan ymmärryksen perusteella myös toisen tutkimuskysymyksen vastaus kirkastui. Nopeasti muuttuvassa maailmassa ja energiamarkkinassa on varmaa ainoastaan se, että yhteiskunta tulee muuttumaan nopeasti kohti yhä digitaalisempaa ja teknologisesti kehittyneempää. Näin ollen, ehkä tärkein digitaalisten teknologioiden tuoma lisäarvo on asiakkaan ja kohdekiinteistön valmisteleminen tähän murrokseen. Kun kohdekiinteistö liitetään pilvipalveluun, voidaan varmistaa, että myös tulevaisuudessa kyseinen kohdekiinteistö toimii yhteiskunnan ja energiamarkkinan edellyttämällä tavalla ja asiakas saa käyttöönsä edullisinta energiaa. Tällä samalla vahvistetaan asiakkaan päätösvaltaa energiamarkkinassa, kun kulutusta voidaan ohjata reaaliaikaisesti muuttuvassa markkinatilanteessa. Näiden lisäksi energijärjestelmään tehtävät optimoinnit tulevat pienentämään kohdekiinteistön käyttö- ja investointikustannuksia. Energia- ja tehomaksut voivat pienentyä ja lisäksi esimerkiksi maalämpöön investointi voi tulla kannattavaksi, kun lämmitystehontarpeen mitoituksen taustalle saadaan tarkkaa mittaustietoa. Digitaaliset teknologiat mahdollistavat monia muitakin parannuksia, joilla voidaan parantaa esimerkiksi kohdekiinteistön ja asiakkaan ympäristöystävällisyyttä energijärjestelmän kuormituksen vähentyessä. Lisäksi kohteen arvo nousee ja korjausvelka pienenee, jotka tekevät siitä yhä houkuttelevamman kohteen sijoittaja-asiakkaiden kiinteistösalkussa. Asiakkaat voivat kehittää tällaisen lisäarvon avulla omaa kuvaansa ympäristöystävällisenä kiinteistösijoittajana, jonka omistamissa kiinteistöissä ei tuhlaata energioresursseja eikä luonnonvaroja.

Tehtyjen säätötapojen vertailujen perusteella myös kolmannen tutkimuskysymyksen vastaus oli selvä. Säätötapojen toiminnasta tehtyjen vertailujen perusteella voidaan sanoa, että perinteiset energiatehokkuusmenetelmät ja älykkäät ohjaukset yhdistävä säätötapa C vaikuttaisi tuottavan eniten lisäarvoa. Säätötapa C tulee käytännössä toteuttaa aina säätötavan B optimointien jälkeen.

8.2 Tulosten kriittinen arviointi

Tämän tutkimuksen aiheesta oli paikoin vaikeaa löytää lähdemateriaalia, joka johtuu osittain aiheen uutuudesta ja siitä, että kiinteistöjen jouston mahdollisuudet koetaan pieniksi kokonaisuuksiksi kaukolämmön tuotannon mittakaavassa. Työn kirjallisuuskatsauksen avulla opittujen tietojen monipuolinen yhdistely käytännössä oli näin ollen tärkeää. Taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden perusteista löytyi hyvin materiaaleja, mutta niissä käsitellyt menetelmät tuntuivat osittain vanhentuneilta. Niihin tuli yhdistää käytännössä uudempaa digitaalista näkökulmaa. Digitaalisista teknologioista ja ICT-alan uusimmista tuulista löytyi lähdemateriaalia hyvin kattavasti, jota voitiin hyödyntää nykyaikaisten energiatehokkuutta parantavien menetelmien ideoinnissa. Energiamarkkinan perusteista löytyi hyvin lähdemateriaaleja, mutta disruptiivisista liiketoimintaideoista ei niinkään. Energiamarkkinan murroksesta ja alan kehitystarpeista oli puhuttu useissa alan lähteissä ja esimerkiksi kysyntäjouston liittyviä tutkimuksia löytyi hyvin. Lähes kaikki materiaalit kuitenkin edustivat energia-alan näkemystä siitä, miten energiamarkkinan tulisi kehittyä. Näin ollen energiamarkkinan kehitystä käsiteltäessä ja asiakkaan lisäarvoja tavoiteltaessa tarvitsi yhdistää näkemyksiä kahdelta kannalta. Energiamarkkinan perinteisten liiketoimintamallien ja energiayhtiöiden arvoketjujen ymmärrykseen täytyi yhdistää ICT-alan ennakkoluulottomia toimintatapoja.

Vertailua tehtiin ainoastaan yhden kiinteistön osalta, joka heikentää tulosten yleistettävyyttä. Vertailtu kohdekiinteistö oli jo itsessään melko energiatehokas verrattuna esimerkiksi Motivan listaukseen (Motiva Oy 2017b) vastaavien kiinteistöjen ominaiskulutuksista. Näin ollen voidaan olettaa, että saavutettavat tulokset olisivat todennäköisesti huomattavasti suurempia, jos kyseessä olisi taloteknisten järjestelmien ja energiatehokkuuden kannalta alkeellisempi kiinteistö. Kaukolämmön kulutusten ja tehontarpeen seurannassa tulisi Energiateollisuuden ohjeistuksen (Energiateollisuus ry 2014b) mukaan hyödyntää mittausdataa vähintään kolmen kuukauden jaksolta joului-

maaliskuun väliseltä ajalta. Tämän diplomityön vertailujaksot kolmen eri vuoden tammikuulta ovat siis liian lyhyitä aikajaksoja luotettavaan vertailuun. Ne myös poikkesivat keskilämpötiloiltaan toisistaan melko paljon, mikä heikentää vertailtavuutta. Lisäksi kiinteistön lämmitysjärjestelmien toimintaan vaikuttaa useita muuttujia, joita on vaikeaa seurata ja joiden vaikutuksia lopputulokseen ei pystytä erottamaan. Tästä syystä mittaustuloksia voidaan pitää luotettavina vasta pitkän aikajakson jälkeen, jolloin säätötavoista riippumattomien yksittäisten muuttujien vaikutukset pienenevät suhteessa jakson pituuteen. Nämä seikat heikentävät vertailun luotettavuutta ja voidaan sanoa, että tuloksia ei voida yleistää laajasti muihin kiinteistöihin tai energiamuotoihin.

Säätötavat ovat LeaseGreen Suomi Oy:n IPR-oikeutta, joka teki diplomityön asettelusta hieman haastavaa. Tutkimuksessa ei tutkittu itse säätötapoja, vaan niiden vaikutuksia valittuihin parametreihin ja muodostuvaa lisäarvoa. Juuri tässä työssä tutkittujen säätötapojen vertailua ei ole näin ollen helppoa toistaa, sillä säätötavat ovat tiedossa ainoastaan tilaajayrityksellä. Myös käytetyt teknologiat ja työkalut ovat LeaseGreen Suomi Oy:n pilvipalvelimilla ja niihin ei ole avoimesti pääsyä. Tutkimuksessa tehty tulosten vertailu on kuitenkin mahdollista toistaa johonkin optimoitavaan kiinteistöön, kun mittaustietoja on saatavilla. Vertailua voidaan toteuttaa helposti yleisesti saatavilla olevilla datankäsittelytyökaluilla. Tämän diplomityön parametreja voidaan tutkia myös muiden kiinteistöjen osalta ja tuloksia voidaan käyttää vertailukohtana, kun halutaan kehittää jonkin toisen kiinteistön energiatehokkuutta ja pienentää huipputehontarvetta. Tämän diplomityön tuloksista saadaan myös suuntaa-antavaa tietoa erilaisten säätötapojen vaikutuksista ja digitalisaation tuottamasta lisäarvosta. Lisäksi diplomityössä kehitetyt automatisoidut seurannat auttavat yritystä näiden parametrien seurannassa diplomityön jälkeisellä vertailujaksolla.

Tuloksista tulee todeta myös se, että huipputehontarpeen pudotus on vielä melko teoreettinen hyöty tehomaksun näkökulmasta, sillä energiantuottajilla on vaihtelevia menetelmiä huipputehon tarpeen tarkistamiseen. Energiayhtiöiden menetelmistä oli hyvin vaikeaa löytää mitään selkeitä ohjeistuksia, joten ne voivat erota tässä diplomityössä käytetyistä laskentamenetelmistä. Suurin käytännön hyöty tehontarpeen näkökulmasta siirtyy näin ollen esimerkiksi maalämpöön investoinnin kannattavuuden kasvamisesta ja todellisen tehontarpeen ymmärryksestä.

8.3 Tarve jatkotutkimukselle

Tämä diplomityö toimi alustavana selvityksenä sille, minkälaisia lisäarvoja digitaalisilla teknologioilla voidaan saavuttaa kiinteistöjen toiminnan optimoinnissa, sekä palveluiden ja liiketoiminnan kehittämisessä. Jatkotutkimusaiheita ja kehityskohteita on näin ollen useita. Diplomityö toimi kannustimena jatkokehitykselle, lisäseurannalle ja lisäoptimoinneille.

Tässä diplomityössä tehtyjä tarkasteluja tulisi jatkaa ja tehdä pidemmältä aikajaksolta, sekä useammille kohteille. Vertailujakso on mahdollista laajentaa kaikkien vuosien osalta tammi- ja maaliskuun väliselle ajalle, jolloin tuloksiin saadaan lisää luotettavuutta. Tehtyä vertailua on helppoa jatkaa, sillä diplomityön tutkimuksen aikana kehitettiin menetelmiä valittujen parametrien automaattiseen seurantaan. Lisäksi nämä seurantamenetelmät on mahdollista monistaa muihin kiinteistöihin. Vertailukelpoisia tuloksia olisi hyvä saada useista kiinteistöistä, useista säätötavoista, sekä pidemmiltä vertailujaksoilta. Tämän perusteella voitaisiin tehdä paremmin yleistettäviä johtopäätöksiä älykkäiden ohjausten hyödyistä.

Tutkitun kohdekiinteistön osalta älykästä ohjausta olisi mahdollista edelleen kehittää. Mittausdatasta pystyttiin esimerkiksi tunnistamaan lounasravintolan toimintaan ja käyttöaikoihin perustuvia säännöllisyyksiä. Lounasravintolan käytön myötä muodostuvia huipputehon korkeita arvoja voitaisiin optimoida esimerkiksi pienentämällä tehonkulutusta kiinteistön muista osista näiden hetkittäisten tehuippujen ajaksi. Lisäksi voitaisiin käyttöönottaa esimerkiksi koneoppimista, joka pystyisi tunnistamaan tällaisia säännöllisyyksiä kiinteistön tehontarpeessa automaattisesti. Älykkäiden ohjausten jatkokehityksessä tulisi kuitenkin kiinnittää tarkasti huomiota laadullisiin parametreihin, kuten kiinteistön olosuhteiden mittaustietoon. On tärkeää varmistaa, ettei tällaisilla ohjauksilla ole negatiivista vaikutusta kiinteistön laadullisiin tekijöihin.

Kaukolämpömarkkina on vielä melko suljettu ja tällaiset huipputehon pudotukset eivät vielä välttämättä vaikuta asiakkaan kustannuksiin. Kaukolämpömarkkina ei siis ole vielä valmis kaikille ratkaisuille, jotka olisivat asiakkaan kannalta eniten lisäarvoa tuottavia. Mielenkiintoinen tutkimuskohde kaukolämmön osalta olisi useiden kohdekiinteistön kaltaisten kiinteistöjen yhdistäminen niin sanotuksi joustoreserviksi, joka voisi säätää hetkittäistä tehontarvetta kustannustehokkaan ja ympäristöystävällisen kaukolämmön tuotannon mukaisesti. Tällaiseen tarvittaisiin ennakkoluulottomia toimijoita, jotka

kokoaisivat asiakaskohteista niin sanottua joustoreserviä, eli pystyisivät ohjaamaan kiinteistöjä älykkäästi kaukolämmön tuotannon tarpeiden mukaisesti ja samalla varmistaisivat laadun säilymisen. Voidaan kuitenkin kyseenalaistaa, onko kaukolämpömarkkina vielä valmis tällaisille ratkaisuille. Tässä yhteydessä myös lämmön varastointiratkaisujen simuloinnista voisi olla hyötyä. Kun lämmitystehontarvetta voitaisiin ennakoida, tiedettäisiin myös, paljonko lämmitystehossa on joustovaraa kullakin ajanhetkellä. Huipputehon optimointi olisi mahdollista laajentaa koskemaan myös muita energiamuotoja. Samanlainen vertailu voitaisiin tehdä esimerkiksi sähköteholle. Sähkömarkkinassa on jo nyt käytössä markkinahinnan mukaisia sähkösopimuksia, joiden osalta älykäs säätö voisi synnyttää hyötyjä jo nykyisellään. Myös tässä yhteydessä erilaisista varastointiratkaisuista ja niiden mallintamisesta olisi hyötyä.

9 YHTEENVETO

Elämme aikaa, jossa merkittävät muutosvoimat kuten ilmastonmuutos ja digitalisaatio muovaavat elinympäristöämme. Ymmärrys ilmastonmuutoksen vaikutuksista ja tahto kehittää parempaa huomista ajavat energia-alan murrosta. Digitaalisten teknologioiden mukanaan tuomat innovaatiot tulevat olemaan tärkeitä tekijöitä niin muutoksiin sopeutumisessa, kuin myös parempien ratkaisujen kehityksessä. Näkemys energiemarkkinan tulevaisuudesta innosti tutkimaan, miten myös kiinteistöt voisivat valmistautua tuleviin muutoksiin digitaalisten teknologioiden avulla.

Energian loppukäyttö oli vuonna 2016 Suomessa 308 000 gigawattituntia (GWh), josta 26 prosenttia oli rakennuskannan energiankulutusta. Suomen rakennuskannasta noin 45 prosenttia lämmitetään kaukolämmöllä, jonka tuotannon osuus Suomen kasvihuonepäästöistä oli vuonna 2012 noin 15 prosenttia. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitysprosessien optimoinnissa on näin ollen suuri säästöpotentiaali. Kaukolämpöä hyödyntävien kiinteistöjen tutkiminen lämmitysprosessien optimaalisuuden kannalta koettiin tästä syystä tärkeäksi.

Suomessa on kiinnitetty energiatehokkuuteen huomiota jo pitkään ja perinteisiä energiatehokkuusmenetelmiä on kehitetty ja käyttöön otettu laajasti. Energiatehokkuuden perinteiset menetelmät vaativat kuitenkin useasti suuria investointeja järjestelmien päivittämiseen tai toisaalta monipuolista osaamista kiinteistöjen järjestelmistä ja toimintaperiaatteista. Tämän vuoksi kiinteistöjen energiatehokkuus ei etene toivotulla nopeudella. Tavoite hiilineutraalista yhteiskunnasta lisää painetta energiatehokkuuteen ja kaikki mahdolliset optimoinnit tulisi ottaa käyttöön yhteiskunnallisen näkökulman kannalta.

Digitaaliset teknologiat tulevat avuksi, sillä niiden avulla energiatehokkuuteen investoinnin kynnystä voidaan madaltaa. Digitaalisia ratkaisuja voidaan lisätä esimerkiksi osaksi kiinteistön järjestelmiä. Teknologiat tällaisiin ratkaisuihin ovat jo olemassa, ja käyttöönotto on helppoa eikä vaadi suuria investointeja. Tällaisten ratkaisujen avulla kiinteistön kaikki tieto saadaan yhdelle pilvipalvelualustalle, jossa sitä voidaan visualisoida ja käsitellä. Tehokas ja automaattinen tiedon käsittely antaa tuloksena jalostettua tietoa esimerkiksi kiinteistön prosessien älykkäitä ohjauksia varten.

Digitaalisten teknologioiden kehittymisen myötä pienetkin optimointimahdollisuudet tulevat kannattaviksi toteuttaa.

Todellisten hyötyjen saavuttamiseksi myös energiamarkkinaa on ymmärrettävä hyvin. Suljetussa kaukolämpömarkkinassa ratkaisujen tulee olla myös energiayhtiöiden etuja palvelevia, jotta niiden käytännön toteutus on mahdollista. Tämä tuo hidasteita ratkaisujen kehitykseen. Toiminnassa tulisi pystyä yhdistämään kiinteistön prosessien vahva tuntemus, digitaaliset teknologiat, ICT-alan ennakkoluulottomuus, sekä energiamarkkinan ymmärrys. Tällä tavoin voidaan saavuttaa käytännön hyötyjä nykyisessä energiamarkkinassa.

Vaikka kaukolämpömarkkina ei välttämättä ole vielä valmis kaikista innovatiivisimmille ratkaisuille, on vastuullista valmistautua murrokseen ja omaksua digitaalisia teknologioita osana järjestelmiä. Esimerkiksi tutkittu kaukolämmön huipputehontarpeen pienentyminen ei vielä nykyisellään ole selvä kustannuksia alentava tekijä, sillä kaukolämpöyhtiöt voivat käytännössä määritellä sopimustehon haluamallaan tavalla. Asiakkaalle on kuitenkin etua siitä, että kiinteistön tehontarpeen todellinen taso on selvillä. Kun kaukolämpömarkkina kehittyy yhä enemmän markkinavetoiseksi, on tärkeää, että kiinteistön kaikki potentiaali on hyödynnettävissä.

Tutkittava kohdekiinteistö oli eräs Helsingissä sijaitseva vuonna 2015 rakennettu toimistorakennus. Tutkittujen parametrien, kuten ominaiskulutusten vertailun avulla todettiin, että kiinteistö oli jo ilman energiatehokkuutta parantaneita optimointeja ja älykkäitä ohjauksia keskimääräistä toimistokiinteistöä tehokkaampi. Kohdekiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmän sisäänrakennetut ohjaukset ja säädöt olivat myös jo itsessään kehittyneempiä, kuin tyypillisessä toimistokiinteistössä. Tämän perusteella voidaan olettaa, että alkeellisemmän kiinteistön vertailussa olisi saavutettu vielä merkittävämpiä tuloksia. Toisaalta kiinteistön järjestelmät olivat nykyaikaisemmat, jonka ansiosta älykkäillä ohjaustavoilla voitiin vaikuttaa lämmitysprosessin useisiin kohtiin.

Tehtyjen vertailujen perusteella voitiin todeta, että asiantuntijoiden hypoteesit vastasivat todellisuutta. Perinteisillä energiatehokkailta säätötavoilla saavutettiin säästöjä energiankulutuksessa, mutta ei kiinteistön huipputehontarpeessa. Älykkäällä ohjaustavalla puolestaan onnistuttiin optimoimaan huipputehoa. Lopputuloksena todettiin, että asiakkaan lisäarvon kannalta paras optimointitapa on säätötapa C, joka yhdistää perinteiset energiatehokkuusmenetelmät ja älykkään ohjauksen. Tähän

lopputulokseen päädyttiin valittujen parametrien vertailun perusteella. Havaintojen perusteella asiakkaan energia- ja tehomaksut voisivat pudota, olosuhteet pysyivät hyvällä tasolla, kiinteistön kilpailukyky suhteessa muihin vastaaviin kiinteistöihin kasvoi ja mahdolliset investoinnit kiinteistökohtaiseen lämmitysjärjestelmään pienentyivät tehontarpeen pudottua. Tutkimuksen tuloksena täytyy siis korostaa, että hiilineutraali yhteiskunta vaatii toteutuakseen kaikkia energiatehokkuuden keinoja, joita sopivasti yhdistelemällä saavutetaan parhaat lopputulokset.

LÄHDELUETTELO

Airaksinen, M., Seppälä, J., Vainio, T., Tuominen, P., Regina, K., Peltonen-Sainio, P., Luostarinen, S., Sipilä, K., Kuviluoma, J., Tuomaala, Savolainen, I., Kopsakangas-Savolainen, M., 2013. Rakennetun ympäristön hajautetut energijärjestelmät, Suomen ilmastopaneeli raportti (4/2013) [verkkodokumentti]. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus VTT. Saatavissa: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Rakennetun%20ympäristön%20hajautetut%20energijärjestelmät.pdf [viitattu 14.03.2018]. 31 s.

Ala-Pietilä, P., Lundström, I., 2017. Suomen tekoälyaika, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja (41/2017) [verkkodokumentti]. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80849/TEMrap_41_2017_Suomen_tekoälyaika.pdf [viitattu 14.03.2018]. 72 s.

Chainey, R., 2017. How can we avoid a climate change catastrophe? Al Gore and Davos leaders respond. World Economic Forum [verkkodokumentti], 18 tammikuuta 2017. Saatavissa: <https://www.weforum.org/agenda/2017/01/whats-the-one-thing-we-should-do-to-avoid-a-climate-catastrophe-al-gore-and-other-world-leaders-respond/> [viitattu 14.03.2018].

Curran, C., Garrett, D., Puthiyamadham, T., 2017. 2017 Global Digital IQ Survey, 10th anniversary edition [verkkodokumentti]. New York: PwC. Saatavissa: <https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/digital-iq/assets/pwc-digital-iq-report.pdf> [viitattu 14.03.2018]. 29 s.

Deloitte & Touche Oy, 2016. Digitalisaation vaikutukset kaukolämpöalalla [verkkodokumentti]. Helsinki: Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/1343/2016_Digitalisaation_vaikutukset_FIN.pdf [viitattu 14.03.2018]. 52 s.

Ellen MacArthur Foundation, 2016. Intelligent Assets: Unlocking the Circular Economy Potential [verkkodokumentti]. Geneve: World Economic Forum. Saatavissa:

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Intelligent_Assets_Unlocking_the_Circular_Economy.pdf [viitattu 14.03.2018]. 54 s.

Energiateollisuus ry, 2014a. Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet (K1/2013) [verkkodokumentti]. Helsinki: Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf [viitattu 14.03.2018]. 92 s.

Energiateollisuus ry, 2014b. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina, Suositus (K15/2014) [verkkodokumentti]. Helsinki: Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf [viitattu 14.03.2018]. 25 s.

Energiateollisuus ry, 2017. Kaukolämmön yleiset sopimusehdot [verkkodokumentti]. Helsinki: Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/1796/Suositus_T1_2017_Kaukolammon_yleiset_sopimusehdot.pdf [viitattu 14.03.2018]. 19 s.

Ericsson, 2015. ICT and the Low Carbon Economy [verkkodokumentti]. Tukholma: Ericsson. Saatavissa: <https://www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/emr-nov-2015-ict-and-the-low-carbon-economy.pdf> [viitattu 14.03.2018]. 3 s.

Euroopan komissio, 2017. Integration DESI by components, Digital Scoreboard [verkkodokumentti]. Bryssel: Euroopan komissio. Saatavissa: http://digital-agenda-data.eu/charts/desi-components#chart={%22indicator%22:%22DESI%22,%22breakdown-group%22:%22DESI%22,%22unit-measure%22:%22pc_DESI%22,%22time-period%22:%222016%22} [viitattu 14.03.2018].

Forssell, K-M., 2017. Kulutuksen normitus [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/kulutuksennormitus> [viitattu 14.03.2018].

Gates, B., 2017. 4 signs of progress on climate change. Gates Notes [verkkodokumentti]. 12 joulukuuta 2017. Saatavissa: <https://www.gatesnotes.com/Energy/progress-on-climate-change> [viitattu 14.03.2018].

Helen Oy, 2018. Lämpöä yrityksille ja kiinteistöille: Hinnastot [verkkodokumentti]. Helsinki: Helen Oy. Saatavissa: <https://www.helen.fi/lampo/yritykset/hankinta-ja-hinnat/hinnastot/> [viitattu: 14.03.2018].

Huttunen, R., 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja (4/2017) [verkkodokumentti]. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkoujulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 14.03.2018]. 119 s.

Hyysalo, S., Marttila, T., Temmes, A., Lovio, R., Kivimaa, P., Auvinen, K., Pyhälampi, A., Lukkarinen, J., Peljo, J., 2017. Uusia näkymiä energiamurroksen Suomeen; Murrosareenan tuottamia kunnianhimoisia energia- ja ilmastotoimia vuosille 2018-2030 [verkkodokumentti]. Helsinki: Smart Energy Transition. Saatavissa: <http://www.smartenergytransition.fi/tiedostot/murrosareena-loppuraportti.pdf> [viitattu 14.03.2018]. 97 s.

IBM Corporation, 2011. IBM Big Data Success Stories [verkkodokumentti]. New York: IBM Corporation. Saatavissa: <https://public.dhe.ibm.com/software/data/sw-library/big-data/ibm-big-data-success.pdf> [viitattu 14.03.2018]. 70 s.

International Energy Agency (IEA), 2017. Energy efficiency indicators, Highlights. [verkkodokumentti]. Pariisi: International Energy Agency. Saatavissa: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyHighlights_2017.PDF [viitattu 14.03.2018]. 146 s.

Itkonen, J., 2015. Kiihdyttääkö digitalisaatio talouskasvua? Euro ja talous –blogi [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Pankki. Saatavissa: <https://www.eurojatalous.fi/fi/blogit/2015-2/kiihdyttaako-digitalisaatio-talouskasvua/> [viitattu 14.03.2018].

Juuti, P., 2016. Fortum valjasti eturintamassa 70 kotia sähkönkulutuksen hienosäätöön – maailmalla valtavat markkinat. Yle Uutiset [verkkodokumentti], 9 maaliskuuta 2016. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8728970> [viitattu 14.03.2018].

Klobut, K., Heikkinen, J., Shemeikka, J., Laitinen, A., Rämä, M., Sipilä, K., 2009. Huippuenergiatehokkaan asuintalon kaukolämpöratkaisut, VTT Tiedotteita (2513) [verkkodokumentti]. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/38289323_Huippuenergiatehokkaan_asuintalon_kaukolamporatkaisut [viitattu 14.03.2018]. 68 s.

Koistinen-Jokiniemi, P., Koskiniemi, T., Lehtinen, I., Lindroos, V., Martikainen, J., Montonen, S., Savela, O., Tuomaala, E., 2017. Digitalisaatio ja BKT – miten digitalisaation näkyvät taloustilastoissa [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/kantilinpito/digitalisaatio_bkt.pdf [viitattu 14.03.2018]. 21 s.

Koljonen, T., Similä, L., Lehtilä, A., Grandell, L., Airaksinen, M., Tuominen, P., Järvi, T., Laurikko, J., Sipilä, K., Helynen, S., Honkatukia, J., Kallio, M., Salminen, O., Kivinen, M., Vuori, S., Kihlman, S., Lauri, L., 2014. Low Carbon Finland 2050 – platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät, VTT Technology (167) [verkkodokumentti]. Espoo: Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T167.pdf> [viitattu 14.03.2018]. 105 s.

Korczak, A., Eskola, M., Salo, P., Saarinen, A., Lukander, J., 2017. How Finland is embracing digital transformation [verkkodokumentti]. Espoo: Microsoft Oy. Saatavissa: <https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/How%20Finland%20is%20embracing%20digital%20transformation2.pdf> [viitattu 14.03.2018]. 46 s.

Kärkkäinen, S., Sipilä, K., Pirvola, L., Esterinen, J., Eriksson, E., Soikkeli, S., Nuutinen, M., Aarnio, H., Scmitt, F., Eisgruber, C., 2003. Demand side management of the district heating systems, VTT Research notes (2247) [verkkodokumentti]. Espoo: Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2247.pdf> [viitattu 14.03.2018]. 86 s.

Lehti, M., 2017. Digitalisaatio avaa tietä seuraavaan teknologiamurrokseen, Digitaalinen Suomi 2017 –julkaisuhanke (Osa 2) [verkkodokumentti]. Helsinki: Valtiovarainministeriö. Saatavissa: <https://suomidigi.fi/wp-content/themes/suomidigi/assets/attachments/digitaalinen-suomi-1995->

2015/osa2/63%20_%20Digitalisaatio%20avaa%20tietä%20seuraavaan%20teknologiamurrokseen.pdf [viitattu 14.03.2018]. 18 s.

Li, S.C, 2007. The Role of Value Proposition and Value Co-Production in New Internet Startups: How New Venture e-Businesses Achieve Competitive Advantage. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. s. 1126-132.

Mattila, V-M., 2017. Digi-menestyjät nostavat Suomen, Digitaalinen Suomi 2017 – julkaisuhanke (Osa 2) [verkkodokumentti]. Helsinki: Valtiovarainministeriö. Saatavissa: https://suomidigi.fi/wp-content/themes/suomidigi/assets/attachments/digitaalinen-suomi-1995-2015/osa2/56%20_%20Digimenestyjat%20nostavat%20Suomen.pdf [viitattu 14.03.2018]. 18 s.

Mattinen, M., Heljo, J., Savolahti, M., 2016. Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050, Suomen ympäristökeskuksen raportteja (35/2016) [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/166673/SYKEra_35_2016.pdf?sequence=4 [viitattu 14.03.2018]. 66 s.

Motiva Oy, 2017a. Motivan vuosi 2016 [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: <http://motiva2016.fi> [viitattu 14.03.2018].

Motiva Oy, 2017b. Palvelusektorin ominaiskulutuksia [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia [viitattu 14.03.2018].

Mäkelä, V-M., Tuunanen, J., 2015. Suomalainen kaukolämmitys [verkkodokumentti]. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/URNISBN9789515885074.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 14.03.2018]. 159 s.

Mäkipelto, T., 2017. Energiajärjestelmä tulee sähköjärjestelmän tueksi – tekoäly pienentää blackoutin riskiä [verkkodokumentti]. Helsinki: LeaseGreen Suomi Oy.

Saatavissa: http://leasegreen.fi/blog/aineisto/blogi_energiatehokkuus_keinoaly/ [viitattu 14.03.2018].

Osterwalder, A., Pigneur, Y., 2010. Business model generation: A handbook for visionaries, game changers and challengers. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 276 s.

Pöyry Management Consulting Oy., 2016. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit [verkkodokumentti]. Helsinki: Energiateollisuus ry; Sitra. Saatavissa: https://media.sitra.fi/2017/02/27175247/Kaksisuuntaisen_kaukolammon_liiketoimintamallit-2.pdf [viitattu 14.03.2018]. 45 s.

Raatikainen, M., 2016. Intelligent knowledge discovery on building energy and indoor climate data [verkkodokumentti]. Väitöskirja. Oulun yliopisto. 112 s.

Rakennetun ympäristön osasto, 2011. Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2013. Helsinki: Ympäristöministeriö. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma.

Richter, M., 2012. Utilities' business models for renewable energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), s. 2483-2493.

Rinne, S., Syri, S., 2013. Lämpöpumput ja kaukolämpö energiajärjestelmässä, Suomen ilmastopaneeli raportti (3/2013) [verkkodokumentti]. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus VTT. Saatavissa: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Lampöpumput%20ja%20kaukolämpö%20energiajärjestelmässä_29-1-2013.pdf [viitattu 14.03.2018]. 28 s.

Salokoski, P., 2017. Tulevaisuuden energia 2030...2050, Tekesin katsaus (332/2017) [verkkodokumentti]. Helsinki: Tekes. Saatavissa: http://tem.fi/documents/1410877/2772829/332_2017_Tulevaisuuden+energia_2030_2050.pdf/4f1c0ec0-58fc-4c1c-9297-7f90ac01615b [viitattu 14.03.2018]. 38 s.

Schreiber, U., Forer, G., Lutz, K., de Young, J., Jaggi, G., Potter, A., Whistler, M., 2017. The upside of disruption: Megatrends shaping 2016 and beyond [verkkodokumentti]. Lontoo: Ernst & Young Global Limited (EY). Saatavissa: http://cdn.ey.com/echannel/gl/en/issues/business-environment/2016megatrends/001-056_EY_Megatrends_report.pdf [viitattu 14.03.2018]. 53 s.

Seikku, E., 2018. Mikä ihmeen tekoäly, koneoppiminen ja ennakoiva analytiikka? Tivi – lehti [verkkodokumentti]. Helsinki: Alma Talent Oy. Saatavissa: https://www.tivi.fi/Kumppaniblogit/hewlett_packard_enterprise/mika-ihmeen-tekoaly-koneoppiminen-ja-ennakoiva-analytiikka-6699339 [viitattu 14.03.2018].

Soimakallio, H., Hellström, H., Rantamäki, M., Laine, S., 2017. Rakennetun omaisuuden tila 2017 [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Saatavissa: http://www.ril.fi/media/2017/2017-vaikuttaminen/roti-2017/taustat/roti-2017_painettu-raportti.pdf [viitattu 14.03.2018]. 84 s.

Sisäilmayhdistys ry, 2008. Sisäilmastoluokitus 2008: Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Espoo: Sisäilmayhdistys ry. 22 s.

Tilastokeskus., 2016a. Rakennukset (lkm, m²) käyttötarkoituksen ja lämmitysaineen mukaan 31.12.2016, Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__rakke/statfin_rakke_pxt_002.px/?rxid=0c44ad83-173b-4054-8a6b-4a5d93782d25 [viitattu 14.03.2018].

Tilastokeskus., 2016b. Rakennukset (lkm, m²) käyttötarkoituksen ja rakennusvuoden mukaan 31.12.2016, Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__rakke/statfin_rakke_pxt_001.px/table/tableViewLayout1/?rxid=4a217d28-b714-4d0b-aae2-a1b3f4873d0f [viitattu 14.03.2018].

Tilastokeskus., 2017a. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin ja CO₂-päästöt, Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin_ehk_pxt_001_fi.px/?rxid=bde32f0b-b7e9-47c6-b8f4-8abb51767aa3 [viitattu 14.03.2018].

Tilastokeskus., 2017b. Energian loppukäyttö sektoreittain, Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin_ehk_pxt_010.px/?rxid=bde32f0b-b7e9-47c6-b8f4-8abb51767aa3 [viitattu 14.03.2018].

Valor Partners Oy., 2015. Kaukolämmön kysyntäjousto [verkkodokumentti]. Helsinki: Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/files/439/Kaukolammon_kysyntajousto_loppuraportti_VALOR.pdf [viitattu 14.03.2018]. 32 s.

Vapaavuori, J., Härmälä, E., Turunen, M., Rinne, S., Kinnunen, M., 2014. Energia- ja ilmastotiekartta 2050, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu (31/2014) [verkkodokumentti]. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2628105/Energia-+ja+ilmastotiekartta+2050.pdf/1584025f-c5c7-456c-a912-aba0ee3e5052> [viitattu 14.03.2018]. 75 s.

Wellers, D., 2015. Is this the future of the Internet of Things? [verkkodokumentti]. Geneve: World Economic Forum. Saatavissa: <https://www.weforum.org/agenda/2015/11/is-this-future-of-the-internet-of-things/> [viitattu 14.03.2018].

World Economic Forum (WEF), 2016. Global Information Technology Report 2016 [verkkodokumentti]. Geneve: World Economic Forum. Saatavissa: <http://reports.weforum.org/global-information-technology-report-2016/economies/#indexId=NRI&economy=FIN> [viitattu 14.03.2018].

Liite 1. Lämpöenergian vuosittaisia rakennustyyppikohtaisia ominaiskulutuksia

LÄMPÖ

Kohteet vuosilta 2010-2015, 1372 kohteita

Tyyppi	Kohteita kpl	Tilavuus 1000 r-m3	Lämpö - ominaiskulutus (kWh/r-m3)									
			Ennen energiatarkastelusta									
			Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max	
11 Myymälä- ja tavaratalot, kauppa- ja palveluskeskukset	44	1396	3,6	6,7	7,7	12,5	28,1	80	117,8	138	184,2	
112 Liike- ja tavaratalot, kauppa- ja palveluskeskukset	47	3187	2,1	6	10,4	12,5	18	26,9	43,3	45	66,2	
12 Majoitusliiketoimintarakennukset	27	825	9,3	25,2	38,3	43,1	57	67	79,6	142,2	252	
13 Asuntolähtökannukset	9	111	47,4	48	48,7	53,7	62	68,5	93,7	97,4	101,1	
13 Ravintolat yms.	6	43	28,7	34,2	39,6	51,1	70,8	95,1	100,4	102,1	103,7	
15 Toimistorakennukset (kaikki)	199	6211	8,8	18,9	21,6	26,8	34,2	42,3	56,1	83,1	271,2	
15 Toimistorakennukset, julkinen palvelusektori	69	805	8,8	22,8	27,7	36,4	46,3	56,2	83,9	97,8	209,9	
15 Toimistorakennukset, yksityinen palvelusektori	126	4872	9,5	18,3	20,6	25,1	29,8	37,1	42	48,2	271,2	
16 Liiketeen rakennukset	15	251	3,4	5,8	13,5	26,2	41,1	52,5	66,1	79,9	104,6	
21 Terveystieteiden rakennukset (pois lukien Terveystieteiden ja -asemat)	29	1729	40,8	45	49	53,9	66,1	72,9	85	89,3	175,1	
214 ja 219 Terveystieteiden rakennukset ja -asemat	45	642	11,7	25,9	32,6	41,1	53,8	63,6	80,6	100,4	109,1	
22 Huolto- ja kunnossapitotilat (pois lukien Vanhainkodit)	21	114	36,3	38,6	41,2	48,6	64,8	77,1	98,7	115,6	121	
221 Vanhainkodit	31	366	28,3	36,6	38,3	47,3	60,5	73,9	85,1	88,1	91,6	
23 Muut sosiaalitoimen rakennukset (pois lukien Päiväkodit)	14	80	33,1	37,7	40,4	41,8	45,8	66,3	77	109,1	165,5	
231 Päiväkodit	220	789	10,9	32,5	36,5	45,4	57,5	72	87,6	98,2	159,5	
31 Teatteri- ja konserttirakennukset	7	226	15,8	17,4	19	22	31,1	59,6	87,9	99,6	111,3	
32 Kirjasto-, museo- ja näyttelyhallirakennukset	27	280	18,9	19,3	19,6	26,2	32,7	41	53,8	60,9	65,9	
33 Seura- ja kerhorakennukset	22	98	26,7	33,5	35,9	40,2	53,1	64,9	75,4	75,9	84	
34 Uskonnon rakennukset	9	76	37,5	38,5	39,5	40,6	44,6	47	61,8	82,6	103,5	
35 Urheilu- ja kuntolaitokset (pois lukien jäähalli- ja uimahallit)	29	598	2,9	13,1	16	21,6	34,4	58,4	81,4	92,3	104,1	
351 Jäähallit	8	559	5	7,8	10,6	14,8	20,9	26,8	32,3	36,3	40,3	
352 Uimahallit	13	206	65,5	80,7	90,9	97,6	113,8	144,9	146,7	164,3	190,7	
36 Muut kokoontumisrakennukset	7	81	28,5	30,4	32,3	51,8	75	93,2	96,6	96,9	97,1	
51 Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset	258	4429	7,5	25	29,2	35,1	43,5	57,3	68,9	82,3	297,6	
52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset	36	1228	19,3	20,3	23	29,5	35,8	43,2	54	58,7	61,5	
53 Korkeakoulu- ja tutkimuslaitosten rakennukset	4	104	18,3	21,4	24,5	33,7	47,5	58,4	62,5	63,9	65,2	
54 Muut opetusrakennukset	11	71	27,5	34,3	41	44,3	48,8	53	57	101,2	145,3	
71 Varastorakennukset	17	2387	5,4	7,3	8	12,6	16,6	38,6	49,4	52	61,1	
72 Palo- ja pelastustoimen rakennukset	22	192	19,8	24,8	31,7	35,9	46,4	63,2	67,8	68,4	73,4	

Kuva 39: Lämpöenergian vuosittaisia rakennustyyppikohtaisia ominaiskulutuksia (mukaan Motiva 2017b).