

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Juuso Virtanen

# DATA-ANALYYSIN HYÖDYNTÄMINEN ENERGIANKULUTUS- SEURANNASSA

– Kiinteistöjen energiankulutustietojen luotettavuus

Juuso Virtanen

# DATA-ANALYYSIN HYÖDYNTÄMINEN ENERGIANKULUTUSSEURANNASSA

## -Kiinteistöjen energiankulutustietojen luotettavuus

Työssä analysoidaan toimeksiantajan asiakkaan kuuden kiinteistön lämmön-, kaukolämpöveden-, sähkön- sekä käyttövedenkulutustietoja. Dataa lukemalla ja data-analytiikan menetelmiä käyttäen pohditaan, voiko kulutuslukemiin luottaa sellaisenaan vai tuleeko kiinteistöissä käytettyä kulutusseurannan toimintamallia kehittää luotettavammaksi. Luotettavuus on olennaista, jotta datasta saataisiin kaikki hyöty irti energiakatselmuksia sekä energiatehokkuuden parantamiseen tähtääviä toimenpiteitä, kuten EU:n ja Suomen energiadirektiivejä, ajatellen. Tutkittava aineisto on kerätty toimeksiantajan käyttämästä pilvipohjaisesta kiinteistönhallinnan ohjelmistosta sekä Turku Energian palvelimilta.

Kerätty aineisto puhdistettiin selkeästi virheellisesti kirjatusta arvoista, jonka jälkeen puhdistetusta datasta etsittiin data-analytiikan menetelmiä käyttäen muita poikkeavia arvoja ja selvitettiin, kuinka luotettavalla sekä laadukkaalla tasolla kulutusseuranta on. Samalla selvitettiin, onko toimintamallia syytä päivittää ottaen huomioon nykyiset EU:n ja Suomen lainsäädännöt sekä lisääntyvä huoli energiatehokkuudesta ja sen puutteista johtuvasta turhasta energiankulutuksesta.

Kulutustiedoista löydettiin useita epä johdonmukaisia lukemia, jotka viittaavat epä johdonmukaiseen tietojen kirjaukseen ja siirtymiseen mittareiden ja ylläpitojärjestelmän välillä. Käyttöveden sekä sähkön seurantojen todettiin vaikuttavan luotettavilta. Kaukolämpöveden joko mittaamisessa tai kirjaamisessa järjestelmään tai molemmissa havaittiin merkittäviä ja toistuvia virheitä, joiden todettiin myös vaikuttavan kaukolämmönkulutuksen arvoihin. Johtopäätökseksi saatiin, että datan perusteella kaukolämmön sekä kaukolämpöveden kulutusseuranta nykyisellään ei ole täysin luotettavaa, vaan havaittujen virheiden syitä olisi syytä tarkastella enemmän. Kehitysideaksi ehdotettiin yksityiskohtaisempaa kulutusraportointia ja kulutusten reaaliaikaista seurantaa tehtävään kohdennetun ammattilaisen tekemänä.

## ASIASANAT:

Data-analytiikka, energia, energianhallinta, energiankulutus, kiinteistönhallinta, kulutusseuranta, lainsäädäntö

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy- and environmental technology

2021 | 51 pages, 5 pages in appendices

Juuso Virtanen

# UTILISATION OF DATA ANALYSIS IN ENERGY CONSUMPTION MONITORING

- Reliability of energy consumption data in real estates

The work analyses the heat-, district heating water-, electricity- and domestic water consumption data of six properties of the mandator's client. By reading the data and using data-analytic methods it is considered whether the consumption information can be relied upon as such or whether the consumption monitoring operating model used in buildings should be made more reliable to make the most of energy audits and measures aimed at improving energy efficiency, such as the energy directives of EU and Finnish government. The studied data has been collected from the client's cloud-based property management software and from Turku Energia's servers.

The collected data was purified from recorded values that were clearly incorrect, after which using data-analytic methods the purified data was used to find other inconsistent values and thus to determine how reliable the consumption monitoring is and whether the operating model should be updated considering current EU- and Finnish legislation and growing concerns about energy efficiency and unnecessary energy consumption due to its shortcomings.

Several inconsistent readings were found in consumption data that refers to inconsistent data recording and -transferring between metrics and the management software. The monitoring of domestic water and electricity was found to appear reliable. Significant and frequent errors were found from district heating water data that refer to errors in the measurement or/and data recording, which were also found to affect the values of district heat consumption data. It was concluded that, based on the data, the current consumption monitoring of district heating and district heating water is not entirely reliable, but that the detected errors and their causes should be examined more. More detailed consumption reporting and real-time monitoring by a professional placed in the job were proposed as a development idea.

## KEYWORDS:

Consumption analysis, data analysis, energy, energy consumption, energy controlling, legislation, property maintenance

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 ENERGIATEHOKKUUSLAIT JA MÄÄRÄYKSET</b>	<b>10</b>
2.1 Suomen energiatehokkuuslaki 1429/2014	10
2.1.1 Energiatehokkuuslaki 1429/2014 2 luku 6 §;	10
2.1.2 Energiatehokkuuslaki 1429/2014 2 luku 8 §;	11
2.1.3 Energiatehokkuuslaki 1429/2014 2 luku 9 §;	12
2.2 Kansainväliset direktiivit ja tavoitteet	12
2.2.1 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU	12
2.2.2 Euroopan unionin energiadirektiivin tavoitteet vuodelle 2030	13
<b>3 DATA-ANALYTIikka</b>	<b>14</b>
3.1 Virhearvot	15
3.2 Korrelaatio ja kovarianssi	16
3.3 Keskiarvo ja keskihajonta	18
3.4 Aikasarja ja trendi	18
<b>4 KULUTUSDATA JA TUTKIMUSMENETELMÄT</b>	<b>20</b>
4.1 Kulutusseurannan menetelmät työn tapauksessa	20
4.2 Lämmitysenergian normeeraus eli sääkorjaus	22
<b>5 ANALYYSI</b>	<b>24</b>
5.1 Lämpö	24
5.2 Kaukolämpövesi	32
5.3 Pätösähkö	38
5.4 Käyttövesi	43
<b>6 POHDINTA</b>	<b>47</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>50</b>

## LIITTEET

Liite 1. Kiinteistöjen lämmönkulutukset tarkasteluajanjaksolla Toimeksiantajan ja Turku Energian välillä

Liite 2. Toimeksiantajan ja Turku Energian suhde teoreettiseen lämmönkulutukseen

## KAAVAT

Kaava 1. Kovarianssi (Karttunen 2001).	16
Kaava 2. Korrelaatiokerroin (Karttunen 2001).	17
Kaava 3. Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kulunut energia (Motiva 2019).	23
Kaava 4. Rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen normitus (Motiva 2019).	23
Kaava 5. Kaukolämpöenergian kulutus jäähtymän ja kaukolämpöveden mukaan (Energiateollisuus 2007).	28

## KUVIOT

Kuvio 1. Lineaarinen trendiviiva (sinisenä).	19
Kuvio 2. Polynominen trendiviiva (sinisenä).	19
Kuvio 3. Toimeksiantajan lämmönkulutuksen raakadata tarkastelujaksolla 6/2016–5/2019.	25
Kuvio 4. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutusten suhde Kiinteistö 5:ssä aikavälillä 3/2017–3/2019.	25
Kuvio 5. Toimeksiantajan ja Turku Energian datan eroavaisuudet Kiinteistö 1:ssä.	26
Kuvio 6. Toimeksiantajan ja Turku Energian datan eroavaisuudet Kiinteistö 3:ssa.	27
Kuvio 7. Toimeksiantajan ja Turku Energian datan eroavaisuudet Kiinteistö 6:ssa.	27
Kuvio 8. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutukset suhteessa teoreettiseen kulutukseen Kiinteistö 1:ssä.	29
Kuvio 9. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutukset suhteessa teoreettiseen kulutukseen Kiinteistö 3:ssa.	29
Kuvio 10. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutukset suhteessa teoreettiseen kulutukseen Kiinteistö 6:ssa.	30
Kuvio 11. Kiinteistö 6:n kaukolämpövedenkulutus.	31
Kuvio 12. Kiinteistö 6:n kaukolämpöveden jäähtymät.	31
Kuvio 13. Toimeksiantajan lämmönkulutuksen puhdistettu data tarkastelujaksolla 2015–2019.	32
Kuvio 14. Toimeksiantajan kaukolämpövedenkulutuksen raakadata tarkastelujaksolla 6/2015–5/2019.	33
Kuvio 15. Kaukolämpöveden polynomiset kulutustrendit ajalta 2/2018–6/2018.	34
Kuvio 16. Kiinteistö 5 kaukolämpövedenkulutuksen polynominen trendi ja laskettu arvo.	35
Kuvio 17. Kiinteistöjen kaukolämpövedenkulutus vuosittain välillä 6/2015–5/2019 Kiinteistö 5:n korjauksella.	36
Kuvio 18. Kaukolämpövedenkulutuksen data Kiinteistö 5:n korjauksella tarkastelujaksolla 2015–2019.	36

Kuvio 19. Kiinteistö 6:n kaukolämpövedenkulutukset ajalta 6/2015–5/2019.	38
Kuvio 20. Kiinteistöjen puhdistettu sähkönkulutus kuukausittain.	40
Kuvio 21. Kiinteistö 3:n ja Kiinteistö 6:n sähkönkulutukset ja niiden trendit kuukausittain.	40
Kuvio 22. Kiinteistö 4:n sähkönkulutus kuukausittain.	42
Kuvio 23. Kiinteistö 2:n sähkönkulutus kuukausittain.	42
Kuvio 24. Käyttöveden kulutus (m <sup>3</sup> ) vuosittain.	43
Kuvio 25. Käyttöveden kulutus (m <sup>3</sup> ) kuukausittain.	44
Kuvio 26. Käyttövedenkulutuksen trendit vuodesta 2016 vuoteen 2019.	45

## KUVAT

Kuva 1. Toimeksiantajan sähkönkulutustiedot (Toimeksiantaja 2019).	20
Kuva 2. Kiinteistö 5:n epätodenmukainen lukema normeeraamattomassa lämmönkulutuksessa (Toimeksiantaja 2019).	24
Kuva 3. Kiinteistö 5:n epätodenmukainen lukema kaukolämpöveden kulutuksessa.	33
Kuva 4. Kiinteistö 5:n epätodenmukaiset lukemat sähkönkulutuksessa (Toimeksiantaja 2019).	39

## TAULUKOT

Taulukko 1. Esimerkki korrelaatiokertoimista.	17
Taulukko 2. Toimeksiantajan järjestelmästä kerätyt lämpöenergiankulutustiedot jaksolta 6/2015–5/2016.	22
Taulukko 3. Kiinteistö 6:n kaukolämmön data ajalta 9/2018–10/2018.	38
Taulukko 4. Kiinteistöjen keskinäiset korrelaatiot sähkönkulutuksessa.	41
Taulukko 5. Kiinteistöjen väliset käyttövedenkulutuksen korrelaatiokertoimet.	45
Taulukko 6. Kiinteistöjen väliset käyttövedenkulutuksen keskihajonnat, keskiarvot ja näiden välinen korrelaatiokerroin.	46

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Approksimaatio	Matematiikassa epätasällinen esitys jostakin asiasta, josta ei ole saatavilla tarpeeksi tietoa tarkan arvon määrittämiseen (Weisstein 2002, 102).
E-luku	Ilmoittaa laskennallisen ostoenergian kulutuksen rakennuksen lämmitettyä nettopinta-alaa kohden (kWh/m <sup>2</sup> /v) (Ympäristöministeriö 2012).
Interpolaatio	Approksimaatiomenetelmä, jolla voidaan laskea ja täydentää tunnettujen arvojen välisiä puuttuvia arvoja (Aalto yliopisto 2014, 1).
Kaukolämmön jäähtymä	Kaukolämmön meno- ja paluuveden välinen lämpötilaero (Energiateollisuus, 2014, 5).
Lämpö (kulutus)	Kuvaa tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen kulutettua energiaa (Wh) (Motiva 2020).
Pätösähkö	Vaihtovirtapiirissä todellisuudessa kulutettu teho (watti, P). Pätöteho on varsinainen työtä tekevä (esimerkiksi vastuskuormassa lämmöksi muuttuva) teho. Vastapuolena pätösähkölle on loissähkö, sekä pätöteholle loisteho (vari, Q), joka ei ole työtä tekevää tehoa, vaan se värähtelee edestakaisin kuorman ja siirtoverkon välillä. (Kallio & Mäkinen, 2004, 17–18.)

# 1 JOHDANTO

Rakennuksista koituu noin 40 % koko Suomen primäärienergiankulutuksesta (Motiva 2020). Ihmisten määrä maapallolla kasvaa jatkuvasti, eikä energiaa voida kuluttaa samalla huolettomuudella kuin aiemmin. Tästä huolimatta energiankulutuksen seuranta ja sen tarkempi hyödyntäminen ovat suuressa osassa rakennuskantaa hyvin puutteelliset tai seurantaa ei ole ollenkaan. Kun EU-direktiivit ja Suomen oma lainsäädäntö kiristyvät jatkuvaa tahtia pyrkiessään Pariisin ilmastopimuksen mukaisia tavoitteita kohti, ei tämänkaltaiselle toiminnalle ole tilaa enää montaa vuotta. Myös alati kasvava tietoisuus energia- ja ympäristöasioissa luo painetta yritysten imagoille.

Kehittyneen ja luotettavan energiankulutusseurannan käyttöönottoaminen olisi niin taloudellisesti kuin myös imagollisestikin kannattavaa, niin kiinteistönhoidosta vastaavalle organisaatiolle kuin myös asiakkaille. Hyödyntämällä tehokkaasti kiinteistöjen energiankulutustietoja pystyisi kiinteistönhuollosta vastaava yritys tuottamaan asiakkaalleen suurempaa hyötyä taloudellisempien ja vastuullisten päätösten tueksi. Asiakkaat saisivat todenmukaisempaa tietoa kiinteistöjensä energiankulutuksesta ja toimivia kehitysideoita energiatehokkuutensa parantamiseksi. Tämä toisi taas asiakkaille merkittäviä säästöjä pienempien sähkö- ja lämmityskustannuksien muodossa (Uusiolämpöseminaari 2019). Tämän työn toimeksiantajayritys on vastuussa asiakkaidensa kiinteistöjen huollosta ja kunnossapidosta. Opinnäytetyössä tarkastellaan kuuden toimistorakennuksen kiinteistökompleksia, sekä niiden lämpöenergian-, kaukolämpöveden-, pätösähkön- sekä käyttövedenkulutuksia. Nämä kiinteistöt kattavat yhdessä 136 000 neliömetriä vuokrattavaa toimitilaa. Rakennuksien kulutuslukemat kirjataan kuukausittain johtamisen ja ylläpidon järjestelmään. Tässä opinnäytetyössä pyritään kyseistä dataa tarkastelemalla tutkimaan sen luotettavuutta, jotta kulutusseurantaa voitaisiin tarvittaessa kehittää. Työn tavoitteena ei kuitenkaan ole löytää syitä mahdollisille virheille, vaan työ painottuu kulutusseurannan analysoinnin menetelmiin sekä kulutusseurannan luotettavuuden määrittämiseen.

Työ on jaoteltu neljään osaan, jotka erillisinä osa-alueinaan muodostavat oleellisen ytimen data-analytiikan käytöstä energiankulutusseurannan analysoinnissa. Nämä osat ovat lainsäädäntö, kulutusseuranta, data-analytiikka sekä itse tutkittu data. Luvussa kaksi kuvataan työn kannalta oleellimmat energiatehokkuuslait ja määräykset, sillä



juuri ne asettavat rajat energiankulutusten seurannalle. Luku kolme käsittelee kulutus-seurannan periaatteita ja data-analytiikan teoriaa, joiden pohjalta työn dataa lähdetään tutkimaan. Luvussa esitellään data-analytiikan menetelmiä sekä käyttökohteita, joiden avulla voidaan tutkia kerättyä dataa ja tehdä siitä päätelmiä, jotka auttavat suuren kokonaisuuden hahmottamisessa. Luvussa neljä tutkitaan kerättyä dataa työssä seurattujen kiinteistöjen lämmön-, kaukolämpöveden-, pätösähkön- sekä käyttövedenkulutuksista luvussa kolme mainittuja menetelmiä hyväksikäyttäen. Luku viisi sisältää yhteenvedon ja loppupäätelmät tutkitusta datasta ja tutkimusmenetelmistä.

## 2 ENERGIA TEHOKKUUSLAI JA MÄÄRÄYKSET

### 2.1 Suomen energiatehokkuuslaki 1429/2014

Suomessa suunnitelmallisen kiinteistönpidon edistämällä sekä energiatehokkuudesta korjausrakentamisen yhteydessä säädetyillä laeilla tavoitellaan noin 25 % säästöä rakennusten energiankulutuksessa ja noin 45 % säästöä hiilidioksidipäästöissä vuoteen 2050 mennessä. (Pyly 2014, 11.)

Energiatehokkuuslakia 1429/2014 sovelletaan:

1) Sähköä, kaukolämpöä, kaukojäähdytystä tai polttoainetta myyviin tai jakeleviin yrityksiin

\*2) suurissa yrityksissä tehtäviin energiakatselmuksiin sekä suuren yrityksen energiakatselmuksen vastuuhenkilöihin

3) sähkön lauhdetuotantolaitoksiin, kaukolämpö- ja kylmäverkkoihin sekä teollisuuslaitoksiin, joissa on mahdollista syntyä käyttökelpoista ylijäämälämpöä. (Energiatehokkuuslaki 1429/2014.)

\*Suurella yrityksellä tarkoitetaan yrityksiä ja konserneja, joiden työntekijämäärä on yli 250 henkilöä, tai liikevaihto ylittää 50 Milj.€ tai tase 43 Milj.€ (Energiavirasto 2020). Toimeksiantajan asiakkaan tarkasteltava kiinteistökompleksi asiakkaineen täyttää kohdassa 2) kuvatun määritelmän, joten tällöin kiinteistöjen suunnittelussa tulee energiatehokkuuslain 1429/2014 säädökset ottaa huomioon.

#### 2.1.1 Energiatehokkuuslaki 1429/2014 2 luku 6 §;

Suuren yrityksen pakollinen energiakatselmus tulee tehdä vähintään neljän vuoden välein, eikä siihen sisällytettävä kohdekatselmus saa olla neljää vuotta vanhempi. Yrityksen energiakatselmukseen on aina sisällytettävä vähintään yksi kohdekatselmus, edellyttäen että yrityksellä on energiankäyttökohde, johon on tarkoituksenmukaista sekä taloudellisesti perusteltua tehdä energiakatselmus. (Energiatehokkuuslaki 1429/2014.)

### 2.1.2 Energiatehokkuuslaki 1429/2014 2 luku 8 §;

Yrityksen energiakatselmuksen vähimmäisvaatimukset:

- Laissa säädetään, että yritysten energiakatselmuksia tulee tehdä koko yritykselle, sekä katselmuksen tulee kattaa kaikki konsernin osa-alueet, kuten kiinteistöt, teollinen- sekä kaupallinen toiminta, logistiikka ja kaikkien edellä mainittujen toiminnallinen rakenne, josta niiden energiankulutus muodostuu.
- Energiakatselmuksen on oltava tarpeeksi kattava, jotta sen perusteella voidaan muodostaa luotettava kokonaiskuva yrityksen kokonaisenergiatehokkuudesta. Energiakatselmuksen täytyy myös sisältää vähintään yksi kohdekatselmus, kuten yhdestä sen kiinteistöistä. Energiakatselmukseen tulee sisällyttää kohdekatselmuksen löydökset ja energiatehokkuutta parantavat toimet, jotka ovat merkittäviä energiatehokkuuden ja energiankulutuksen kannalta. Kohdekatselmusta ei kuitenkaan tarvitse tehdä, mikäli yrityksellä ei ole yhtään energiankäyttökohdetta, jossa kohdekatselmuksen tekeminen olisi taloudellisesti perusteltua, tai se ei muuten olisi tarkoituksenmukaista. Tällainen tilanne voisi olla esimerkiksi verkkokauppa, jossa yrityksellä ei olisi yhtään merkittävää energiankäyttökohdetta suhteutettuna muun toiminnan laajuuteen.
- Energiakatselmuksen tulee sisältää suunnitelma myös seuraavan energiakatselmuksen kohdekatselmuksista sekä niiden ajankohdista.
- Työn kannalta tärkeimpänä seikkana laissa mainitaan, että katselmuksissa on käytettävä luotettavia, ajan tasalla olevia energiankulutustietoja, jotka ovat myös jäljitettävissä, sillä niiden on oltava käytettävissä kulutusseurannan analyysiä varten. (Energiatehokkuuslaki 1429/2014.)

### 2.1.3 Energiatehokkuuslaki 1429/2014 2 luku 9 §;

Kohdekatselmuksen vähimmäisvaatimukset:

- Kohdekatselmuksia on tehtävä mahdollisuuksien mukaan yrityksen erilaisiin energiankäyttökohteisiin, keskittyen kuitenkin niihin kohteisiin, joissa energiankulutus on korkein, sekä niihin kohteisiin, joissa energiatehokkuudessa on eniten parannettavaa.
- Jos tietylle kohteelle on tehty kohdekatselmus neljän edeltävän vuoden aikana, tulee ensisijaisesti tehdä kohdekatselmuksia yrityksen muihin kohteisiin.
- Kohdekatselmuksissa on yksilöitävä ehdotetut energiansäästötoimet ja mahdollistettava yksityiskohtaisten ja todennettujen laskelmien tekeminen ehdotetuille toimille. Säästöjen laskemisen perusteena on mahdollisuuksien mukaan ensisijaisesti käytettävä elinkaarikustannusten analyysiä, jotta voidaan ottaa huomioon pitkän tähtäimen säästöt. (Energiatehokkuuslaki 1429/2014.)

## 2.2 Kansainväliset direktiivit ja tavoitteet

### 2.2.1 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2012/27/EU 8 artiklassa ”*Energiakatselmukset ja energianhallintajärjestelmät*” säädetään, että jäsenvaltioiden tulee edistää lopputuotteen mahdollisuuksia laadukkaisiin ja kustannustehokkaisiin energiakatselmuksiin. Tämän lisäksi energiakatselmukset tulee teettää valtuutetuilla pätevyysvaatimukset täyttävillä asiantuntijoilla, tai riippumattomilla viranomaisilla. Mikäli jäsenvaltio on ottanut käyttöön järjestelmän, jolla energiakatselmusten laatu varmistetaan ja tarkistetaan, voivat energiakatselmuksia toteuttaa myös yritysten omat asiantuntijat tai energiakatselmoijat. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU.)

### 2.2.2 Euroopan unionin energiadirektiivin tavoitteet vuodelle 2030

Tärkeimpinä tavoitteina mainitaan, että 40 % kasvihuonekaasupäästöistä saataisiin leikattua vuoden 1990 tasoihin verrattuna, jonka lisäksi uusiutuvien energiamuotojen osuus saataisiin nostettua vähintään 32 prosenttiin. Energiatehokkuuden odotetaan parantuvan vähintään 32,5 prosentin verran. (Euroopan unioni 2021.)

Tämän lisäksi EU:n energiadirektiivissä säädetään, että rakennusten tulisi vähentää kokonaisenergiankulutustaan 20 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Kansallisten viranomaisten on tätä varten laadittava energiatehokkuutta koskevat vähimmäisvaatimukset, jotka on Suomen tapauksessa määritelty tämän työn luvuissa 2.1.3 ja 2.1.4. Nämä vähimmäisvaatimukset on myös tarkistettava vähintään viiden vuoden välein ja niiden on katettava rakennuksen lämmitys, veden lämmitykseen kuluva energia sekä ilmastointijärjestelmät. Kun jo olemassa oleviin rakennuksiin tehdään saneerauksia, tulee niiden energiatehokkuus päivittää vastaamaan EU:n vaatimuksia. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU.)

### 3 DATA-ANALYTIikka

Kiinteistöjen energiankulutuksen ja käyttöveden seuranta on oleellinen osa kiinteistöjen ylläpitoa tavoitteellisen energiankäytön hallinnan kannalta. Jotta voitaisiin tuntea kiinteistön oikea kulutustaso ja havaita ajoissa kulutuksen muutokset ja niiden syyt, on jatkuva reaaliaikainen seuranta välttämätöntä. Kulutusseurannassa lämpöenergian kulutus on pakollinen tieto myös kiinteistöjen energiakatselmusta ja energiatodistusta varten, joten sen seuranta ja datan paikkansapitävyys ovat oleellisen tärkeitä ja mahdollisiin epäkohtiin tulee puuttua. Kulutusdatan analysointia olisi syytä tehdä myös mahdollisten laitevikojen ja epäsuotuisien kulutustrendien havaitsemiseksi.

Data-analyysillä tarkoitetaan prosessia olemassa olevan datan tarkastamiseksi, puhdistamiseksi, muuntamiseksi ja mallintamiseksi. Yleisesti sen tavoitteena on löytää hyödyllistä tietoa ja tukea päätöksentekoa varten. Data-analyysillä on useita puolia ja siihen on useita lähestymistapoja, jotka sisältävät erilaisia tekniikoita. Sitä käytetään paljon varsinkin liike-elämän, tieteen ja yhteiskuntatieteiden aloilla. Nykyisissä yrityksissä tietojen analysoinnilla on suurta merkitystä päätöksenteossa ja tehokkaampien menetelmien luomisessa. (Xia & Gong 2015, 300–311.)

Data-analyttinen prosessi voidaan jakaa kuuteen vaiheeseen, jotka ovat:

1. **Tiedonkeruu:** Tietojen kerääminen riippuu ennakoedellytyksistä. Kerätty data on valmisteltava ja jaoteltava analysointia varten. Nykyisin dataa saadaan siirrettyä usein helposti järjestelmien välillä. Varsinkin eri mittareiden mittaamat tulokset saadaan useimmiten valmiiksi luettavassa muodossa, sillä mittalaitteet koodaavat mitatun datan jollain tapaa binääriluvuiksi. (Karttunen 2001, 25–26.)
2. **Datan puhdistus:** Kerätyt tiedot voivat sisältää kopioituneita merkintöjä, kohinaa, mitätöityjä arvoja taikka virheitä. Tiedot on puhdistettava ja tehtävä virheettömiksi, jotta ne ovat valideja analysoinnin kohteita. Virheisiin perehdytään tarkemmin luvussa 3.1.
3. **Asiakkaan tarpeet:** Ensinnäkin on löydettävä motivaatio analyysin takana. On tärkeää pohtia, minkälaista hyötyä tiedoista halutaan saada. Tavoitteet tiedostaen voidaan alkaa analysoida tietoja tapaukseen soveltuvilla menetelmillä.

4. **Tietojen analysointi:** Kun tiedot on kerätty, puhdistettu ja käsitelty, ovat ne valmiit analyysiä varten. Tässä yhteydessä todetaan myös datan riittävyys. Saatamme myös huomata joutuvamme keräämään lisätietoja jo kerätyn datan tueksi, mikäli olemassa olevasta datasta ei saada kasattua riittävän suurta otosta tai se vaatii tarkastelua esimerkiksi pidemmältä aikaväliltä.
5. **Tietojen tulkinta:** Analysoinnin jälkeen on aika tulkita tuloksia. Tietojen välittämistä varten muille osapuolille täytyy valita paras lähestymistapa ilmaista ja jakaa kerättyä informaatiota. Visualisointi on tärkeää, jotta dataa olisi helppo lukea ja esittää.
6. **Tietojen visualisointi:** Kun on saatu tulkittua tulokset, täytyy ne esittää myös asiakkaalle. Tällaisia vaihtoehtoja voivat olla esimerkiksi sanallisesti, taulukkona tai kaaviona esitetty tulos. Yleisimmin data esitetään kaavioina ja taulukkoina, sillä graafinen esitysmuoto on ihmisaivoille helpompaa ymmärtää ja prosessoida. (Pitanatri, Hamidi, Christianty, Lydia, & Shankar 2019, 117–118.)

### 3.1 Virhearvot

Mittaukseen perustuvassa datassa esiintyy erilaisia virheitä, joita voi syntyä useasta erisyystä. Tällaisia syitä voivat olla esimerkiksi:

1. Mittarin lukeman pyöristyminen. Mahdollisesti käytetty mittari kykenee mittaamaan vain asteen tarkkuudella, vaikka todellinen arvo voisikin saada minkä tahansa reaaliluvun.
2. Mittari on viallinen.
3. Mittari on asennettu tai sijoitettu väärin.
4. Mitattavat arvot kohoavat niin korkeiksi, ettei mittarin asteikko riitä.
5. Mittaria luetaan väärin.
6. Mittarin datan siirrossa käytettyyn palvelimeen tapahtuu virheitä. Mikäli mitattava data luetaan fyysisesti paikan päällä ja kirjataan käsin järjestelmään, voi tapahtua kirjoitusvirheitä taikka väärinymmärryksiä datan kirjaamismuodon suhteen (Wh, kWh, MWh...). (Karttunen 2001, 15.)

Itse datasta satunnaisia virheitä voi olla vaikea havaita, jonka takia ne on havaittava jollain muulla tapaa. Datasta voi havaita myös yksittäisiä huomattavan poikkeuksellisia arvoja, jotka ovat ilmeisiä silmin havaittavia virheitä. Tällaisia poikkeamia kutsutaan *outliers*-arvoiksi. Mikäli tällaisia arvoja on vain muutama, ne voidaan poistaa aineistosta, sillä edellytyksellä, että on jokin kriteeri sille, millaiset arvopisteet poistetaan. Todellisia arvoja ei kuitenkaan saa poistaa tai muokata. Kriteerinä arvon poistamiselle voidaan käyttää esimerkiksi aineistoon sovitettua funktiota ja sopia, että poistetaan sellaiset pisteet, joiden poikkeama funktion kuvaamassa arvossa on suurempi kuin 300 % keskihajonnasta. Kun vialliset arvot on poistettu, tehdään funktion sovitus uudelleen käyttämällä puhdistettua aineistoa. Mikäli poistettavia arvoja on kuitenkin hyvin paljon, on tarpeen selvittää niiden syy ja aineiston käyttökelpoisuus. (Karttunen 2001, 39.)

### 3.2 Korrelaatio ja kovarianssi

Korrelaatiota sekä kovarianssia käytetään useampiulotteisten jakaumien analysoinnissa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kun samasta oliosta on useita erilaisia havaintoja, voidaan korrelaation ja kovarianssin avulla voidaan tutkia näiden havaintojen välisiä riippuvuuksia. Jos kahden muuttujan välillä on havaittavissa voimakas riippuvuus, puhutaan korrelaatiosta näiden arvojen välillä. Tällöin voidaan toisen arvon avulla ennustaa toisen muuttujan arvoja. Kyse on kuitenkin vain tilastollisesta korrelaatiosta, jonka ei tarvitse merkitä, että tutkittavat arvot olisivat syy-seuraussuhteessa keskenään. Kovarianssia kutsutaan myös arvojen yhteisvaihteluksi, ja se kuvaa riippuvuutta muuttujien välissä keskiarvojen poikkeamissa. (Karttunen 2001, 72.)

Kaava 1. Kovarianssi (Karttunen 2001).

$$\text{cov}(X, Y) = E[(X - EX)(Y - EY)]$$

Kovarianssin arvoon vaikuttavat myös satunnaismuuttujien keskihajonnat. Tuloksesta voidaan kuitenkin tarvittaessa puhdistaa keskihajontojen vaikutukset suhteuttamalla kovarianssi muuttujien sisäiseen vaihteluun kaavan 2 mukaisesti, jolloin saadaan korrelaatiokerroin  $R$ . Korrelaatiokerroimen arvo vaihtelee välillä  $-1 \dots +1$ . Mitä lähempänä kerroin



on nollaa, sitä vähemmän muuttujien välillä on lineaarista riippuvuutta. Vastaavasti arvoilla (+/-) 1 on olioiden välillä täydellinen positiivinen (+1) tai negatiivinen (-1) lineaarinen riippuvuus. (Karttunen 2001, 115–116.)

Kaava 2. Korrelaatiokerroin (Karttunen 2001).

$$R(X, Y) = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{cov(X, Y)}{\sqrt{cov(X, X) cov(Y, Y)}}$$

Esimerkissä (Taulukko 1) on vertailuryhmä, jonka korrelaatiota verrataan kolmeen eri sarjaan. Sarja1:n korrelaatiokerroin on 1, joten se korreloi täysin (positiivinen korrelaatio) vertailuryhmän kanssa. Samoin Sarja2 korreloi täysin vertailuryhmän kanssa (negatiivinen korrelaatio). Sarja3:n korrelaatiokerroin taas on hyvin lähellä nollaa, joten voidaan todeta, että se ei korreloi vertailuryhmän kanssa.

Taulukko 1. Esimerkki korrelaatiokertoimista.

Vertailuryhmä	Sarja1	Sarja2	Sarja3
1	1	-1	7
2	2	-2	26
3	3	-3	8
4	4	-4	1
5	5	-5	11
6	6	-6	74
7	7	-7	-2
8	8	-8	30
9	9	-9	42
10	10	-10	1
<b>R</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>0,17053</b>

Kun datasta pyritään löytämään epäjohdonmukaisuuksia, ovat kovarianssi ja korrelaatio hyödyllisiä mittoja. Mitä vähemmän samaa suuretta mittaavat mittarit korreloivat keskenään, sitä enemmän on syytä olettaa vähintään toisen niistä antavan vääristyneitä tuloksia.

### 3.3 Keskiarvo ja keskihajonta

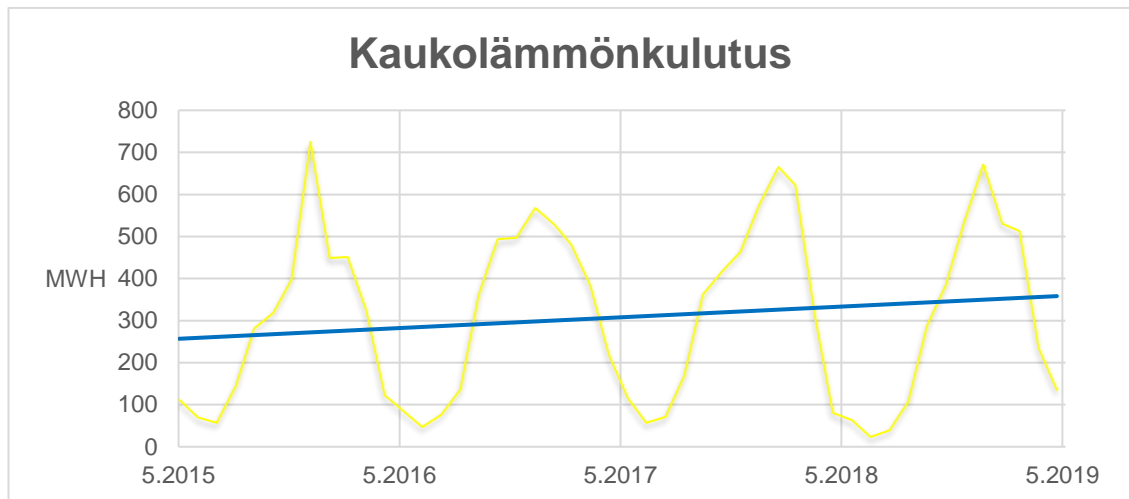
Keskiarvo ja keskihajonta ovat hyödyllisiä arvoja, jotka kuvaava tutkittavan arvojoukon käyttäytymistä. Keskiarvo (myös aritmeettinen keskiarvo) kuvaa nimensä mukaisesti tarkasteltavan aineiston keskimääräistä arvoa. Keskiarvo saadaan jakamalla kaikkien arvojen summa niiden lukumäärällä. Keskiarvoa voidaan käyttää kuvaamaan suhdelujen ja välimatka-asteikoiden, kuten indeksien ja ajan jakaumia. Keskihajonta taas antaa kuvan siitä, kuinka keskittynyt tarkasteltava arvojoukko on. Toisin sanoen se kertoo havaintoarvojen keskimääräisen etäisyyden niiden keskiarvoon nähden. Mitä suurempi keskihajonta on, sitä laajemmin arvot ovat hajautuneet toisiinsa nähden. (Tilastokeskus 2021.)

### 3.4 Aikasarja ja trendi

Tilastotieteissä aikasarjalla (Kuvio 1) tarkoitetaan useimmiten tasavälistä peräkkäisten havaintojen sarjaa, joiden aikaväli on sama. Aikasarjaan tarvittavan aineiston käsittelyn vaiheita ovat mm. havaintojen tasoittaminen ja suodattaminen, trendien poistaminen, sekä jaksollisten vaihteluiden, kuten vuosittainen kausivaihtelu, suodattaminen. Jaksotonta, usein monotonista kasvua tai vähenemistä, kutsutaan trendiksi (Kuva 2). Sen ohella voi kuitenkin esiintyä myös jaksollistakin vaihtelua. Trendiä kuvataan usein suoralla, korkeamman asteen polynomilla tai eksponenttifunktiolla. (Karttunen 2001, 113–116.)

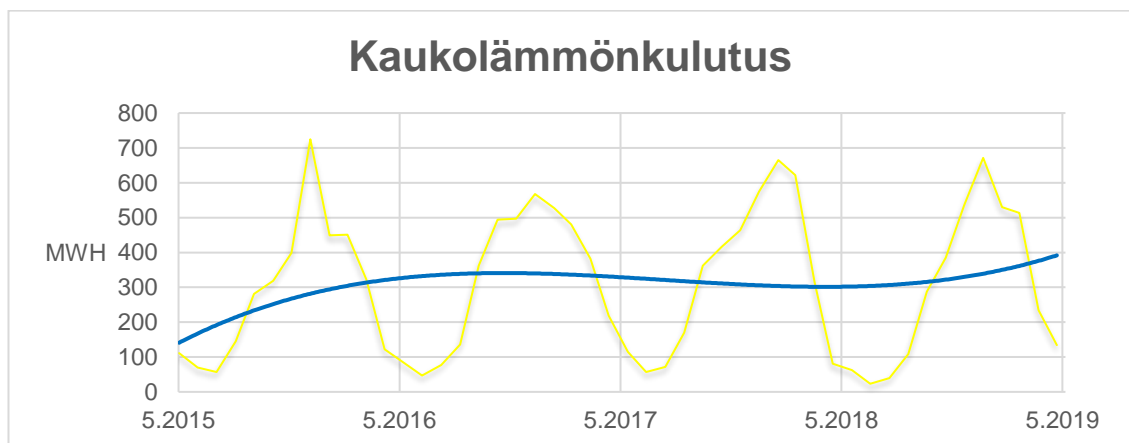
Trendiviivat ovat yksiä tärkeimmistä työkaluista, joita teknisen alan analyytikot käyttävät (Chen 2021). Trendiviiva auttaa teknisiä analyytikkoja määrittämään tarkasteltavan suureen nykyisen suunnan ja ne voivat myös ennustaa tulevia arvoja nykyisten tulosten perusteella. Trendistä merkittävästi poikkeavat arvot on helppo havaita, joten trendiviiva on käytännöllinen työkalu myös virhearvojen etsimisessä.

Lineaarinen trendiviiva (Kuvio1) on suora, jota käytetään lineaaristen tietojoukkojen kanssa eli tapauksessa, jossa arvo pisteiden kaava muistuttaa viivaa (Taylor-Jackson 2019). Lineaarinen trendiviiva osoittaa yleensä tutkittavan suureen muuttuvan tasaisella nopeudella.



Kuvio 1. Lineaarinen trendiviiva (sinisenä).

Polynominen trendiviiva (Kuvio 2) on kaareva viiva, jota käytetään vaihteleviin tietoihin. Mikäli käytetyt arvot edustavat jonkin funktion arvoja hyvällä tarkkuudella, voidaan määrittää funktio, jonka kuvaaja kulkee tarkalleen annettujen pisteiden kautta eli toisin sanoen tehdään interpolaatio. Mikäli taas mittaukset ovat epäluotettavia, voidaan trendi luoda pienimmän neliösumman approksimaatiolla eli luoda trendi esittämään arvojen yleistä suuntaa. Kun dataa on runsaasti, sovitusta tehdään alhaisen asteen polynomilla. Pienimmän neliösumman suora luodaan käyttämällä yhden asteen polynomifunktiota. Polynomisen suuntaviivan asteluku määritetään arvojen vaihtelun määrän tai käyrässä esiintyvien suunnanmuutosten määrän perusteella. (Aalto yliopisto 2014.)

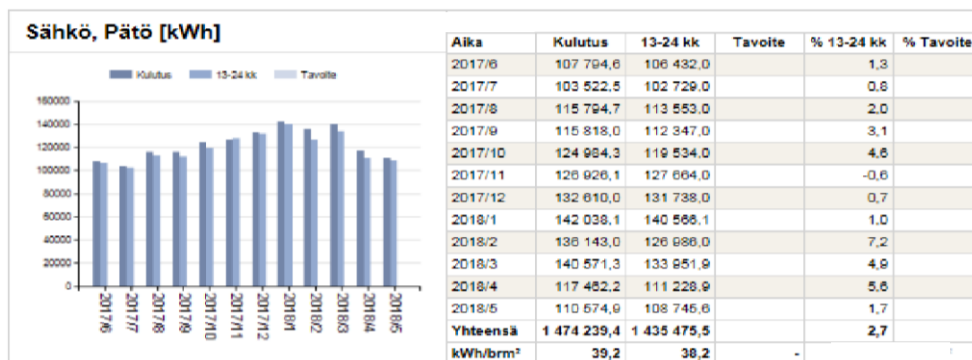


Kuvio 2. Polynominen trendiviiva (sinisenä).

## 4 KULUTUSDATA JA TUTKIMUSMENETELMÄT

### 4.1 Kulutusseurannan menetelmät työn tapauksessa

Toimeksiantajan asiakkaan kiinteistöissä seurataan lämmön (kaukolämpö), kaukolämpöveden, käyttöveden sekä pätösähkön kulutuksia. Näistä vedenkulutusta seurataan Fiksuvesi -nimisellä järjestelmällä sekä -etäseurantapalvelulla, jossa päävesimittaria seurataan reaaliajassa ja data siirretään suoraan toimeksiantajan palvelimelle. Fiksuvesi-järjestelmä analysoi vedenkulutuksen muutoksia ja tekee poikkeuslukemista tarvittavat hälytykset (Envera 2020). Tällaisen etävalvottavan mittarin avulla on mahdollista reagoida mahdollisiin vikatilanteisiin huomattavasti nopeammin kuin jo vanhentuvilla paikan päällä luettavilla mittareilla (Turku Energia 2020). Kaukolämpöä, kaukolämpövedettä ja sähkönkulutusta seurataan Turku Energian omilla järjestelmillä. Kulutustiedot tallennetaan kuukausittaisina raportteina toimeksiantajan pilvipohjaiseen järjestelmään, josta niitä voi tarkastella halutulta aikaväliltä (Kuva 1).



Kuva 1. Toimeksiantajan sähkönkulutustiedot (Toimeksiantaja 2019).

Työn data-analyysi on tehty luvussa 3 mainituilla data-analytiikan vaiheilla ja menetelmillä. Datana on käytetty toimeksiantajayrityksen asiakkaan kuuden kiinteistön kulutustietoja neljän vuoden ajalta, aikaväliltä 6/2015–5/2019. Graafien vuosittain esitetyt tulokset sisältävätkin kulutukset edellisen vuoden kesäkuusta mainitun vuoden toukokuuhun asti (esim. vuoden 2016 kulutus sisältää kulutukset aikaväliltä 6/2015–5/2016). Selvempää olisi käyttää yleisesti käytettyä vuosittaista jaksoa saman vuoden tammikuun ja joulukuun väliseltä ajalta, mutta työssä käytetty menetelmä on valittu siitä syystä, että kulu-

tustietojen tutkiminen ja datan kerääminen on aloitettu toimeksiantajan pyynnöstä keuhalla 2019, jolloin halusin esittää heille ajankohtaiset kulutustrendit aina sen hetkiseen tilanteeseen asti. Neljä vuotta on valikoitunut otoksen laajuudeksi sillä perusteella, että kuukausittaisia arvoja tutkiessa saadaan kyseiseltä neljän vuoden ajalta kuuden kiinteistön kesken jo kattava otos vertailuarvoja. Tämän lisäksi mahdolliset aiempien vuosien virhetulokset eivät välttämättä enää vaikuta nykyiseen tilanteeseen, mikäli ei nykyisissä arvoissa havaita jaksoittain toistuvia virheitä yhä uudelleen ja uudelleen kiinteistön sisällä. Edellä mainitussa tapauksessa nykyinen otos ei olisi riittävä, vaan luvussa 3 esitetyn data-analyysin vaiheiden (vaihe 4) mukaisesti olisi kerättävä lisää dataa. Kiinteistöt pysyvät toimeksiantajan ja heidän asiakkaansa pyynnöstä salaisina, joten ne ovat tässä työssä numeroituna; Kiinteistö 1, Kiinteistö 2, Kiinteistö 3, Kiinteistö 4, Kiinteistö 5 ja Kiinteistö 6.

Data on kerätty pääsääntöisesti toimeksiantajan pilvipohjaiseen järjestelmään syötetyistä raporteista ja sinne kirjatusta kulutusdatasta, mutta kaukolämpöön liittyviin epäjohdonmukaisuuksiin luvussa 4.3 olen etsinyt selvitystä myös Turku Energian kulutustiedoista ja teoreettisella laskennalla. Kaukolämmönkulutuksia onkin tästä syystä helpompi analysoida, sillä niistä on saatu kerättyä useampia vertailuarvoja. Vedenkulutuksen ja sähkönkulutuksen osalta luotettavuuden analysointi on kuitenkin haastavaa, sillä on hyvin vaikea tehdä päätelmiä siitä pitääkö tulokset paikkaansa, jos niillä ei ole vertailukohtia. Kun keskenään vertailtavia dataa samalta ajalta on kaksi tai useampi, voidaan tarkastella arvojen välisiä korrelaatiokertoimia ja kovarianssia, joista on helppo nähdä, mikäli kahden tai useamman järjestelmän arvoissa on eroavaisuuksia samalla aikafunktiolla. Korrelaatiokerroin kertoo kovarianssin tavoin satunnaismuuttujien riippuvuuksista keskenään, mutta on puhdistettu keskihajonnoista. Tästä syystä olen tutkinut lämmönkulutuksen analysoinnissa korrelaatiota, sillä keskihajonta kertoisi satunnaisten muuttujien poikkeamasta keskiarvosta ja tarkoitus on vertailla yksittäisiä tuloksia keskenään toimeksiantajan ja Turku Energian datan välillä.

Datan analysoimiseksi on kunkin kiinteistön kuukausittaiset kulutukset ensin muotoiltu Excel-taulukkoiksi (Taulukko 2). Tämän jälkeen on kunkin kulutusmuodon kanssa edetty tapauskohtaisesti, sillä ne kaikki käyttäytyvät toisistaan poikkeavasti mm. ulkolämpötilan, vuodenajan, kellonajan, datan monipuolisuuden ja seurantamenetelmien suhteen. Excel valikoitui työssä käytetyksi analysointiohjelmaksi, sillä se on kattava työkalu datan yhteen keräämiseen kuin myös sen analysoimiseen. Siinä on useita valmiita kaavoja ja

laskentakoodoja tilastomatemaattisiin tarpeisiin, minkä lisäksi tulokset on helppo esittää tilanteeseen sopivina kaavioina, graafeina tai taulukoina. Datan analysoinnissa on keskitytty käyttämään silmämääräistä havainnointia, korrelaatiota, keskihajontaa, teoreettista arvojen sovitusta ja trendien tarkastelua.

Taulukko 2. Toimeksiantajan järjestelmästä kerätyt lämpöenergiankulutustiedot jaksolta 6/2015–5/2016.

Lämpö (MWh)	Kiinteistö 1	Kiinteistö 2	Kiinteistö 3	Kiinteistö 4	Kiinteistö 5	Kiinteistö 6
<b>kesä.15</b>	395,1	137,4	57,8	110,2	74,4	299,2
<b>heinä.15</b>	250,8	67,6	14,9	72,1	32,4	201,5
<b>elo.15</b>	236,5	15,4	18,1	58,6	22,8	352,2
<b>syys.15</b>	468,4	154,0	86,2	148,9	70,7	338,4
<b>loka.15</b>	1 086,2	352,1	160,1	281,0	232,2	392,0
<b>marras.15</b>	1 236,0	342,9	234,8	314,6	241,3	367,0
<b>joulu.15</b>	1 426,3	448,0	283,3	393,4	298,9	300,8
<b>tammi.16</b>	2 572,8	881,3	484,5	694,7	529,3	324,5
<b>helmi.16</b>	1 559,8	574,7	326,1	488,5	349,6	371,0
<b>maalis.16</b>	1 521,2	516,9	343,1	437,7	339,2	366,0
<b>huhti.16</b>	560,2	381,1	149,3	309,1	228,9	328,1
<b>touko.16</b>	194,5	130,0	38,4	122,1	62,7	379,9
<b>kesä.16</b>	139,5	69,8	24,8	83,5	32,8	19,2
<b>heinä.16</b>	86,1	42,8	12,8	46,9	20,8	14,1
<b>elo.16</b>	108,1	59,2	21,6	76,9	30,2	24,5

#### 4.2 Lämmitysenergian normeeraus eli sääkorjaus

Työssä tutkitaan kaukolämpöenergiankulutuksen raakadataa. Mikäli tarkasteltaisiin kiinteistöjen välisiä lämmönkulutuksia ja niiden suhteita tai saman kiinteistön eri vuosien kulutuksia, olisi myös syytä laskea ja tarkastella normeerattua lämmönkulutusta. Raaka data antaa tarkemman kuvan itse kulutuksesta datana, mutta normeerattu lämmönkulutus taas on käyttökelpoisempaa vertailukausien kesken tehdyssä analysoinnissa, sillä tällöin saadaan kausittaiset lämpötilavaihtelut suljettua ulos. Lämmitykseen kuluva energia vaihtelee merkittävästi ulkolämpötilojen mukaan, eikä energiankulutuksia voida näin ollen aina verrata keskenään ottamatta huomioon paikallisia taikka ajallisia sääolosuhteita. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2020.)

Työn tavoitteena on käyttää data-analyysia datan paikkansapitävyyden selvittämiseksi, sekä datan puhdistamiseksi niin, että se olisi valmis mahdollisen kulutuskäyttötymisen analysointia varten. Työssä myös tutkitaan kaukolämpöveden ja sen jäähtymän arvoja, joiden perusteella saadaan laskettua teoreettisia toteutuneita lämmönkulutuksia. Tämän takia normeeraamaton lämpö ei valikoitunut osaksi tämän työn analyysia, sillä se ei toisi työn tavoitteita ajatellen lisähyötyä. Normeeraukseen kuitenkin perehdytään seuraavaksi hieman tarkemmin siltä varalta, että työn tuloksia ja puhdistettuja lämmönkulutuksia halutaan jatkossa tarkastella tarkemmin.

Normitus koskee vain rakennuksen lämmittämiseen kuluva energiaa, jonka lisäksi käyttöveden lämmittämiseen vaadittu energia on riippumaton kausittaisista ulkolämpötilojen vaihteluista. Tästä syystä tulee käyttöveden lämmittämiseen vaadittu energia ensin poistaa kokonaislämmitysenergiankulutuksesta kaavan 3 mukaisesti. Tämän jälkeen voidaan laskea rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus (Kaava 4). (Motiva 2019.)

Kaava 3. Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kulunut energia (Motiva 2019).

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämmin\ käyttövesi}$$

Kaava 4. Rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen normitus (Motiva 2019).

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} \times Q_{lämmin\ käyttövesi}$$

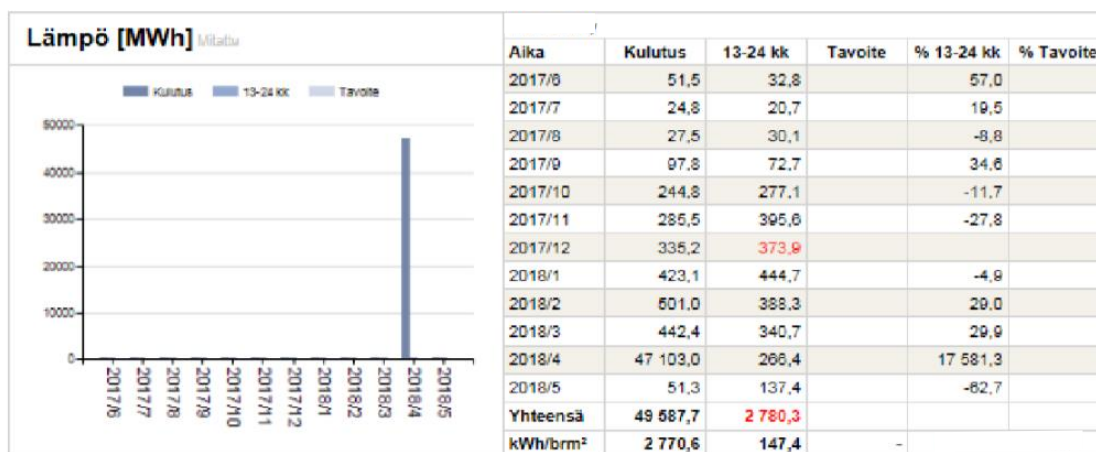
jossa;

$Q_{norm}$	rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmittämiseen kulunut energia
$Q_{kok}$	rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus
$Q_{lämmin\ käyttövesi}$	käyttöveden lämmittämisen vaatima energia
$S_{N\ vpkunta}$	normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku paikkakunnalla
$S_{toteutunut\ vpkunta}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

## 5 ANALYYSI

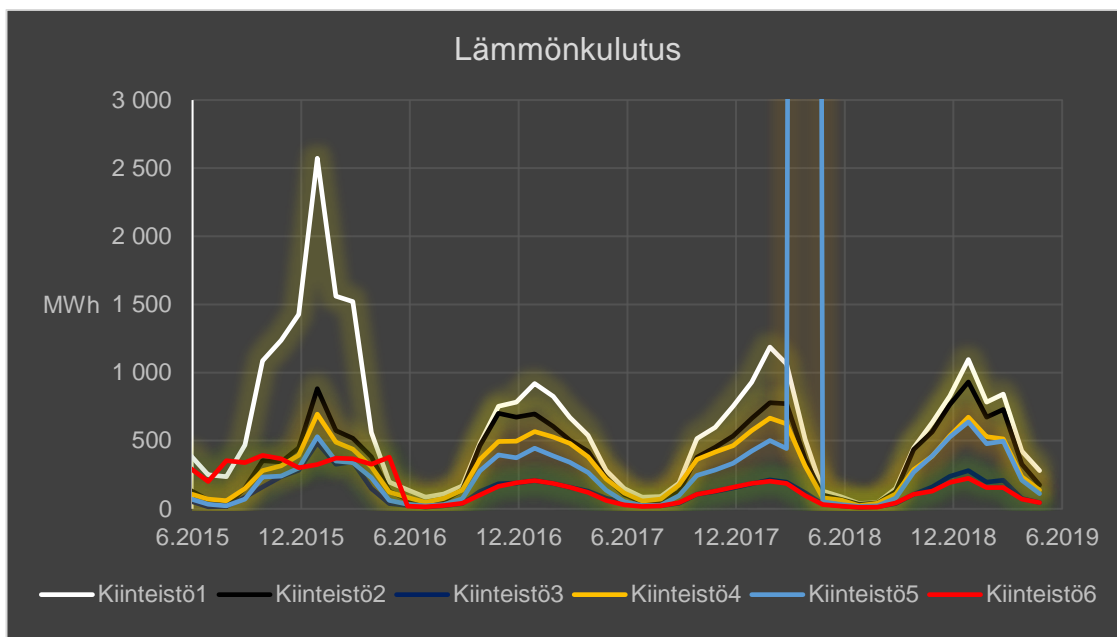
### 5.1 Lämpö

Kaukolämmön kulutusraportteja ja mittadataa tutkittaessa löytyi useita silmämääräisesti havaittavia epätodenmukaisuuksia taikka puuttuvia lukemia. Epätodenmukaisilla lukemilla tarkoitan lukemia, joille ei löydy selitystä toiminnallisista tai laitekohtaisista vioista kyseisenä ajankohtana, mutta jotka kuitenkin poikkeavat muista vastaavista arvoista (keskivertolukema samassa rakennuksessa muina vuosina) niin merkittävästi, ettei kyseistä arvoa voida selittää pelkällä kulutuksen vaihtelulla taikka ulkoisilla tekijöillä. Toimeksiantajan järjestelmästä haetuista kulutustiedoista löytyi hyvin suuri poikkeama Kiinteistö 5:n normeeraamattoman lämmönkulutuksen osalta huhtikuulta 2018 (Kuva 2). Kyseinen kulutustieto on todennäköisesti kirjautunut niin sanotusti pilkkuvirheellisenä, sillä todennäköisempi arvo olisi joko 47,103 MWh tai 471,03 MWh, edellisen vuoden arvon perusteella todennäköisemmin 471,03 MWh. Kyseisessä kiinteistössä ei kyseisenä ajankautana ole ollut mainittavaa lämmitykseen liittyvää vikaa, joka tukisi teoriaa lukeman paikkansapitävyydestä (Toimeksiantaja 2019). Myös Kiinteistö 1:n kohdalla arvot ovat olleet 2015 lokakuun ja 2016 maaliskuun ajan merkittävän korkealla suhteessa sen muihin kuukausiin kuin myös toisiin rakennuksiinkin (Kuvio 3).



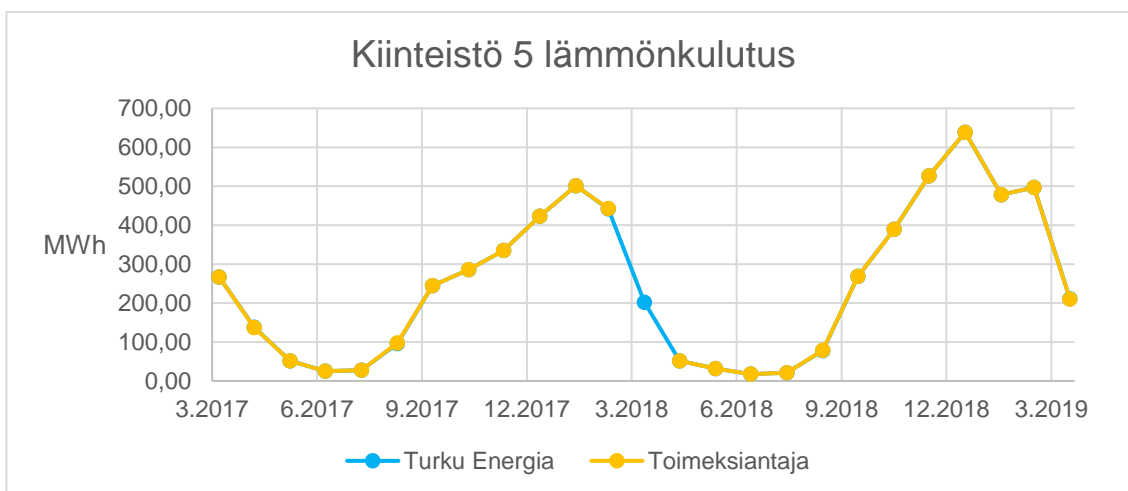
Kuva 2. Kiinteistö 5:n epätodenmukainen lukema normeeraamattomassa lämmönkulutuksessa (Toimeksiantaja 2019).





Kuvio 3. Toimeksiantajan lämmönkulutuksen raakadata tarkastelujaksolla 6/2016–5/2019.

Jotta lämmönkulutusdataa voitaisiin analysoida tarkemmin, täytyy Kiinteistö 5:n huhtikuun 2018 virhearvo ensin suodattaa. Kun luodaan Turku Energian ja toimeksiantajan datasta kulutus pisteiden kautta kulkevat janat ilman toimeksiantajan 2018 huhtikuun virhearvoa (Kuvio 4), voidaan huomata, että kahden datajärjestelmän väliset muut arvot ovat käytännössä täsmälleen samat.

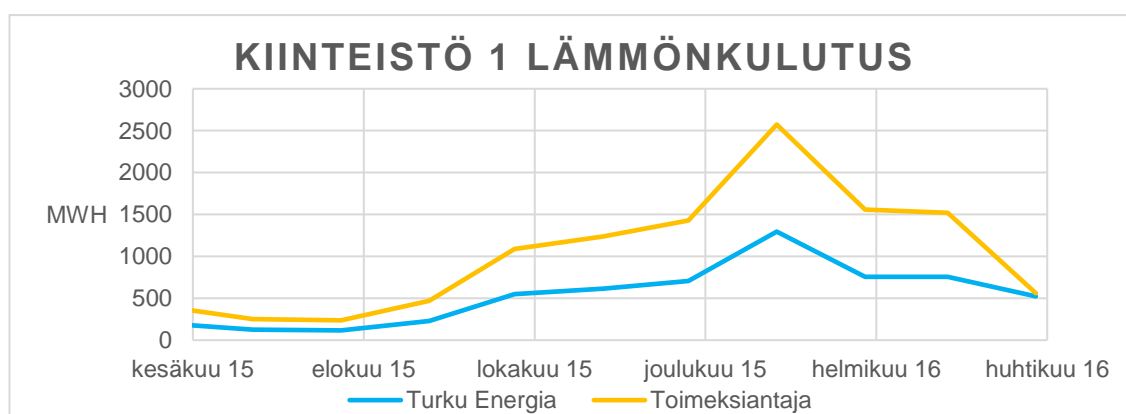


Kuvio 4. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutusten suhde Kiinteistö 5:ssä aikavälillä 3/2017–3/2019.

Voimme vielä varmistaa asian korrelaatiokertoimen avulla, joka on helppo selvittää käyttäen Excelin korrelaatiofunktiota. Kun jätämme vuoden 2018 huhtikuun pois kaavasta, saamme koko tutkimusjakson ajalta järjestelmien arvojen korrelaatiokertoimeksi 0,99987. Tämä viestii vahvasta positiivisesta korrelaatiosta mittajärjestelmien välillä, joten voimme suodattaa virhearvon käyttämällä hyväksi Turku Energian kulutustietoja ja luoda niiden pohjalta arvon toimeksiantajan virhearvon tilalle. Mikäli huhtikuulta 2018 olisi saatavilla kaukolämpövedenkulutus, voisimme vielä varmistaa olettamuksemme laskemalla teoreettisen kulutuksen. Kyseiseltä kuukaudelta ei kuitenkaan ole kirjattu kaukolämpövedenkulutusta, joten laskua ei voida suorittaa. Turku Energian datan mukaan huhtikuun 2018 kulutus on ollut 202,27 MWh. Korrelaatiokertoimen ollessa 0,99987 voidaan Turku Energian arvo sijoittaa sellaisenaan toimeksiantajan dataan aineiston tarkempaa analyysia varten.

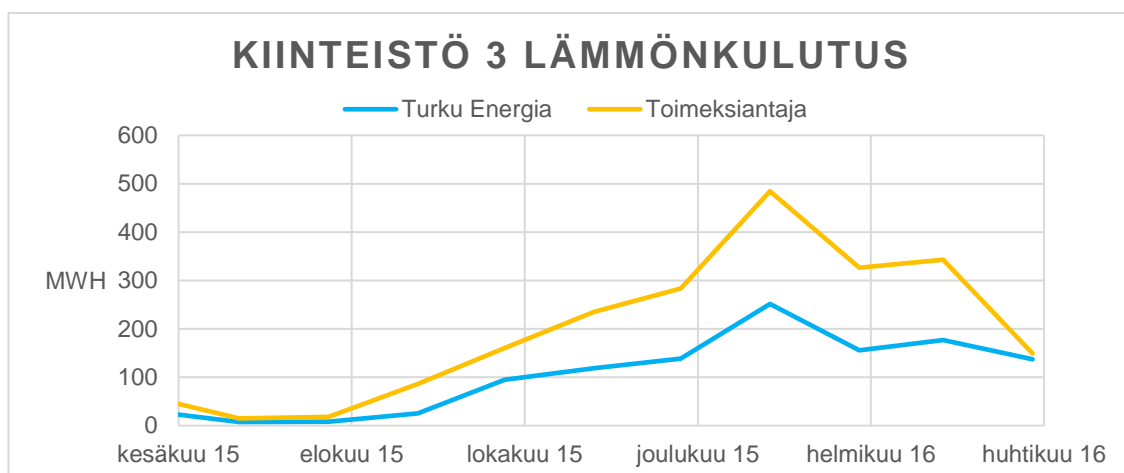
Nyt kun Kiinteistö 5:n huhtikuu 2018 on suodatettu, täytyy selvittää Kiinteistö 1:n poikkeava käytös 6/2015–5/2016 välisellä jaksolla. Tarkastelemalla Turku Energian omalta palvelimelta saatuja lämmönkulutuksia ja toimeksiantajan suodatettuja kulutustietoja keskenään, huomataan jo silmämääräisestikin poikkeavia lukemia Kiinteistö 1:n (Kuvio 5), Kiinteistö 3:n (Kuvio 6) ja Kiinteistö 6:n (Kuvio 7) osalta aina vuoden 2016 kesälle asti. Kiinteistö 2:ssa, Kiinteistö 4:ssä ja Kiinteistö 5:ssä ei 2015–2016 välisenä aikana ole edellä mainittujen kahden datajärjestelmän välisiä silmämääräisiä eroja (Liite 1).

Kiinteistö 1:n Turku Energian ja toimeksiantajan kulutuslukemien erot kestävät 2016 maaliskuuhun asti ja tänä aikana toimeksiantajan järjestelmän kulutukset ovat jopa kaksinkertaiset Turku Energian kulutuksiin nähden. Tämän jälkeen ne tasoittuvat ja eroa ei juurikaan ole enää havaittavissa silmämääräisesti.



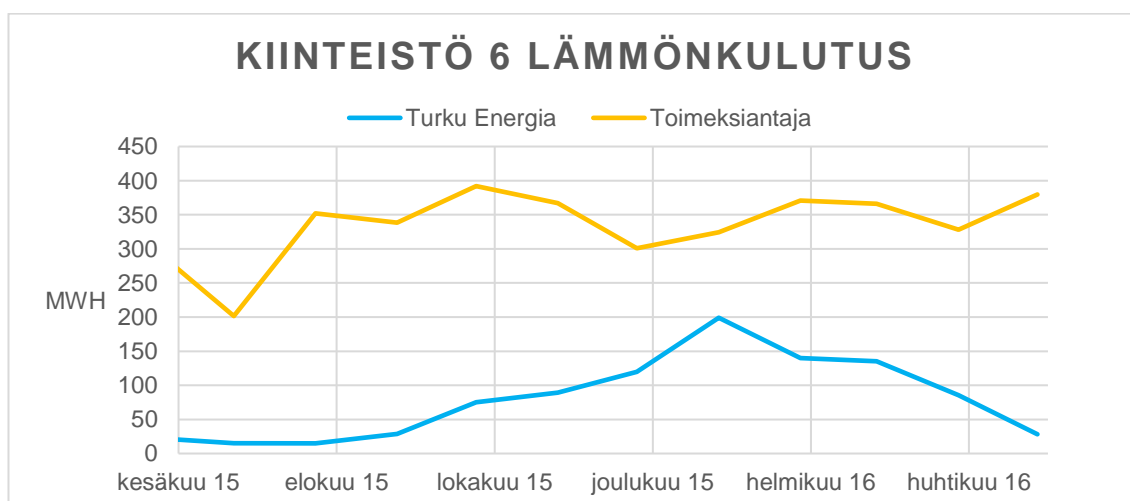
Kuvio 5. Toimeksiantajan ja Turku Energian datan eroavaisuudet Kiinteistö 1:ssä.

Kiinteistö 3:n kohdalla Turku Energian ja toimeksiantajan erot ovat hyvin samankaltaiset kuin Kiinteistö 1:ssä. Ne sijoittuvat Kiinteistö 1:n tapauksen kanssa samalle ajanjaksolle, jonka lisäksi toimeksiantajan kulutustiedot ovat noin kaksinkertaiset koko tältä ajalta (Kuvio 6). Kuten Kiinteistö 1:n tapauksessa, myös Kiinteistö 3:n Turku Energian ja toimeksiantajan kulutustiedot jatkavat 2016 maaliskuun jälkeen yhtenäisinä (Liite 1).



Kuvio 6. Toimeksiantajan ja Turku Energian datan eroavaisuudet Kiinteistö 3:ssa.

Kiinteistö 6:n erot sijoittuvat edellisten kahden kiinteistön kanssa samalle ajanjaksolle, mutta erot jatkuvat näitä hieman pidemmälle aina toukokuuhun 2016 asti (Kuvio 7). Turku Energian ja toimeksiantajan kulutustiedot tältä ajalta poikkeavat täysin toisistaan. Ero kulutuslukemissa on suurimmillaan jopa 24-kertainen heinä-elokuussa 2015.



Kuvio 7. Toimeksiantajan ja Turku Energian datan eroavaisuudet Kiinteistö 6:ssa.

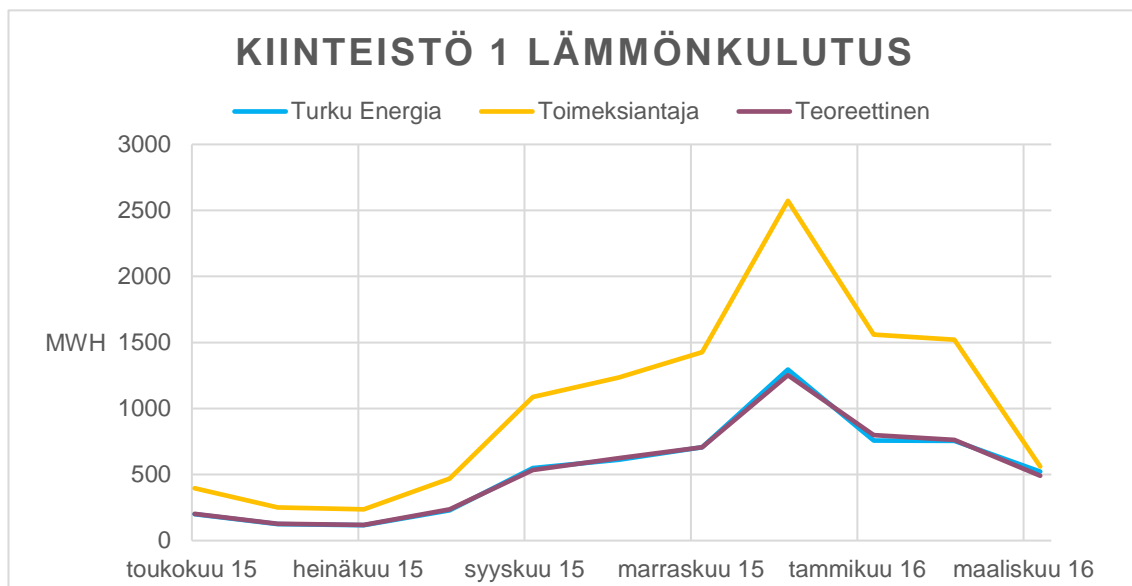
Edellä havaitut erot kulutuksissa tarkoittavat, että vähintään toisen järjestelmän arvot ovat virheelliset. Asian selvittämiseksi auttaa, että Turku Energian palvelimelta löytyy tiedot kaukolämpöveden jäähtymästä. Jäähtymän ja kaukolämpövedenkulutuksen perusteella voidaan tarkastella teoreettista lämmönkulutusta, jonka avulla saadaan viiheitä tarkasteltujen tietojen paikansapitävyyksistä. Kaukolämmön teoreettisen energiankulutuksen kaavassa (Kaava 5) on otettu huomioon, että sekä toimeksiantajan että Turku Energian kulutukset on esitetty megawattitunteina, joten kaavan tulos tulee vielä jakaa luvulla 1000.

Kaava 5. Kaukolämpöenergian kulutus jäähtymän ja kaukolämpöveden mukaan (Energiateollisuus 2007).

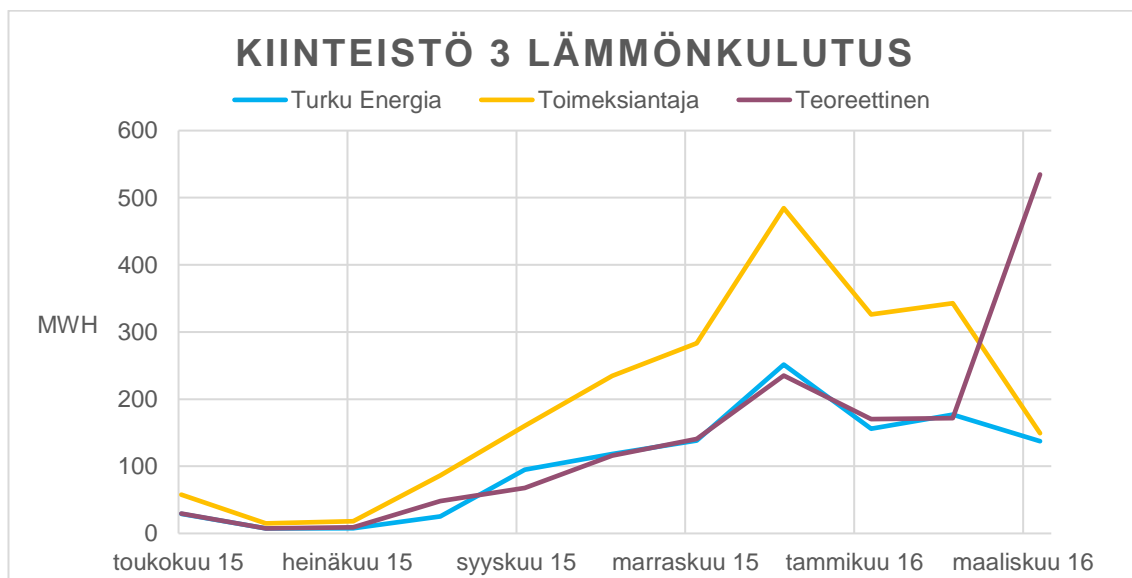
$$\text{kWh} = \text{kaukolämpöveden jäähtymä } (^{\circ}\text{C}) \times \text{vesimäärä } (\text{m}^3) \times 1,163$$

Laskiessa teoreettista kulutusta käy ilmi, että myös se poikkeaa aika ajoin sekä toimeksiantajan että Turku Energian kulutustiedoista, mutta useammin se korreloi Turku Energian kulutusten kanssa (Liite 2). Tästä voidaan päätellä, että kyseisten kulutusten siirtymisessä varsinkin mittarin ja toimeksiantajan järjestelmän välillä on tapahtunut virheitä, sillä vaikka toimeksiantajan järjestelmän data tulee Turku Energian omilta mittareilta, ovat mittatulokset silti erilaiset. Kiinteistö 1:n tapauksessa teoreettinen kulutus vastaa hyvin vahvasti Turku Energian dataa (Kuvio 8), joka antaa viitteitä toimeksiantajan virheellisistä arvoista. Korrelaatiokertoimeksi Turku Energian ja teoreettisen kulutuksen välille saadaan 0,99821, mutta myös toimeksiantajan ja teoreettisen kulutuksen välinen korrelaatiokerroin on lähellä +1, sen ollessa 0,98445. Tämä kertoo siitä, että vaikka toimeksiantajan arvot eivät osu yhteen teoreettisen kulutuksen kanssa, kasvavat ja laskevat ne silti samassa suhteessa lähes koko ajankohtana. Sama havainto on tehtävissä myös Kiinteistö 3:n kohdalla (Kuvio 9), mutta jossa korrelaatiokertoimet ovat Turku Energian ja teoreettisen kulutuksen kesken 0,62284 sekä toimeksiantajan ja teoreettisen kulutuksen välillä 0,43526. Pienemmät korrelaatiokertoimet selittyvät Kiinteistö 3:n tapauksessa 2016 huhtikuun poikkeuksellisen suurella kaukolämpövedenkulutuksella (8163,33 m<sup>3</sup>), joka on 417,19 % kyseisen kiinteistön tarkasteluajan muiden huhtikuiden keskiarvota 1956,73 m<sup>3</sup>, keskihajonnan ollessa 372,7 m<sup>3</sup>. Mikäli lasketaan korrelaatiokertoimet ilman huhtikuuta, ovat ne Turku Energian ja teoreettisen kulutuksen välillä 0,98619 sekä toimeksiantajan ja teoreettisen välillä 0,99764 eli kyseessä on hyvinkin samankaltainen korreloiva tilanne kuin Kiinteistö 1:n kohdalla. Huomionarvoista tapauksessa on se, että

2016 huhtikuun suuresta kaukolämpövedenkulutuksesta huolimatta ei lämmönkulutus ole kummankaan järjestelmän datan perusteella kasvanut samassa suhteessa kaukolämpövedenkulutuksen kanssa. Tämä antaa viitteitä viasta joko kaukolämpöveden mittarissa taikka itse kaukolämpöverkossa kyseisenä ajankohtana.

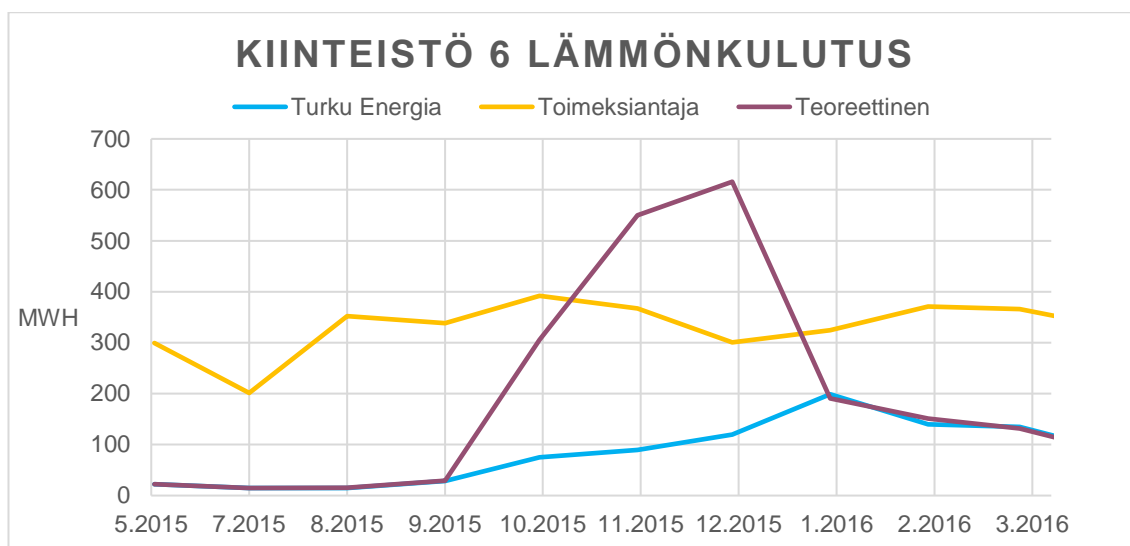


Kuvio 8. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutukset suhteessa teoreettiseen kulutukseen Kiinteistö 1:ssä.



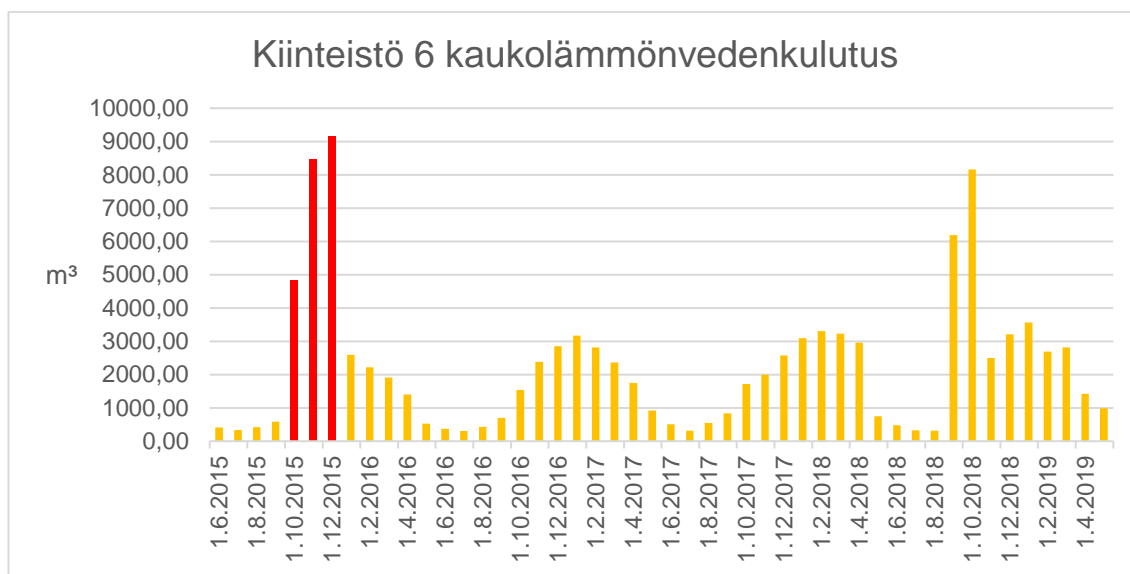
Kuvio 9. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutukset suhteessa teoreettiseen kulutukseen Kiinteistö 3:ssa.

Kiinteistö 6:n tapaus poikkeaa edellä mainituista kahdesta kiinteistöstä. Kuten kuviosta 10 nähdään, vaikka Turku Energian kulutus vastaa teoreettista kulutusta syyskuuhun 2015 asti, on tämän jälkeen havaittavissa suuri poikkeama, kunnes arvot taas kohtaavat 2016 tammikuusta lähtien. Koska kyseessä on teoreettinen kulutus, jonka käyrä käyttäytyy ”poikkeavasti”, on syytä tarkastella sen muuttujia eli kaukolämmön jäähtymää ja kaukolämpövedenkulutusta.

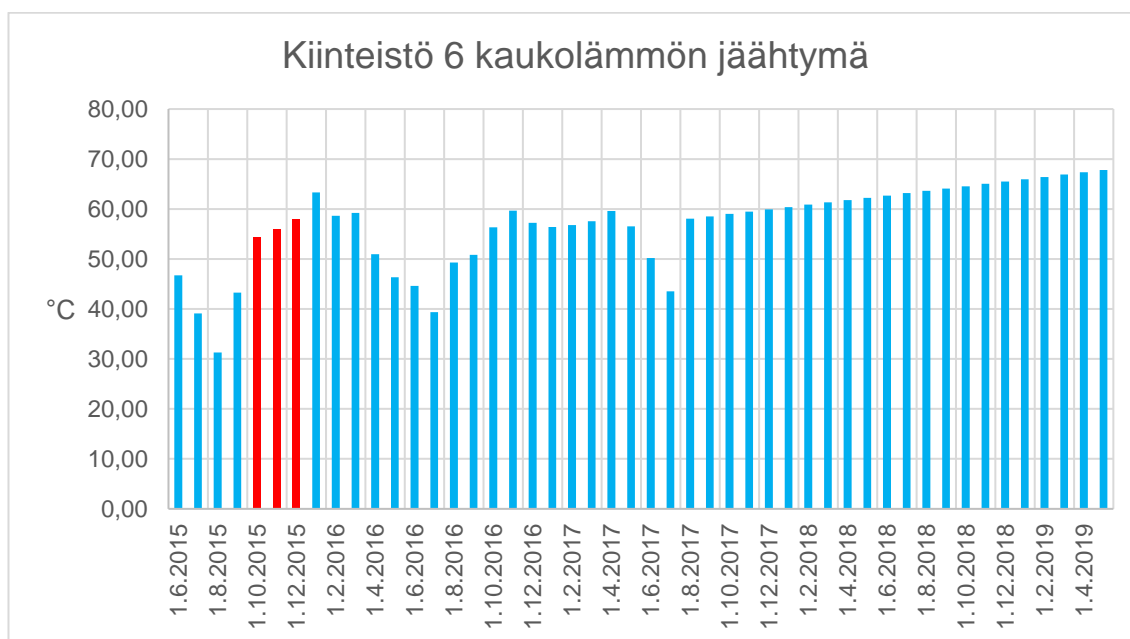


Kuvio 10. Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutukset suhteessa teoreettiseen kulutukseen Kiinteistö 6:ssä.

Kaukolämpövedenkulutuksessa (Kuvio 11) on havaittavissa poikkeuksellisen suuret arvot mainitulta vuoden 2015 loka- ja joulukuun ajalta, mikä selittää teoreettisen lämmönkulutuksen suuren poikkeaman samalta ajalta, sillä kaukolämpöveden jäähtymässä (Kuvio 12) ei kyseisenä aikana ole poikkeuksellisia arvoja. Jäähtymän muiden kyseisten aikavälien keskiarvo on 60,74 °C, johon nähden erot tarkastelujakson arvoissa ovat lokakuussa 2015 -10,62 % (54,29 °C), marraskuussa 2015 -8 % (55,88 °C) joulukuussa 2015 -4,71 % (57,88 °C). Vastaavasti kaukolämpövedenkulutuksen muiden saman jakson arvojen keskiarvo on 2992,98 m³ ja tarkastelujakson arvojen erot tähän ovat lokakuussa 2015 +61,87 % (4844,87 m³), marraskuussa 2015 +182,65 % (8459,74 m³) ja joulukuussa 2015 +205,68 % (9149,05 m³). Teoreettisen kulutuksen suuri poikkeama kuviossa 10 johtunee siis kaukolämpöveden suurista arvoista kyseiseltä ajalta ja näihin arvoihin perehdytään tarkemmin luvussa 5.2, samoin kuin kuviossa 9 nähtävään teoreettisen kulutuksen poikkeamaan.

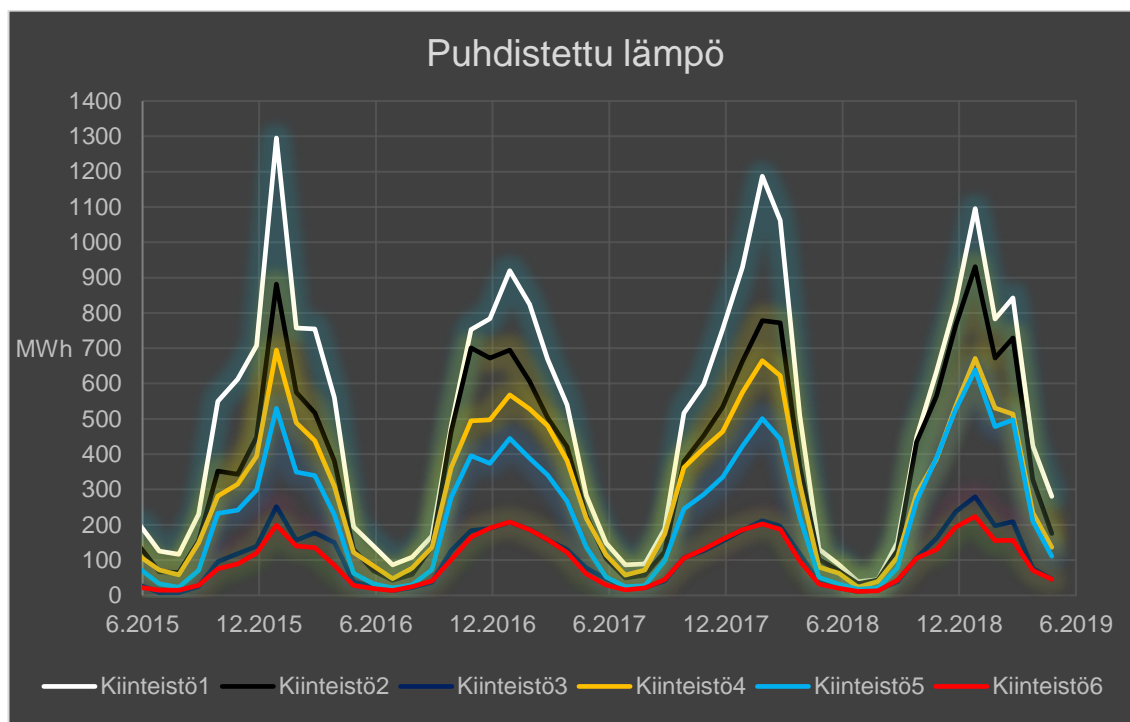


Kuvio 11. Kiinteistö 6:n kaukolämpövedenkulutus.



Kuvio 12. Kiinteistö 6:n kaukolämpöveden jäähtymät.

Turku Energian kulutusdata vastaa hyvin pitkälti teoreettisesti laskettua kulutusta (ks. luku 5.1, s. 29–30). Näin ollen voidaan lämpöenergian analysointia jatkaa korjaten toimeksiantajan virhearvot Turku Energian saman ajanjakson arvoilla. Näin saadaan puhdistettu datakaavio (Kuvio 13) samalta ajanjaksolta, jonka data olisi nyt valmis analysoitavaksi mahdollista energiankulutuksen seurantaa varten.

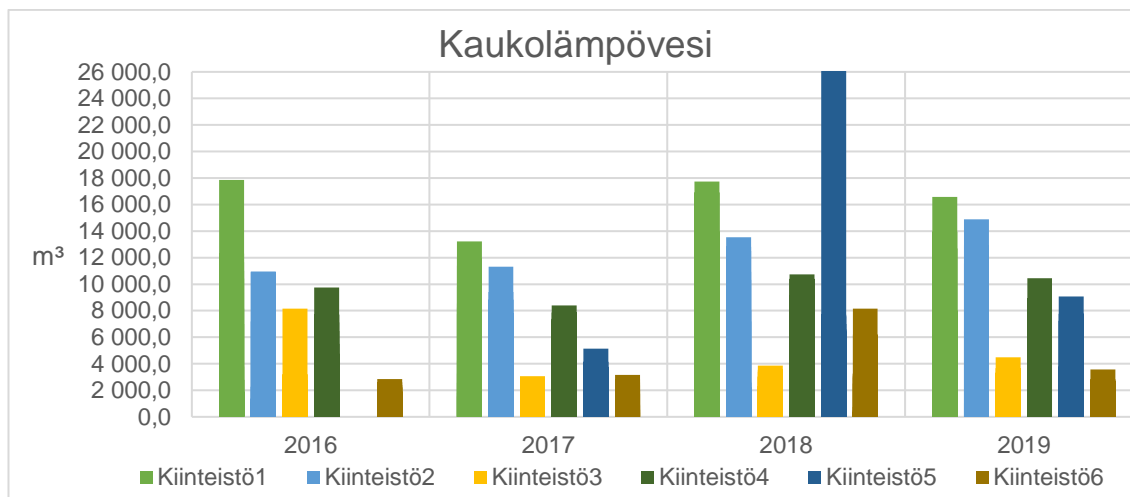


Kuvio 13. Toimeksiantajan lämmönkulutuksen puhdistettu data tarkastelujaksolla 2015–2019.

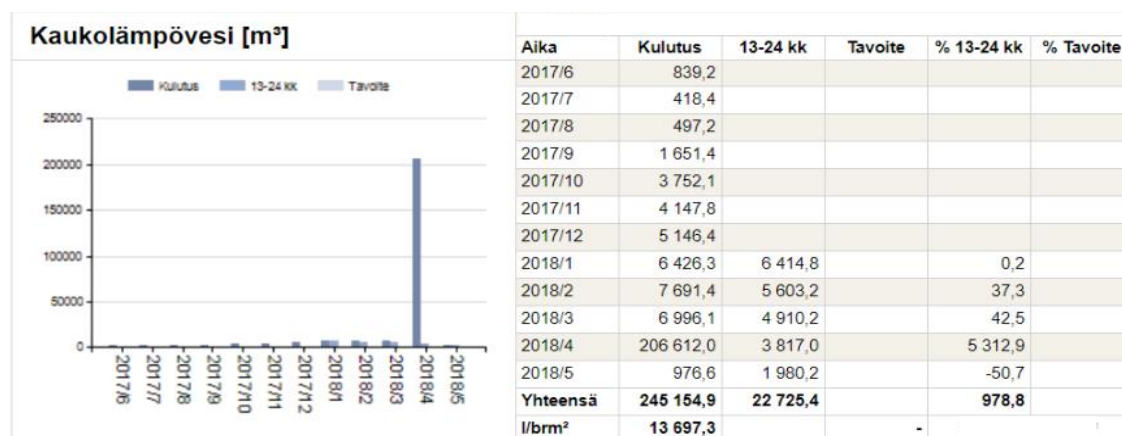
## 5.2 Kaukolämpövesi

Kiinteistö 2:ssa kaukolämpövedettä ei ole mitattu ennen kautta 6/2016–5/2017, sekä Kiinteistö 5:ssä seuranta on aloitettu vasta kaudelle 6/2017–5/2018 (Kuvio 14). Niin kuin kaukolämmön kulutuksessa, myös kaukolämpöveden kulutuksessa löytyy vuoden 2018 huhtikuun osalta merkittävä poikkeama Kiinteistö 5:n kulutusraportissa (Kuva 3).





Kuvio 14. Toimeksiantajan kaukolämpövedenkulutuksen raakadata tarkastelujaksolla 6/2015–5/2019.

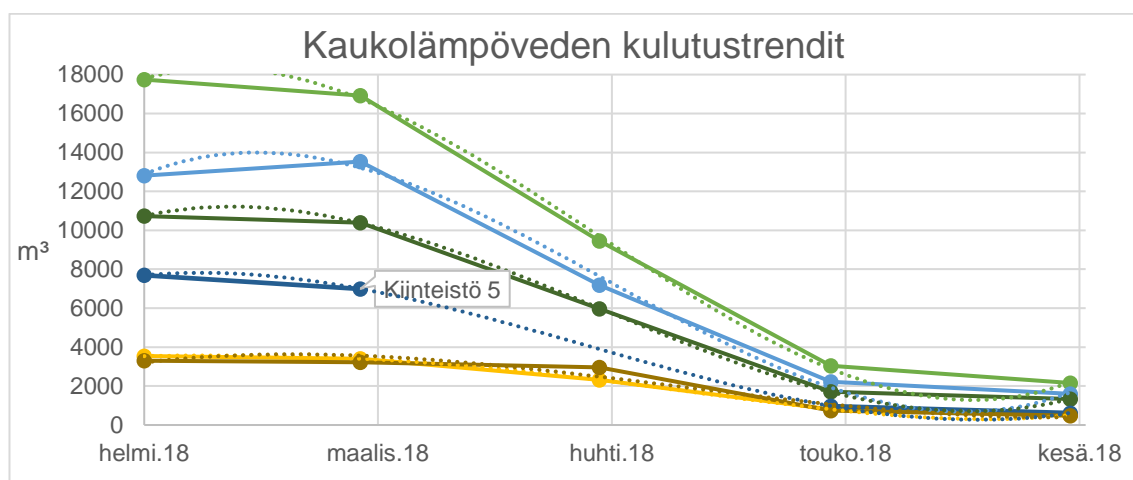


Kuva 3. Kiinteistö 5:n epätodennäköinen lukema kaukolämpöveden kulutuksessa.

Tarkempaa kaukolämpöveden kulutuksen analysointia varten täytyy Kiinteistö 5:n huhtikuun 2018 arvo ensin suodattaa. Kuten aiemmin todettiin, ei Kiinteistö 5:n kaukolämpövedenkulutuksesta ole dataa ennen kesäkuuta 2017, joten kiinteistön omia kulutuksia ei voida käyttää määrittämään keskiarvoa kyseiselle kuukaudelle. Keskiarvon määrittäminen ei myöskään siitä syystä ole validi menetelmä arvon korjaukseen, että kaukolämpöveden kulutukseen vaikuttaa ulkoisia parametreja, kuten ulkolämpötila ja kiinteistön käyttöön liittyvät muutokset esimerkiksi suosittujen lomakuukausien ja muiden kuukausien kesken. Olisi myös hakuammuntaa olettaa, että kyseessä olisi pelkkä pilkkuvirhe ja korjata arvo esimerkiksi muotoon 2066,12 m³. Muita kiinteistöjä voidaan kuitenkin käyttää

avuksi. Tarkastellaan esimerkiksi muiden kiinteistöjen kulutuksia samalta ajalta ja tutkitaan miten ne ovat käyttäytyneet. Kun luodaan kolmen asteen polynomiset trendit kaukolämpöveden kulutuksista kyseiseltä keväältä 2018 (Kuvio 15), huomataan muiden kiinteistöjen kulutusten noudattavan trendiviivojaan hyvin vahvasti tältä ajalta. Tästä voidaan tehdä karkea oletus, että myös Kiinteistö 5 noudattaisi samaa käyttäytymistä.

Kun arvopisteitä on niin paljon kuin työn datassa, antaa kolmen asteen polynomi hieman liikkumavaraa trendiviivalle, kun taas kahden asteen polynominen trendi (tai lineaarinen trendi) olisi vain suora viiva trendin alku- ja loppupisteiden välillä, jolloin yksittäiset arvopisteet jäisivät liian epäselviksi.



Kuvio 15. Kaukolämpöveden polynomiset kulutustrendit ajalta 2/2018–6/2018.

Voimme, ja on syytäkin, myös vahvistaa hypoteesia siitä, että Kiinteistö 5 huhtikuu osuisi trendiviivalleen. Tiedossa on Turku Energian ilmoittama kulutettu energia (202,27 MWh) sekä ilmoitettu jäähtymä (48,65 °C) ja näillä tiedoilla voimme laskea teoreettisen kaukolämpövedenkulutuksen.

1. Tiedämme, että kaukolämpöenergian kaava (Kaava 5) on;

$$\text{kWh} = \text{kaukolämpöveden jäähtymä (°C)} \times \text{vesimäärä (m}^3\text{)} \times 1,163$$

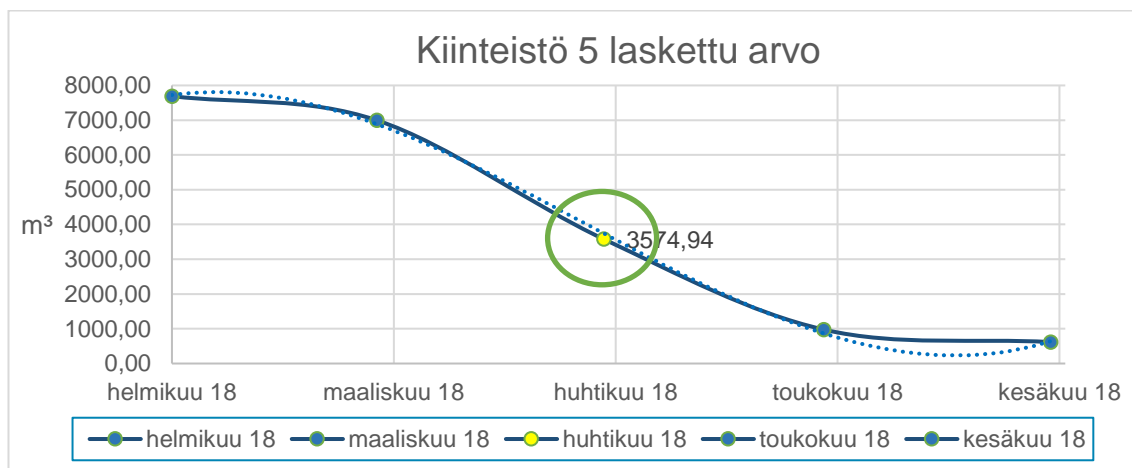
2. Täten;

$$\text{kaukolämpövesi (m}^3\text{)} = \frac{\text{kaukolämpöenergia (kWh)}}{\text{kaukolämpöveden jäähtymä (°C)} \times 1,163}$$

3. Sijoitetaan tietämämme arvot yhtälöön;

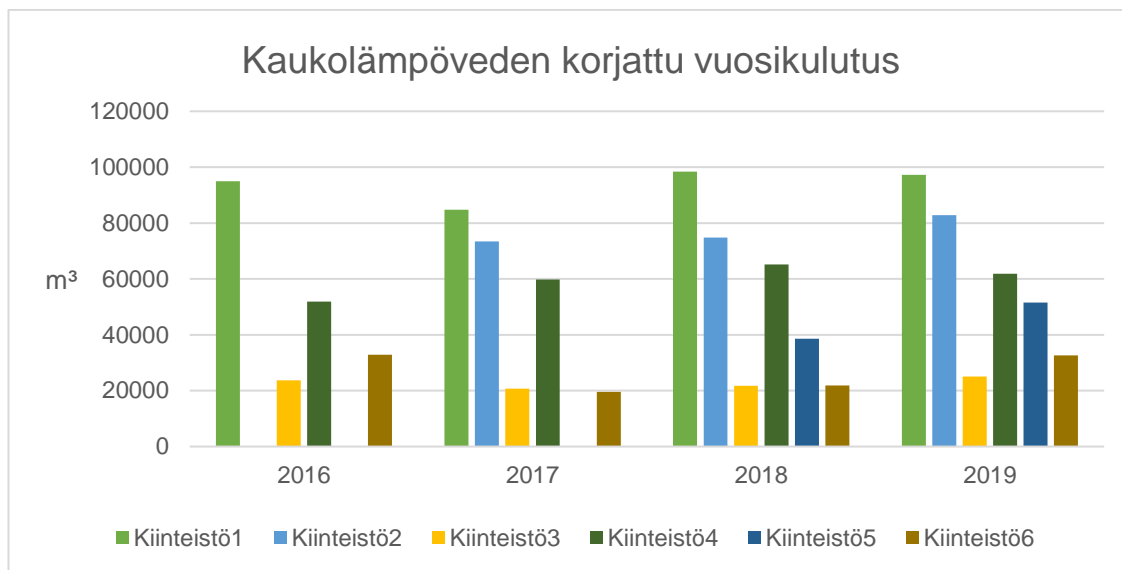
$$\text{kaukolämpövesi (m}^3\text{)} = \frac{202270 \text{ kWh}}{48,65 \text{ }^\circ\text{C} \times 1,163} = 3574,94 \text{ m}^3$$

Saamamme 3574,94 kuutiometriä, joka tarkasteltuna Kiinteistö 5:n polynomisen trendin kanssa (Kuvio 16) vahvistaa sen, että voimme käyttää sitä analyysissämme korvaamaan raportin epätodenmukaisen arvon.

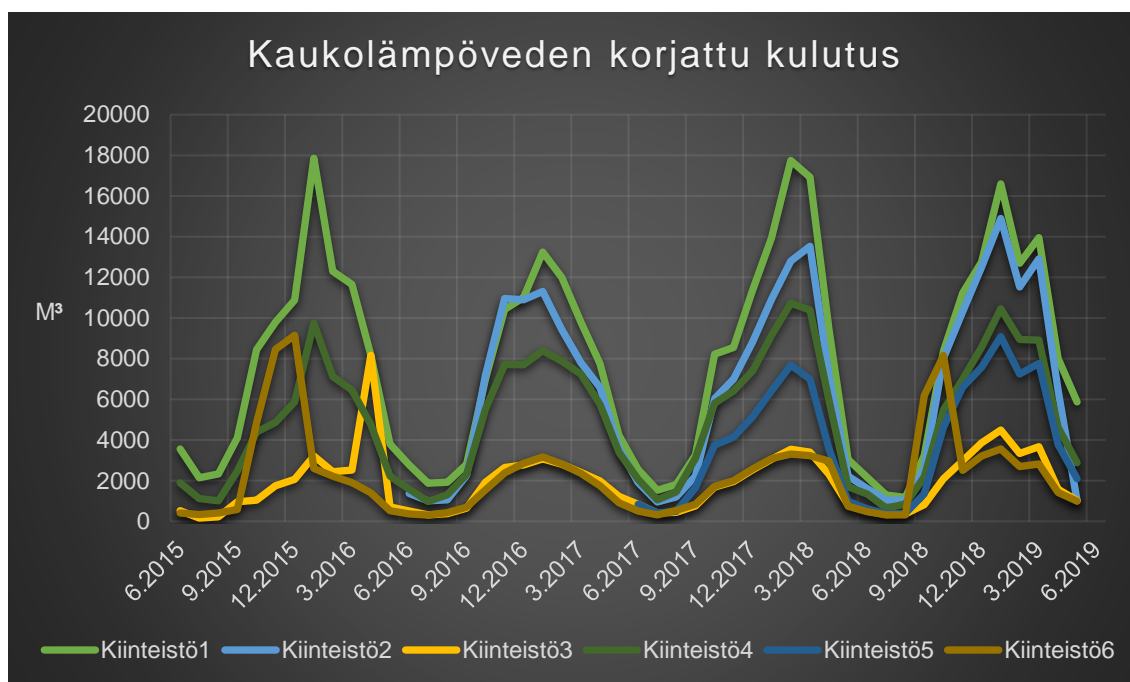


Kuvio 16. Kiinteistö 5 kaukolämpövedenkulutuksen polynominen trendi ja laskettu arvo.

Puhdistettuja kaukolämpöveden arvoja (Kuvio 17) tarkastellessa huomataan, että kulutuksissa ei enää näy silmämääräisesti havaittavia eroja. Kulutusta on syytä tarkastella myös yksityiskohtaisemmalla kuukausittaisella tasolla (Kuvio 18) mahdollisten muiden huomiota herättävien arvojen varalta. Näin huomataankin, että Kiinteistö 3:n kulutuksessa on havaittavissa vielä selkeä poikkeama 2016 huhtikuun kohdalla.



Kuvio 17. Kiinteistöjen kaukolämpövedenkulutus vuosittain välillä 6/2015–5/2019 Kiinteistö 5:n korjauksella.



Kuvio 18. Kaukolämpövedenkulutuksen data Kiinteistö 5:n korjauksella tarkastelujaksolla 2015–2019.

Kiinteistö 3:n huhtikuun 2016 kaukolämpövedenkulutus on 8163,33 m<sup>3</sup>, kun muiden saman kiinteistön huhtikuiden keskiarvo on 1956,73 m<sup>3</sup> ja kiinteistön koko tarkastelujakson

keskiarvo on 1900,60 m<sup>3</sup>. Muiden huhtikuiden keskihajonta on 372,70 ja koko tarkastelujakson keskihajonta on 1499,07. Kyseessä on siis muiden huhtikuiden keskiarvoon nähden 317,19 % nousu, joka on merkittävän suuri. Voimme jälleen kaavaa 5 sekä kaukolämmönkulutusta ja sen jäähtymää käyttäen selvittää, onko kyseessä sen muuttujien mukainen arvo, vai onko arvo epätodenmukainen suhteessa lämmönkulutukseen ja kaukolämpöveden jäähtymään. Huhtikuun 2016 kaukolämmönkulutukset ovat toimeksiantajan mukaan 149,35 MWh, Turku Energian mukaan 137,27 MWh. Teoreettinen arvo nykyisellä 8163,33 m<sup>3</sup> kaukolämpövedenkulutuksella olisi 534,66 MWh, joka siis eroaa selvästi kahden ensin mainitun datan arvoista. Jäähtymä ajalta on 56,32 °C.

Kaavasta 5 johdetaan;

$$\text{kaukolämpövesi}_{\text{toimeksiantaja}} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{149350 \text{ kWh}}{56,32 \text{ °C} \times 1,163} = 2280,15 \text{ m}^3$$

$$\text{kaukolämpövesi}_{\text{Turku Energia}} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{137270 \text{ kWh}}{56,32 \text{ °C} \times 1,163} = 2095,72 \text{ m}^3$$

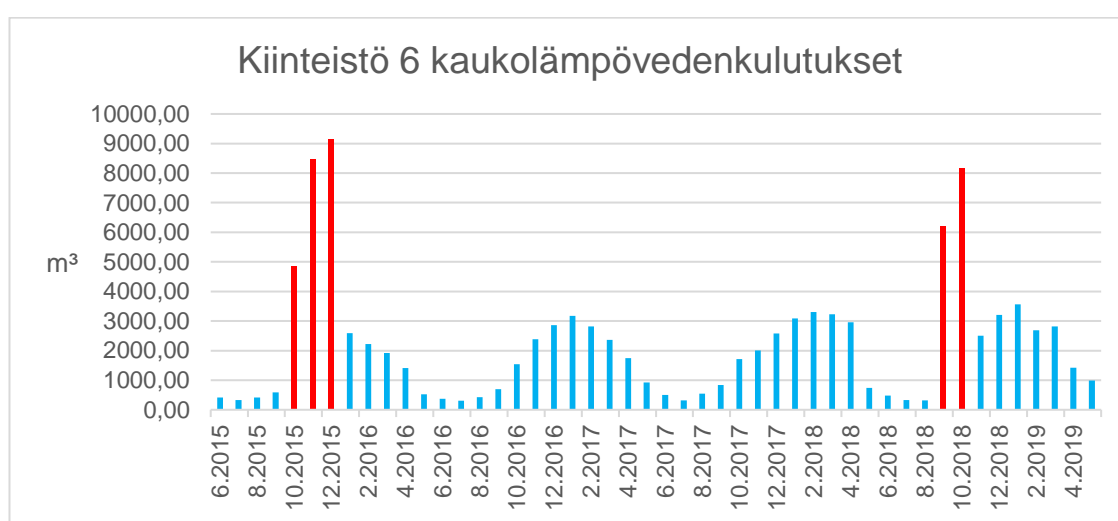
Kahden datajärjestelmän lämmönkulutusten ja kaukolämpöveden jäähtymän mukaan kirjattu 8163,33 m<sup>3</sup> kaukolämpövedenkulutus ei pitäisi paikkaansa. On tietenkin mahdollista, että kyseinen arvo olisi todellinen ja Turku Energian ja toimeksiantajan kaukolämmönkulutukset eivät olisi. Tämän selvittäminen vaatisi kuitenkin suuren työn ja laajan pääsyn sekä Turku Energian että toimeksiantajan järjestelmiin. Yhden arvon takia tällainen ei olisi työn kannalta oleellista. Työn tavoitteita ajatellen riittää, että tiedämme tässä olevan virhe joko Turku Energian ja toimeksiantajan lämmönkulutuksissa, tai sitten (todennäköisemmin) kaukolämpövedenkulutuksessa.

Kuten luvun 5.1 lopulla mainittiin, löydettiin Kiinteistö 6:n kaukolämmöstä poikkeavuus teoreettisen- ja toimeksiantajankulutusten osalta aikaväliltä 10/2015–12/2015. Liitteestä 2 on nähtävissä, että sama toistuu myös 2018 syksystä eteenpäin ja jatkuu aina työn tarkasteluajan loppuun asti, välillä lievemmillä, välillä suuremmilla eroilla. Merkittävimmät erot 2015 loppuvuoden lisäksi ovat vuoden 2018 syys- ja lokakuu. Kuten aiemmin tarkastelluista kaukolämmön- ja kaukolämpövedenkulutuksista sekä taulukosta 3 ja kuvista 19 huomataan, on teoreettisen lämmönkulutuksen poikkeamat kahden järjestelmän arvoista vahvasti yhteydessä kaukolämpövedenkulutuksen huomattavan suuriin arvoihin.

hin. Tämä antaa vahvoja signaaleja siitä, että kiinteistöissä, joissa teoreettinen lämmönkulutus poikkeaa selvästi varsinkin Turku Energian lämmönkulutuksesta, on kaukolämpövedenkulutusseuranta epäluotettavalla tasolla.

Taulukko 3. Kiinteistö 6:n kaukolämmön data ajalta 9/2018–10/2018.

Kuukausi	Turku Energia	Toimeksiantaja	Jäähtymä (°C)	Vesi (m³)	Teoreettinen
9.2018	42,73	42,90	64,09	6192,10	461,54
10.2018	105,31	105,20	64,55	8163,90	612,91

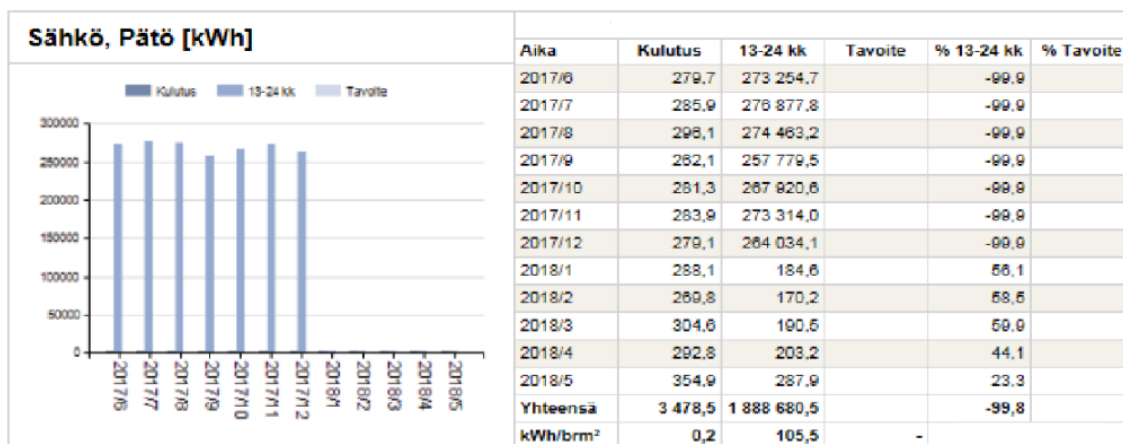


Kuvio 19. Kiinteistö 6:n kaukolämpövedenkulutukset ajalta 6/2015–5/2019.

### 5.3 Pätösähkö

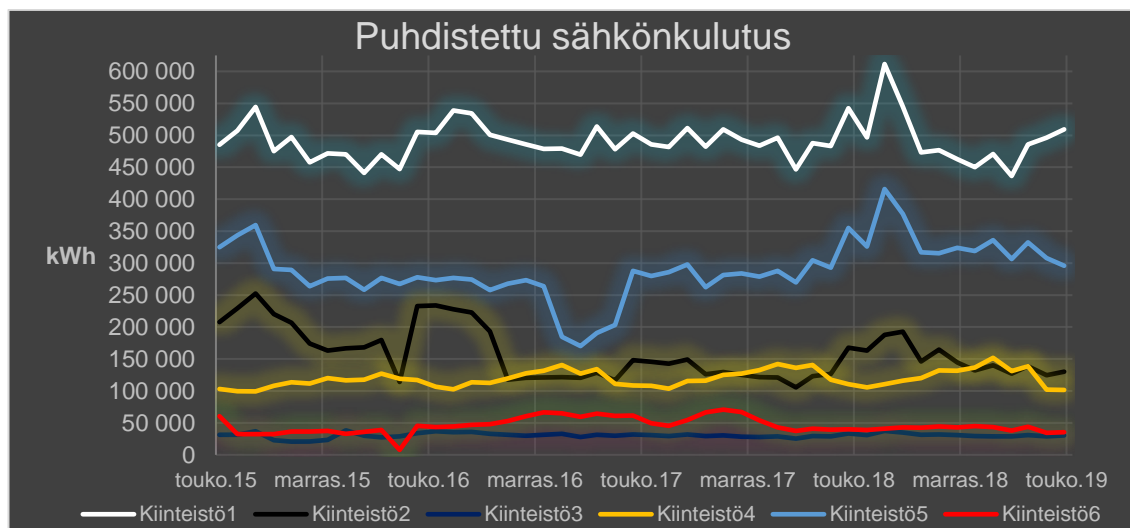
Sähkönkulutuksen kulutusraportti oli Kiinteistö 5:n osalta ristiriitainen (Kuva 4). Erot kulutuksissa ennen ja jälkeen vuoden 2017 (huomaa Aika 2017/6–2018/5 → 13-24kk = 2016/6–2017/5) ovat tuhatkertaisia keskenään, joten on oletettavaa osan datasta kirjautuneen kilowattitunteina ja osan megawattitunteina. Kyseinen ”satamuoto” myös jatkuu työssä tehtävän tarkastelun loppuun asti. Muissa kiinteistöissä tällaista muutosta ei ole tehty, joten ei ole syytä olettaa, että kyseessä olisi tarkoituksenmukainen uudistus kirjautua megawattituntisina. Työn tarkoitus ei kuitenkaan ole pohtia syitä havaituille epä johdonmukaisuuksille, joten voidaan jatkaa edellä mainituilla olettamuksilla ja puhdistaa

ns. megawattituntiset lukemat takaisin kilowattitunneiksi. Muiden kiinteistöjen sähkönkulutuksissa ei ole silmin havaittavia poikkeavuuksia.



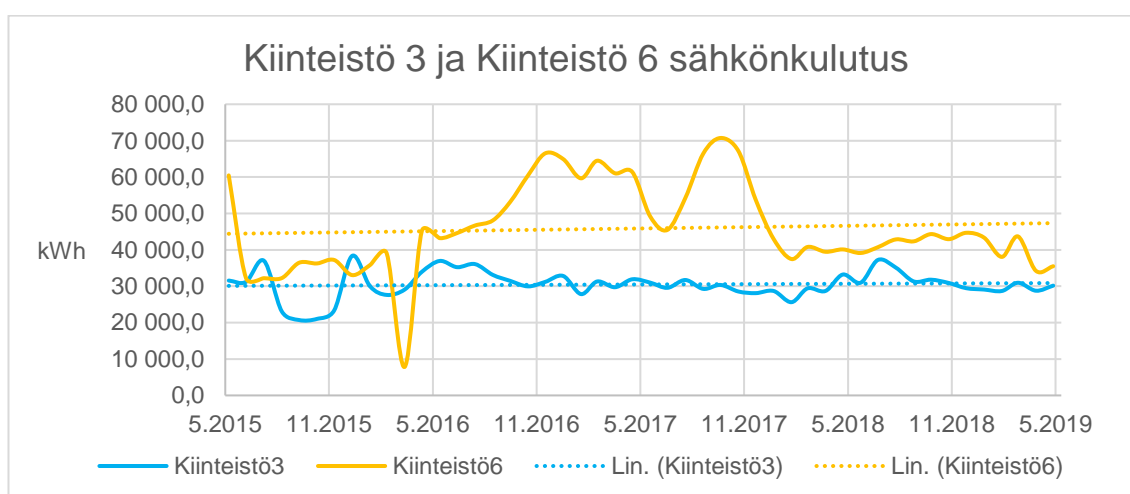
Kuva 4. Kiinteistö 5:n epätodenmukaiset lukemat sähkönkulutuksessa (Toimeksiantaja 2019).

Sähkönkulutuksen tapauksessa ei ole samankaltaista teoreettista vertailupohjaa kuin kaukolämmön tapauksessa, eikä myöskään tarkasteltavia muuttujia kuten kaukolämpöveden tapauksessa. Sähkönkulutus on myös hyvin kiinteistökohtaista ja monen eri tekijän, kuten vuodenajan, kellonajan, teknisten asetusten ja käyttäjistä johtuvien erojen summa. Edellä mainituista syistä on vaikeaa, jopa turhaa lähteä puhdistamaan dataa Kiinteistö 5:n tapausta enempää, vaikka jokin muu arvo olisikin merkillisen korkea; saataisimme saada puhtaampaa ja "paremmalta näyttävää" dataa, mutta yhtä hyvin voisimme tuottaa siihen enemmän virheitä kuin siinä alussa oli. Kun Kiinteistö 5:n arvot ovat muutettu, saadaan tarkastelukelpoinen kulutusgraafi (Kuvio 20).



Kuvio 20. Kiinteistöjen puhdistettu sähkönkulutus kuukausittain.

Kuvio 20 ei kerro vielä juurikaan mitään, sillä silmämääräisesti on havaittavissa vain odotustenmukaista jaksottaista vaihtelua kiinteistöjen sisäisesti ja niiden välillä. Tämän lisäksi kiinteistöjen koot vaihtelevat suuresti ja näin ollen myös suurempien kiinteistöjen kulutusvaihtelu on suurempaa. Kiinteistö 1:n tapauksessa  $\pm 50,000$  kWh vaihtelu on vielä normaalia vaihtelua, kun taas Kiinteistö 6:n kohdalla ei joinain kuukausina koko kuukausittainen kulutus ei ole niin suurta, jolloin  $50,000$  kWh muutos olisi jopa yli  $100\%$ . Niin kuin kuviosta huomataankin, ei pienempien kiinteistöjen (Kiinteistö 3, Kiinteistö 4 ja Kiinteistö 6) kulutuksenvaihtelua taulukosta juurikaan erota. Pienten kiinteistöjen kulutuksien vaihtelut havaitaan, kun ne erotetaan omaksi graafiksi (Kuvio 21).



Kuvio 21. Kiinteistö 3:n ja Kiinteistö 6:n sähkönkulutukset ja niiden trendit kuukausittain.



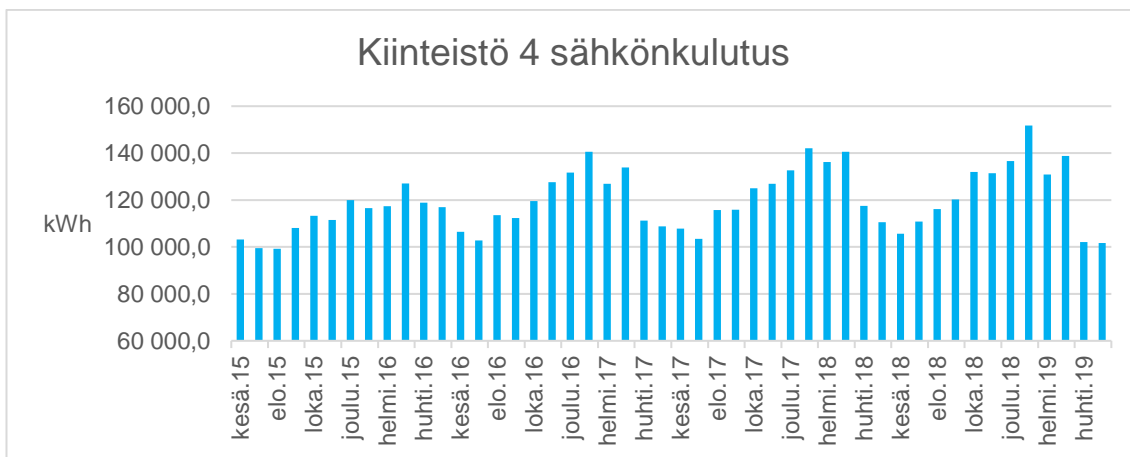
Kuten todettiin, eivät kiinteistöt ole vertailukelpoisia keskenään sähkönkulutuksen osalta. Voimme kuitenkin tarkastella niiden käyttäytymistä toisiinsa nähden eli laskemalla kiinteistöjen väliset korrelaatiokertoimet (Taulukko 4) ja tutkia, käyttäytyykö jonkin kiinteistön arvot muista poiketen.

Taulukko 4. Kiinteistöjen keskinäiset korrelaatiot sähkönkulutuksessa.

Sähkönkulutuksen korrelaatiokertoimet									
1–2	0,457	2–3	0,325	3–4	-0,206	4–5	-0,197	5–6	-0,400
1–3	0,562	2–4	-0,566	3–5	0,253	4–6	0,235		
1–4	-0,403	2–5	0,349	3–6	0,104				
1–5	0,439	2–6	-0,297						
1–6	0,105								

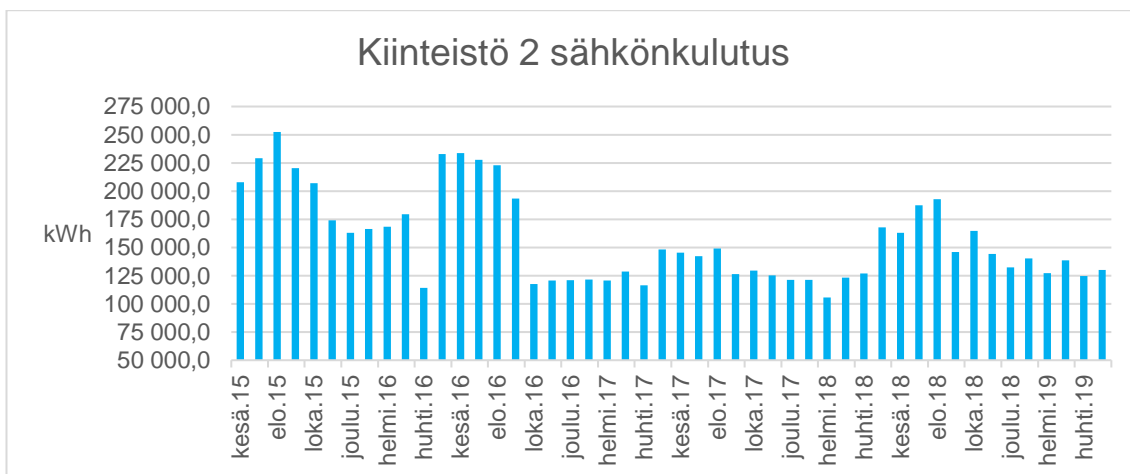
Ensimmäinen huomiota herättävä löydös korrelaatiokertoimista on, että jokainen kiinteistö (lukuun ottamatta Kiinteistö 6) osoittaisi negatiivista korrelaatiota Kiinteistö 4:n suhteen. Kertoimet ovat kuitenkin niin lähellä nollaa, että käytännössä ei voida edes puhua korrelaatiosta, vaan enemmänkin tulee keskittyä kyseisten arvojen negatiivisuuteen. Mitä korrelaatioon itsessään tulee, voidaan todeta, etteivät kiinteistöjen sähkönkulutukset ole toisiinsa juurikaan sidoksissa. Tämä on myös odotettavissa, sillä kiinteistöt ovat kooltaan, arkkitehtuuriltaan ja käyttötarkoituksiltaan hyvin erilaisia, joten esimerkiksi kellonajan ja vuodenajan mukaan voi olla hyvinkin suurta eroa valaistuksen, sähkölaitteiden ja muun sähköä vaativan tekniikan käytön suhteen. Kiinteistöjen negatiiviset korrelaatiokertoimet Kiinteistö 4:n suhteen kertovat, että Kiinteistö 4:n sähkönkulutus käyttäytyy lievästi päinvastoin muiden kiinteistöjen kanssa. Otetaan siis Kiinteistö 4 tarkempaan tarkasteluun.

Kiinteistö 4:n (Kuvio 22) kulutuksessa nähdään itseasiassa hyvin odotettavan kaltaista käyttäytymistä. Sähkönkulutus kasvaa kylmempiä ja pimeämpiä syys- ja talvikuukausia kohden ja laskee taas kevään ja kesän ajaksi.



Kuvio 22. Kiinteistö 4:n sähkönkulutus kuukausittain.

Vertaillaan Kiinteistö 4:ä sen kanssa suurimman negatiivisen korrelaatiokertoimen saaneeseen kiinteistöön (eli Kiinteistö 2) ja selvitetään, löytyisikö selitys Kiinteistö 4:n korrelaatiokertoimille sitä kautta. Kuten aiemmin todettiin, on kiinteistöjen käyttötarkoituksissa eroja. Tämä näkyy myös Kiinteistö 2:n ja Kiinteistö 4:n välillä, sillä kun Kiinteistö 4:ssä käytetään sähköä enemmän syys- ja talvikuukausina, Kiinteistö 2:ssa (Kuvio 23) taas kulutuksen huiput osuvat kevät- ja kesäkuukausille. Edellä mainittu käyttäytyminen on odotettavissa, sillä Kiinteistö 4 on koulurakennus ja luonnollisesti kesäkuukausina käyttö jää vähäisemmälle, kun taas Kiinteistö 2 on toimistorakennus ja käyttö jakautuu tasaisemmin ympäri vuoden, jonka lisäksi kesäisin sähköä kuluu mm. LVI-tekniikan käyttöön tilojen viilennyksen ja runsaamman vedenkulutuksen myötä.

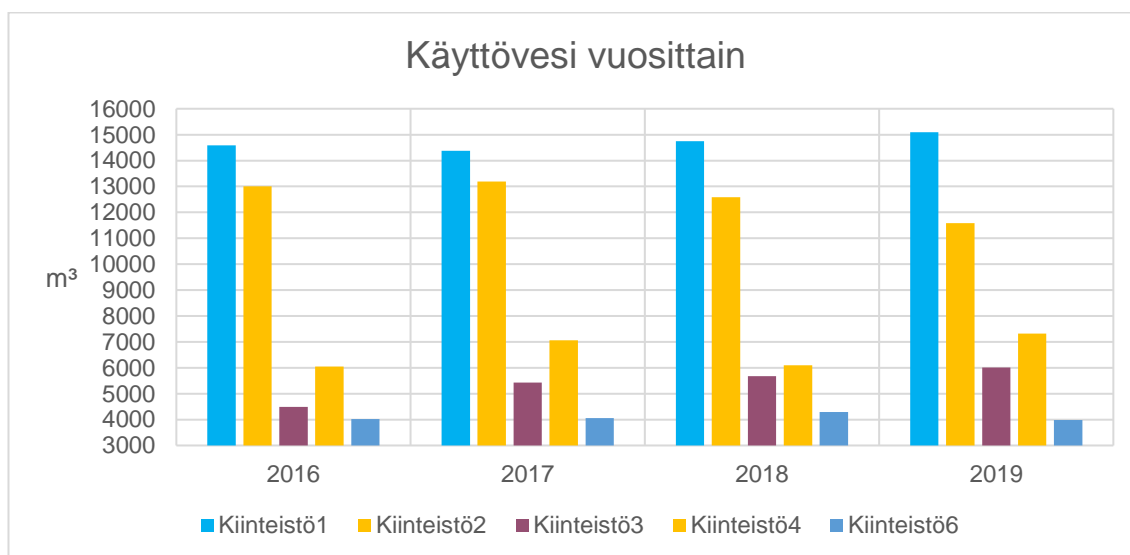


Kuvio 23. Kiinteistö 2:n sähkönkulutus kuukausittain.

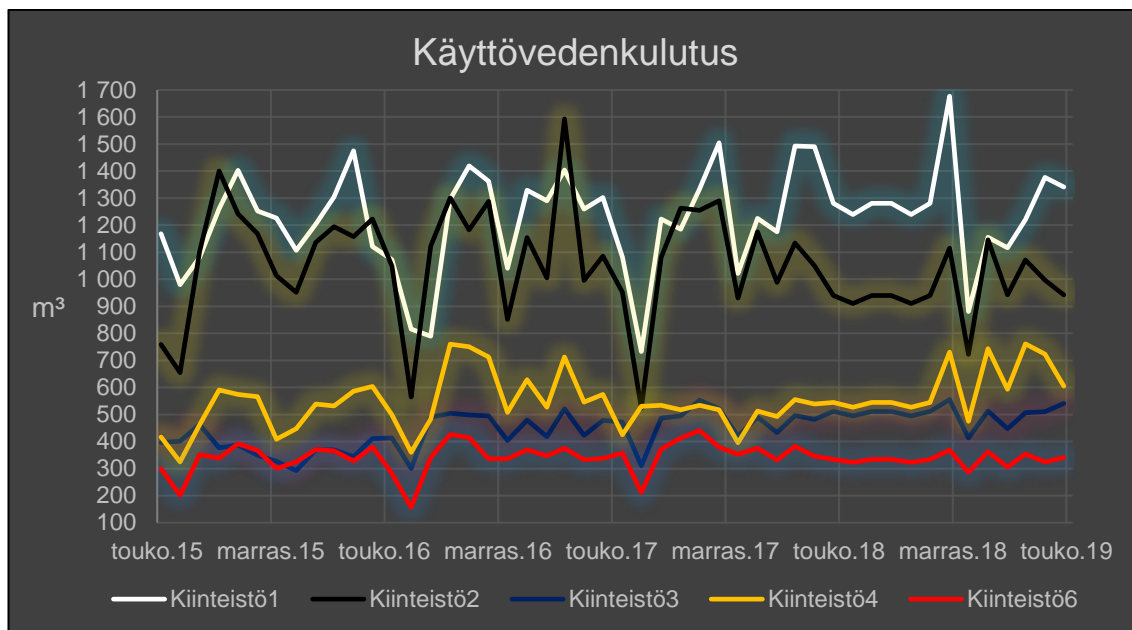
## 5.4 Käyttövesi

Vedenkulutukselle on ominaista pysyä samassa kiinteistössä suhteellisen samansuuruisena vuodesta toiseen, mikäli käyttäjien määrässä tai teknisissä ratkaisuissa ei tapahdu suuria muutoksia. Vuosittaisesta tasaisuudesta huolimatta, on kuitenkin hetkellisesti suuretkin vaihtelut käyttöveden kulutukselle tyypillistä, kuten vesivahingon, käyttäjämäärien vaihtelun (yleisötapaukset yms.) ja ulkolämpötilojen (kasteluvesi, juomavesi yms.) takia. Tästä syystä myös käyttöveden kulutuksen analysointi on epätarkempaa ja sen datan paikkansapitävyydestä on hankalampi tehdä johtopäätöksiä. Data-analytiikkaa voidaan kuitenkin käyttää analysoimaan vedenkäytön tapoja kiinteistöissä, sekä tutkia käytön trendejä. Kiinteistö 5:n vedenkulutustietoja ei ole mitattu tarkastelujaksolla ollenkaan.

Vuosittaisista kulutuksista (Kuvio 24) voidaankin huomata vedenkulutuksen olleen suhteellisen tasaista vuodesta toiseen, eikä silmämääräisesti havaittavia huomiota herättäviä arvoja löydy kuukausittaisella tasollakaan (Kuvio 25). Jyrkät laskut ajoittuvat kesäkaudelle eli toisin sanoen loma-ajalle milloin kiinteistöjen käyttö on selvästi vähäisempää.



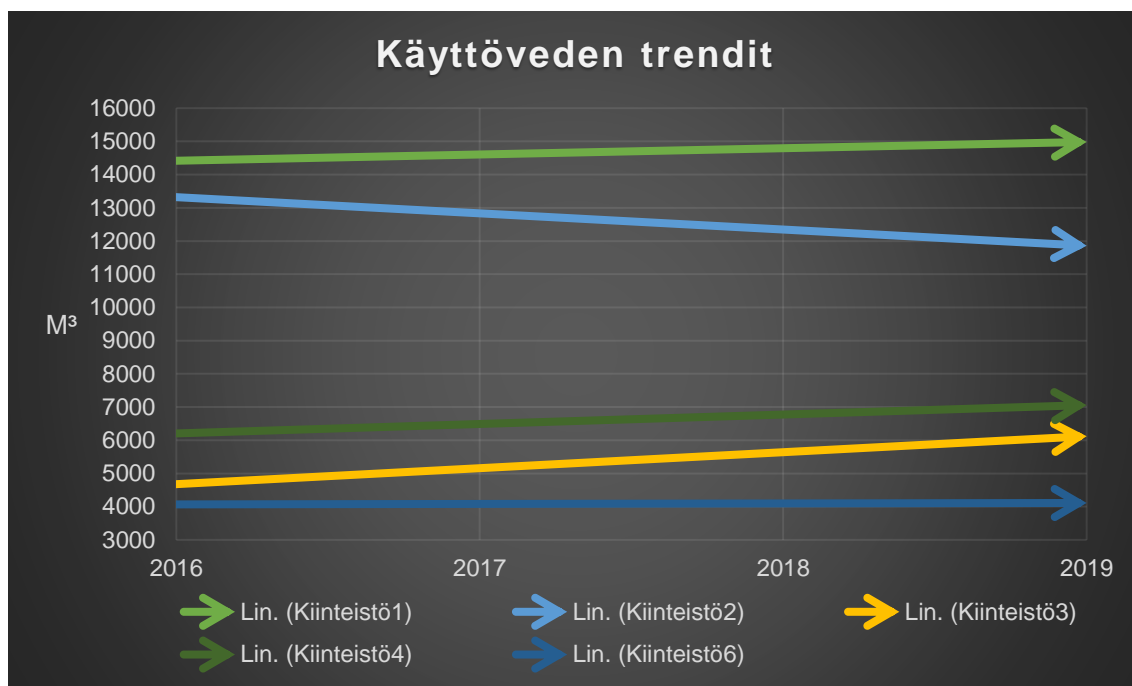
Kuvio 24. Käyttöveden kulutus (m³) vuosittain.



Kuvio 25. Käyttöveden kulutus (m³) kuukausittain.

Aiemmin mainituista syistä johtuen, ei ole tarkoituksenmukaista lähteä suodattamaan vedenkulutuksen dataa. Suuretkin vedenkulutuksen poikkeamat voivat olla todellisia, eikä silmämääräisesti ole havaittavissa mitään selkeitä virhearvoja. Koska yksi työn tavoite on kuitenkin tarkastella data-analyysin menetelmiä kiinteistöjen kulutusten seurannassa, tutkitaan käyttöveden kulutuksen trendejä, korrelaatiota ja keskipituuksia.

Käyttöveden lineaariset trendit antavat yksiselitteisen kuvan siitä, onko käyttöveden kulutus nousussa vai laskussa yleisellä tasolla. Kiinteistöjä 2 ja 6 lukuun ottamatta, näkyy muiden kiinteistöjen kulutusten olevan noususuhteessa (Kuvio 26), mikä tietenkään ei ole suotavaa, jos tavoitteena on energiatehokkuuden ja -kulutuksen minimointi. Asia ei tietenkään ole niin yksiselitteistä, että pelkkien yksittäisten trendien perusteella voitaisiin tehdä tarkempia johtopäätöksiä vedenkäytöstä kiinteistöissä.



Kuvio 26. Käyttövedenkulutuksen trendit vuodesta 2016 vuoteen 2019.

Kun tarkasteluun lisätään kiinteistöjen väliset korrelaatiokertoimet (Taulukko 5) ja kiinteistöjen sisäiset keskihajonnan ja keskiarvon poikkeamat (Taulukko 6), voidaan tehdä tarkempaa analyysiä kulutuksen käyttäytymisestä ja mahdollisesti huomata poikkeavia lukemia. Kuukausittaisten kulutusten korrelaatiokertoimista huomataan, että kiinteistöjen vedenkulutuksilla on taipumusta pieneen korrelointiin keskenään, mutta kertoimet ovat niin pienet, ettei voida varsinaisesti sanoa niiden korreloivan keskenään. Tämä ei tietenkään ole odotettavissakaan, sillä kuten aiemmin mainittu, on käyttövedenkulutus hyvin monesta muuttujasta kiinni, joten kulutuksen tasaisuus on odotettavissa vain kiinteistöjen sisäisissä tarkasteluissa suuremmilla aikaväleillä, kuten vuosittaisia kulutuksia tarkasteltaessa.

Taulukko 5. Kiinteistöjen väliset käyttövedenkulutuksen korrelaatiokertoimet.

Käyttövedenkulutuksen korrelaatiokertoimet							
1–2	0,597	2–3	0,357	3–4	0,498	4–6	0,508
1–3	0,474	2–4	0,556	3–6	0,524		
1–4	0,545	2–6	0,790				
1–6	0,596						

Kiinteistö 1 ja Kiinteistö 2 ovat käyttäjämääriltään selvästi suuremmat kuin muut kiinteistöt, ja tämä näkyy myös vedenkulutuksien keskiarvoissa ja keskihajonnassa. Kiinteistöjen sisäiset keskihajontojen ja keskiarvojen suhteet ovat kuitenkin suurin piirtein samaa luokkaa keskenään. Kun luodaan korrelaatiokerroin kaikkien kiinteistöjen keskihajontojen ja keskiarvojen välille, saadaan hyvin vahva n. 0,976 positiivinen kerroin.

Taulukko 6. Kiinteistöjen väliset käyttövedenkulutuksen keskihajonnat, keskiarvot ja näiden välinen korrelaatiokerroin.

Funktio	Kiinteistö 1	Kiinteistö 2	Kiinteistö 3	Kiinteistö 4	Kiinteistö 6
Keskihajonta	204,16	202,34	57,54	104,29	52,49
Keskiarvo	1 228,29	1 037,61	475,29	568,85	342,76
Suhde	0,17	0,20	0,12	0,18	0,15
Korrelaatio	0,97626				

Vahva korrelaatiokerroin keskihajontojen ja keskiarvojen välillä viittaa siihen, että kiinteistöjen käyttövedenkulutuksen vaihtelu on hyvin samankaltaista suhteessa niiden keskimääräiseen kulutukseen, joka taas kertoo kiinteistöjen kulutusten käyttäytyvän hyvin ennustetusti pitkällä aikavälillä, eikä epäjohdonmukaista käyttäytymistä ole kuukausittaisella taikka vuosittaisella mittakaavalla havaittavissa.

## 6 POHDINTA

Rakennuksista koituu huomattava (noin 40 %) määrä koko maailman primäärienergiankulutuksesta ja tämä koskee myös Suomea. Ihmisten määrän yhä kasvaessa on pakko löytää uusia, kestävämpiä tapoja tuottaa ja kuluttaa energiaa. Vaikka rakennuksien käytöstä johtuvat kulutukset on vain osa mainittua 40 prosenttia, on kulutuksen ja teknisten ratkaisujen säästöpotentiaali silti valtava. EU:n direktiivit ja Suomen lainsäädäntö kiristävät jatkuvaa tahtia pyrkinessään kohti kunnianhimoisia tavoitteitaan, mutta suuri vastuu on julkisen sektorin lisäksi myös yksityisellä sektorilla sekä ihmisillä yksilöinä. Tietoisuus energia- ja ympäristöasioissa onkin yhä paremmalla tasolla ja kuluttajat ovat oppineet vaatimaan kestävämpää ja ympäristöystävällisempää toimintaa palveluntarjoajiltaan ja yhteistyökumppaneiltaan. Tämä luo yhä enemmän painetta yrityksille. Mitä pikemmin ja tarkemmin epäkohtiin aletaan puuttumaan, sitä helpompaa ja nopeampaa yrityksillä on vastata asiakkaidensa tarpeisiin.

Huomasin toimeksiantajallani työskennellessäni energiankulutuksen seurannan ja sen hyödyntämisen olevan odotettua vähäisempää huomioon ottaen, että toimeksiantajani toiminta on muuten hyvin laajaa, kattavaa ja laadukasta. Huomasin kulutuksia tutkiesani, että sieltä täältä löytyi erikoisia lukemia, jotka eivät voineet pitää paikkaansa. Paikoittain löytyi kohtia, joissa ei ollut lukemia lainkaan. Tämä sai minut tutkimaan asiaa laajemmin opinnäytetyöni kautta, sillä luotettava ja optimoitu energiankulutusseuranta olisi taloudellisesti kannattavaa varsinkin kiinteistöjen omistajille, mutta myös niitä hoitaville tahoille, sillä luotettavuus ja laatu ovat tärkeitä valintaperusteita uusia asiakassuhteita luodessa ja palveluiden kilpailutuksessa.

Työssä pyrittiin saatavilla olevaa kiinteistöjen kulutusdataa tutkimalla selvittämään sen luotettavuutta, jotta epäkohtiin voitaisiin perehtyä ja kulutusseurantaa tarvittaessa kehittää. Myös EU:n ja Suomen energiapoliittista kantaa kiinteistöjä kohtaan pyrittiin selvittämään. Niin kuin luvussa 2 huomataan, tavoitteet ovat kunnianhimoiset, mutta itse säädökset ovat melko ympäripyöreitä, eikä niiden saavuttamiseksi ole asetettu varsinaista selkeää toimintasuunnitelmaa. Toki vaaditaan energiakatselmuksien sisältävän kehitysideoita energiatehokkuuden parantamiseksi, mutta mitään vaateita niiden toteuttamiselle ei ole. Tämä on tietenkin ymmärrettävää siinä mielessä, että tällaiset toimenpiteet vaativat mahdollisista valtion avustuksista huolimatta pääomaa taikka lainaa, eikä pakotteet

yrittäjien talouden kustannuksella myöskään olisi suotava keino energiatehokkuuden parantamiseksi.

Kerätty aineisto puhdistettiin ensin selkeistä virheellisistä arvoista, jonka jälkeen puhdistetusta datasta pyrittiin data-analytiikan menetelmiä käyttäen löytämään muita poikkeavia arvoja. Kun tarkastelussa havaitaan poikkeuksellisen suuria kulutuksia (kuten 100,000 MWh keskiarvon ollessa 100MWh) taikka lukema puuttuu kokonaan, voidaan näin ollen olla hyvin varmoja, että kyseessä on virhe. Kuitenkin työssä tuli vastaan myös tilanteita, jossa arvo oli esimerkiksi ”vain” 300 % keskiarvoa suurempi. Tällaisista tapauksista ei voida vielä tehdä lopullisia johtopäätöksiä siitä, onko arvo virheellinen vai todellinen. Kyseessä saattaa esimerkiksi kaukolämpövedenkulutuksen kohdalla olla kaukolämpöputken hajoaminen, joka on kompensoitu toteutuneeseen kaukolämmönkulutukseen, jonka takia teoreettinen arvo ei mene yhteen järjestelmään kirjatun arvon kanssa. Kun tällaisia tapauksia on paljon, on niitä jälkikäteen hyvin vaikea lähteä selvittämään. Tästä syystä olisi suotavaa kirjata kaikki kulutuksiin vaikuttavat tapahtumat ylös järjestelmään, jotta ne olisivat kulutuksia tutkivan tahon käytössä tarvittaessa. Toimeksiantajalla on käytössä kiinteistöjen kulutusraportit, joista löytyy yhteenveto joka kuukaudelta, mutta niistä ei selvinnyt mitään, mikä selittäisi työssä havaittuja arvoja.

Koska Turku Energian ja teoreettisen lämmönkulutuksen osalta oli havaittavissa toisiaan tukevaa dataa, sekä koska toimeksiantaja käyttää kaukolämmönkulutuksen seurannassa Turku Energian mittareita, tapahtuvat virheet todennäköisesti toimeksiantajan järjestelmässä. Erot Turku Energian ja teoreettisten arvojen kesken todettiin johtuvan kaukolämpövedenkulutuksen virheistä, jotka heijastuvat kaukolämmön teoreettiseen kulutukseen niiden ollessa yksiä kaukolämpöenergian laskennassa käytettävistä muuttujista. Toimeksiantajan ja teoreettisen lämmönkulutuksen arvot myös korreloivat keskenään, vaikka ei eivät muuten olleet samansuuruisia. Tämä viittaisi siihen, että toimeksiantajan järjestelmän datan kirjauksen virheet olisivat ns. pilkkuvirheitä, tai sitten kulutuksien yksiköt olisivat menneet sekaisin. Käyttöveden ja sähkön seurantojen todettiin vaikuttavan luotettavilta.

Johtopäätöksenä on, että datan perusteella kaukolämmön ja kaukolämpöveden kulutusseuranta nykyisellään ei ole täysin luotettavaa kiinteistöissä, tai ainakaan osassa niistä, vaan havaittujen virheiden syitä olisi syytä tarkastella enemmän. Myös yksityiskohtaisemman ja reaaliaikaisemman energiaseurannan käyttöönotto olisi kannattavaa. Käy-



tännössä tämä voisi tarkoittaa kulutusten ”tilintarkastustyyppistä” seurantaa energiahallinnan ammattilaisen toimesta eli kyseiseen tehtävään sijoitettua henkilöä, jonka tehtävä on tutkia kuukausittain kulutuksia ja tarpeen tullen konsultoida muuta henkilöstöä virheiden selvittämiseksi. Vaihtoehtoisesti energiankulutustietojen tallentaminen ja raportointi olisi syytä muuttaa yksityiskohtaisemmaksi ja kattavammaksi.

## LÄHTEET

- Aalto yliopisto 2014. Opintomoniste. Matemaattiset ohjelmistot. Interpolaatio. Viitattu 20.3.2021
- Chen, J. 2021. Investopedia. Technical analysis. Technical analysis basic education. Trendline. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: <https://www.investopedia.com/terms/t/trendline.asp>
- Energiateollisuus ry 2007. Opas. Käytä lämpöä oikein. Lämmön mittausta. Viitattu 7.9.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://www.someronlampo.fi/client/somero/userfiles/kayta-kaukolampoa-oikein-0.pdf>
- Energiateollisuus ry 2014. Suositus. Sopimustehotyöryhmä. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Viitattu 14.3.2021. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: [https://energia.fi/fi/files/586/Teho\\_ja\\_vesivirta\\_SuositusK15\\_2014.pdf](https://energia.fi/fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf)
- Energiavirasto 2020. Energiatietokanta. Energiakatselmukset. Ketä laki koskee. Viitattu 14.9.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://energiavirasto.fi/energiakatselmukset>
- Envera Oy 2020. Palvelut. Fiksuvesi. Haettu 17.12.2021. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://smartvatten.com/fi/palvelut/etaseuranta/>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU. Asiakirja 32012L0027. Viitattu 14.9.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX:32012L0027>
- Euroopan unioni 2021. EU:n toimet. Climate strategies and targets. 2030 Climate & Energy Framework. Viitattu 18.4.2021. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en)
- Finlex 2014. Lainsäädäntö. Säädökset alkuperäisinä. 2014. 1429/2014. Viitattu 14.9.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141429>
- Helen Oy 2020. Kaukolämpölaitteet. Viitattu 7.9.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/nykyisille-asiakkaille/kaukolampolaitteet>
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2020. Taloyhtiön energiaeksperttikurssit. Lämmitys. Lämmitysenergiankulutuksen normeeraus eli sääkorjaus. Viitattu 4.9.2020. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: <https://koutsu.hsy.fi/courses/energiaekspertti/lessons/lammitys-2/topic/lampoindeksi-energiankulutuksen-mittarina/>
- Ilmatieteenlaitos 2020. Rakentaminen ja kiinteistönhuolto. Lämmitystarveluvut. Haettu 6.11.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>
- Kallio, R. & Mäkinen, M. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu. Otavan Kirjapaino Oy. Viitattu 14.3.2021
- Karttunen, H. 2001. Datan käsittely. Helsinki. CSC-Tieteen tietotekniikan keskus. Viitattu 8.3.2021
- Motiva 2020. Lämmitysenergian kulutus. Koti ja asuminen. Taloyhtiöt. Energiaeksperttitoiminta. Tietoa energian- ja vedenkulutuksesta. Viitattu 20.10.2020. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa\\_energian-ja\\_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian-ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus)
- Motiva 2020. Rakentaminen ja rakennukset. Viitattu 13.8.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat/tietopankki/rakentaminen\\_ja\\_rakennukset](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset)

Pitanatri, P., Hamidi, D., Christianty, R., Lydia, E. & Shankar, K. 2019. How Data Analytics and Survey Data is Important for the Long Term Decision of Business. Journal of Critical Reviews. Bali tourism polytechnic, Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi PGRI Sukabumi, Universitas Pattimura. Indonesia. Viitattu 17.3.2021. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: <http://www.jcre-view.com/fulltext/197-1577778047.pdf?1578104503>

Pylsy, P. 2013. Taloyhtiön energiatodistus. Mitä, miten, milloin. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus

Pylsy, P. 2014. Uudet energiatehokkuusmääräykset korjausrakentamisessa. Opas taloyhtiöille. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus

Tilastokeskus 2020. Tietoa tilastoista. Käsitteet. T. Trendi. Viitattu 20.10.2020. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: <https://www.stat.fi/meta/kas/trendi.html>

Tilastokeskus 2021. Tuotteet ja palvelut. Koulutus ja oppiminen. Tilastokoulu. Sanasto. Haettu 13.2.2021. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: [https://tilastokoulu.stat.fi/verkko-koulu\\_v2.xql?page\\_type=sanasto#A](https://tilastokoulu.stat.fi/verkko-koulu_v2.xql?page_type=sanasto#A)

Toimeksiantaja 2019. Energiankulutustiedot. Haettu 19.7.2019

Toimeksiantajan edustaja1 2019. Suullinen tiedonanto. Useita haastatteluja 2018–2019

Toimeksiantajan edustaja2 2019. Suullinen tiedonanto. Useita haastatteluja 2018–2019

Turku Energia 2019. Kaukolämmön energiankulutustiedot Turun teknologiakiinteistöissä. Haettu 24.7.2019

Turku Energia 2020. Ota yhteyttä. Usein kysyttyä. Etäluettavat sähkömittarit. Viitattu 24.11.2020. Saatavissa sähköisesti osoitteessa: <https://www.turkuenergia.fi/ota-yhteytta/usein-kysyttya/etalu-ettavat-sahkomittarit/>

Tyler-Jackson, A. 2019. The 5 Different Trend Lines Explained. The Data School. Viitattu 20.3.2021. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: <https://www.thedataschool.com.au/alex-taylor-jackson/the-5-different-trend-lines-explained/>

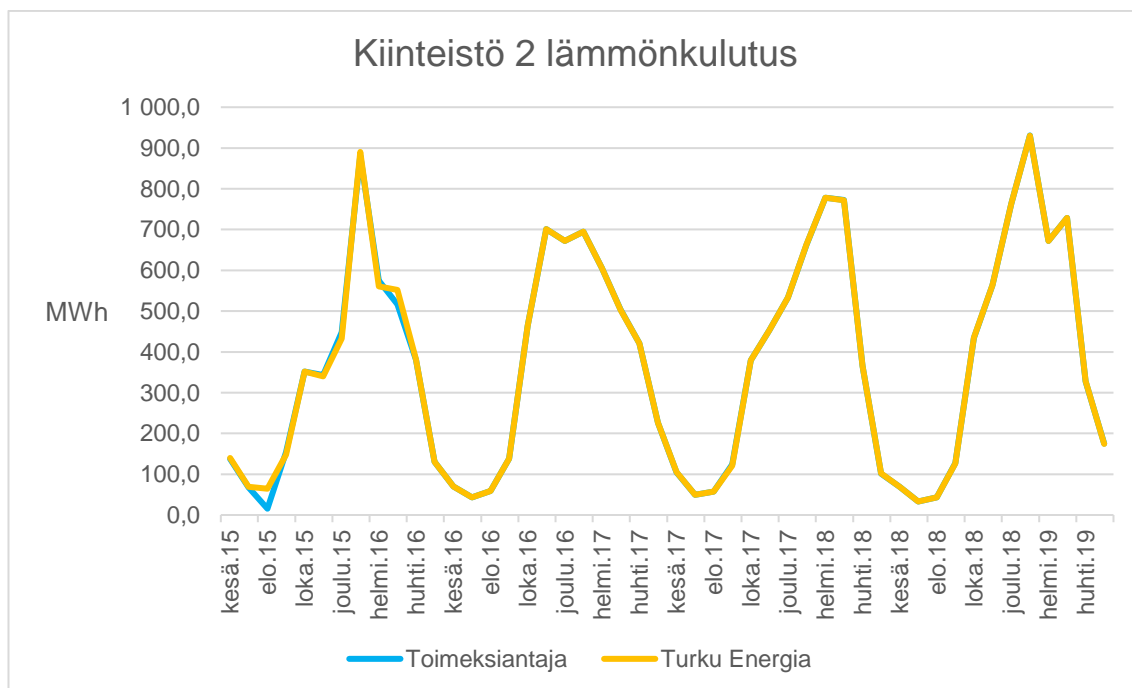
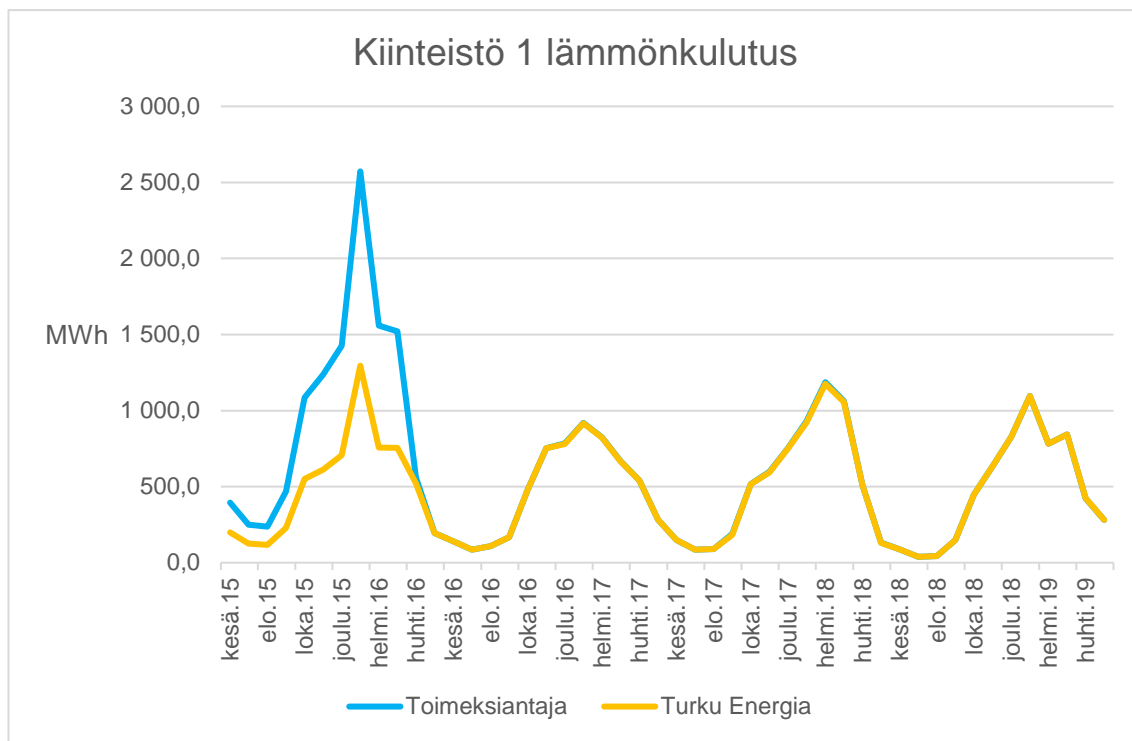
Uusiolämpöseminaari 2019. Turun ammattikorkeakoulu. Turku. Pidetty 16.5.2019. Saatavilla sähköisesti osoitteessa: [http://www.turkuamk.fi/media/filer\\_public/89/eb/89eb8859-018d-4dda-af6f-db85d2459d9f/uusiolampo-seminaarin\\_esitykset\\_lr.pdf](http://www.turkuamk.fi/media/filer_public/89/eb/89eb8859-018d-4dda-af6f-db85d2459d9f/uusiolampo-seminaarin_esitykset_lr.pdf)

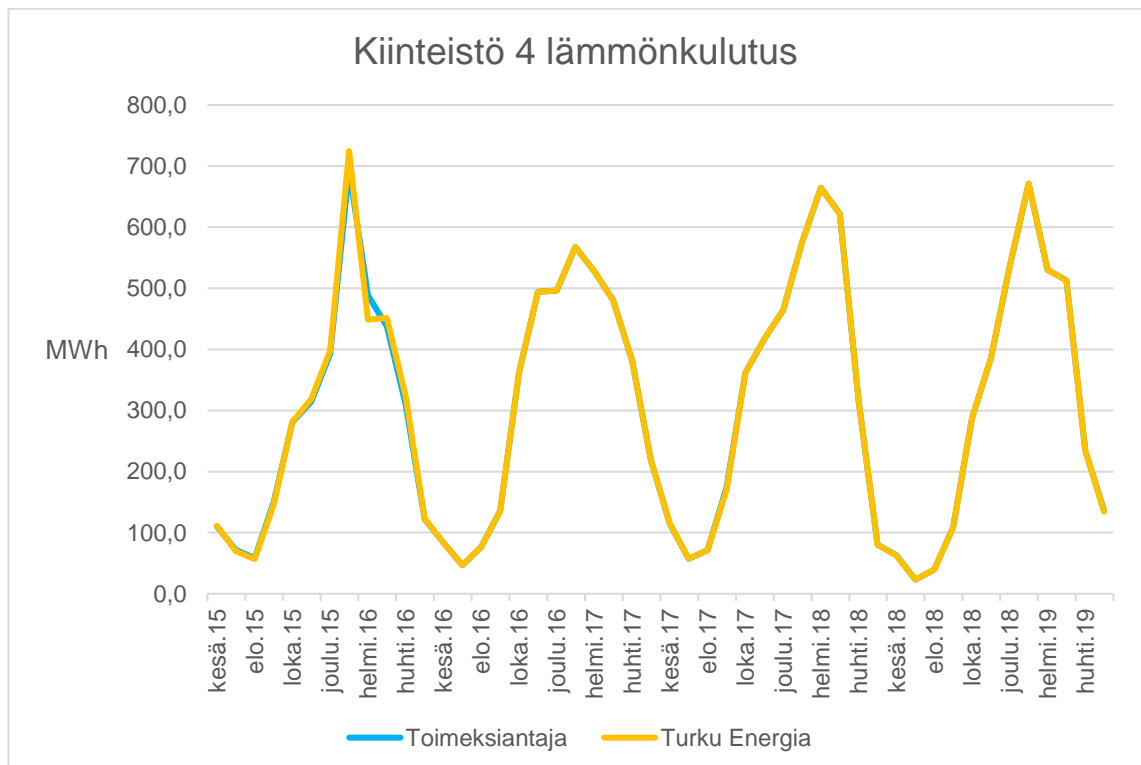
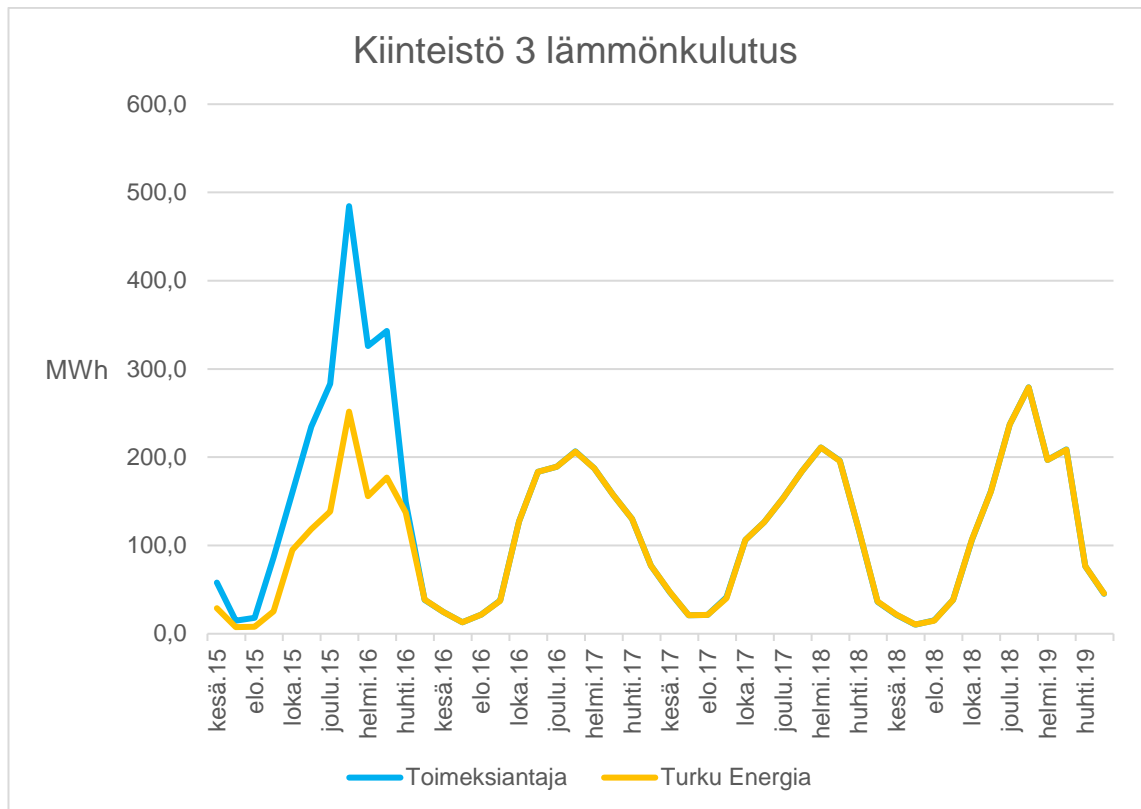
Weisstein, E. 2002. CRC Concise Encyclopedia of Mathematics. New York. Chapman & Hall/CRC. Viitattu 20.3.2021

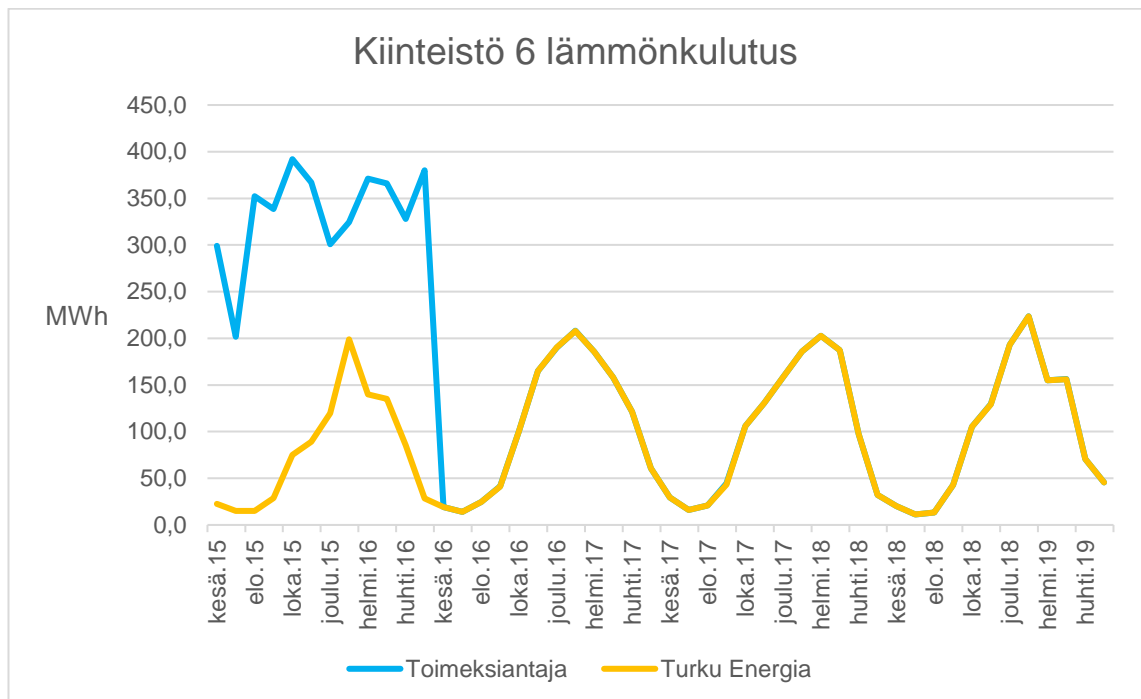
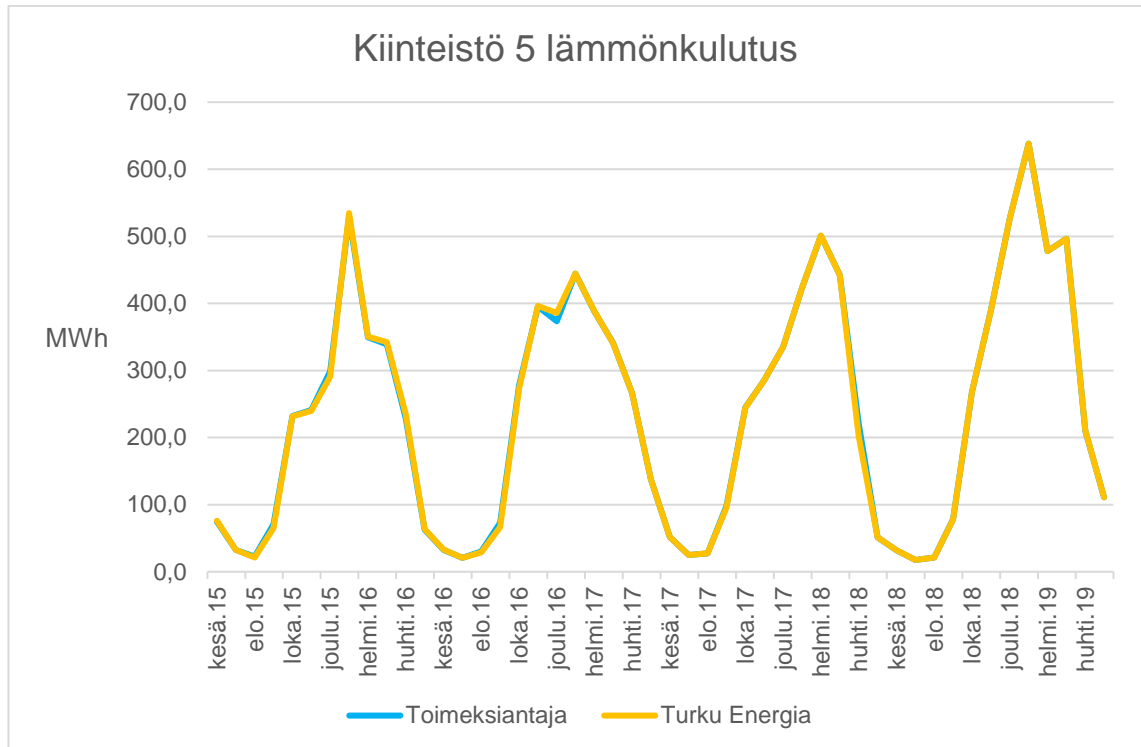
Xia, B.S & Gong, P. 2015. Review of business intelligence through data analysis. Benchmarking: An International Journal, Vol. 21 No. 2. Viitattu 15.3.2021

1048/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Annettu 20.12.2017. Viitattu 3.12.2020. Saatavilla sähköisesti: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048>

## Kiinteistöjen lämmönkulutukset tarkasteluajanjaksolla Toimeksiantajan ja Turku Energian välillä







## Toimeksiantajan ja Turku Energian suhde teoreettiseen lämmönkulutukseen

