

Suomalaisten sähköntoimittajien siirtohintojen klusterirakenteista

Waldemar Sorjonen

Perustieteiden korkeakoulu

Kandidaatintyö
Espoo 6.1.2024

Vastuuopettaja

Prof. Pauliina Ilmonen

Työn ohjaaja

Prof. Pauliina Ilmonen



**Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu**

Copyright © 2024 Waldemar Sorjonen

The document can be stored and made available to the public on the open internet pages of Aalto University.
All other rights are reserved.



Tekijä Waldemar Sorjonen

Työn nimi Suomalaisten sähköntoimittajien siirtohintojen klusterirakenteista

Koulutusohjelma Teknistieteellinen kandidaattiohjelma

Pääaine Matematiikka ja systeemitieteet

Pääaineen koodi SCI3029

Vastuuopettaja Prof. Pauliina Ilmonen

Työn ohjaaja Prof. Pauliina Ilmonen

Päivämäärä 6.1.2024

Sivumäärä 28+3

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Sähkö on jokaisen ihmisen oikeus ja monen sähkölämmitteisen suomalaisen elinehto talvisin. Jokainen suomalainen tarvitsee sähköä, mutta toiset maksavat siitä enemmän kuin toiset – sähkön hinta riippuu sopimuksesta, jonka kuluttaja solmii sähköyhtiön kanssa. Jako on siinä mielessä reilu, että jokainen voi valita sähköntuottajansa itse ja pyrkiä saamaan parhaan sopimuksen. On kuitenkin yksi osa sähkölaskua, jota kuluttaja ei voi kilpailuttaa: siirtohintaa.

Tämä kandidaatintutkielma tarkastelee suomalaisten sähkönsiirtoyritysten hintatasoja käyttäen K:n keskiarvon koneoppimismenetelmää. K:n keskiarvon menetelmä jakaa datan ominaisuuksiltaan samanlaisiin ryhmiin, siis klustereihin. Tavoitteena on klusteroida suomalaiset sähköntoimittajat hintaryhmiin käyttäjätyyppikohtaisten siirtohintojen mukaan. Hintaluokitellut yhtiöt sijoitetaan Suomen kartalle ja sijainnin vaikutusta siirtohintoihin analysoidaan. Tämä toistetaan kolmelle ajankohdalle eri vuosina: 11/2019, 11/2021 ja 11/2022.

Datan käsittely osoittaa käyttäjätyyppikohtaisten siirtohintojen olevan vahvasti korreloituneita. Sähkönsiirtoyhtiöt jakautuvat kolmeen klusteriin: ”edullinen”, ”keskihintainen” ja ”kallis”. Klustereiden keskihinnoissa on suuria eroja, esimerkiksi kalliin ja edullisen klusterin hintaero on jopa 77% kerrostalohuoneistolle. Tämä vastaa keskivertaiselle kerrostaloasujalle noin 10€/kk lisäystä sähkölaskuun, mihin hän ei voi vaikuttaa muuten kuin muuttamalla. Tulosten perusteella sähkönsiirtoyhtiön maantieteellisellä sijainnilla on merkitystä sähkönsiirtohintaan. Samalla alueella esiintyvät yhtiöt ovat todennäköisesti myös samassa hintaklusterissa. Kallit sähköyhtiöt näyttävät painottuvan varsinkin Itä-Suomeen ja edulliset länsirannikolle. Pohjois-Etelä akselilla hintahajontaa on vähemmän. Väestötiheys näyttää vaikuttavan siirtohintoihin käänteisesti. Käsittely toistetaan vielä neljällä ja viidellä klusterilla. Tästä syntyvät tulokset eivät kuitenkaan merkittävästi eroa kolmesta klusterista.

Tutkimusta voidaan tulevaisuudessa jatkaa keskittymällä suurien hintaerojen syihin: mitkä tekijät vaikuttavat klustereiden välisten hintaerojen syntymiseen? Entä mikä aiheuttaa klustereiden maantieteelliseen jakautumiseen kartalla ja mikä nostaa juuri Itä-Suomessa sijaitsevien sähköyhtiöiden hintaa?

Avainsanat k:n keskiarvon menetelmä, klusteri, sähkö, siirtohintaa

Author Waldemar Sorjonen

Title Suomalaisten sähköntoimittajien siirtohintojen klusterirakenteista

Degree programme Bachelor's Programme in Science and Technology

Major Mathematics and Systems Sciences

Code of major SCI3029

Teacher in charge Prof. Pauliina Ilmonen

Advisor Prof. Pauliina Ilmonen

Date 6.1.2024

Number of pages 28+3

Language Finnish

Abstract

Electricity is a right of every person and a lifeline of many Finns who heat their homes with electricity during winter. Everyone needs electricity, yet the cost is different for each person - the cost of electricity depends on the contract made between the consumer and the electricity provider. It's a fair deal: everyone can choose their own energy provider and strive for the best price. There is, however, a part of the electricity bill one can not impact: the transfer price of electricity.

This thesis investigates the transfer price of electricity in Finland using k-means machine learning method. The method splits the data into groups of similar features, called a cluster. Aim of the thesis is to separate Finnish electricity transfer businesses into price categories depending on different user prices for energy transfer. The businesses are then placed on a map of Finland and effects of location on transfer price are studied. This procedure is repeated for three separate dates 11/2019, 11/2021 and 11/2022.

Data processing indicates that the prices for different user types are highly correlated. Electricity transfer businesses were separated into three clusters: "cheap", "mid-range" and "expensive". There are large differences between the mean prices of the groups. For example, the mean price for an apartment building is 77% larger in the expensive cluster compared to the cheap cluster. This corresponds to an increase of 10€/month in the electricity bill. The location of the business has an effect on transfer price. Businesses that are near each other are often assigned to the same cluster. The most expensive businesses were often located in eastern Finland and the cheap businesses in western Finland. The transfer price of electricity seemed to be inversely dependent on the population density. The procedure was also repeated for four and five clusters, but this did not change the outcome.

Future research could focus on the reasons of the price difference between the clusters. Which factors contribute to the price differences of the clusters? What causes the price difference of individual locations? Why is the transfer price of electricity in eastern Finland so high?

Keywords k-means, cluster, electricity

Sisällys

Tiivistelmä	3
Tiivistelmä (englanniksi)	4
Sisällys	5
1 Johdanto	7
2 Tausta	7
2.1 Sähkö Suomen mediassa ja koronaviruspandemia	7
2.2 Ukrainan sota	8
2.3 Olkiluoto 3 ja vihreä siirtymä	10
2.4 Sähkön hintarakenteet	12
3 K:n kerkiarvon klusterointimenetelmä	14
3.1 Algoritmi	14
3.2 Klustereiden määrä ja alustus	16
4 Tutkimusaineisto ja -menetelmät	17
4.1 Käytetty aineisto	17
4.2 Menetelmät ja toteutus	18
5 Tulokset ja johtopäätökset	21
5.1 Yhteenveto	26
A Inertia ja siluettiluku 1/2021 ja 1/2022	29
B Karttakuvat $k = 4$ ja $k = 5$	30

Symbolit ja määritelmät

k	$\in \mathbb{Z}$, Klustereiden lukumäärä.
n	$\in \mathbb{Z}$, Datapisteiden lukumäärä.
d	$\in \mathbb{Z}$, Muuttujien lukumäärä.
$\mathbf{X}$	$\in \mathbb{R}^{n,d}$, Numeerinen datamatriisi, jonka riveinä toimivat yksittäiset datapisteet ja sarakkeina kuhunkin datapisteeseen liittyvät muuttujat.
$\mathbf{y}$	$\in \mathbb{R}^n$, merkki-vektori, jonka alkio $y_i \in \{1, 2, \dots, k\}$. Kertoo kullekin datapisteelle asetetun klusterin.
C_i	Klusterin i sisältämien pisteiden x_j joukko.
c_i	Klusterin C_i keskus piste.

1 Johdanto

Sähkö on puhuttanut suomalaisia kovasti viime vuosina. Eikä ihme, sillä sähkön markkinahinta on ollut yhtä vuoristorataa muun muassa koronaviruspandemian, Ukrainan sodan ja Olkiluoto 3:n valmistumisen myötä. Vaikka siirtohinnan osuus sähkölaskussa on yhtä suuri kuin markkinahinnan, on aihe paljon vaietumpi. Siirtohintaan kiinnostanee ihmisiä vähemmän, sillä sen kokoon ei voi vaikuttaa: kuluttaja ei voi kilpailuttaa sähkönsiirtoaan muuten kuin muuttamalla. Tämä sähkönsiirtoyhtiöiden luonnollinen monopoli on kuitenkin yhteiskunnan ja kuluttajan edun kannalta monella tapaa ongelmallinen. Siirtohintoja on myös vaikea vertailla, sillä ne ovat erilaiset jokaiselle. Sähkönsiirto maksaa kerrostaloasunnossa enemmän kuin omakotitalossa.

Tässä työssä tarkastellaan suomalaisten sähköntoimittajien siirtohintoja. Jokainen suomalainen sähköntoimittaja jaetaan hintaryhmään, siis klusteriin, joka kuvaa toimittajan hintatasoa verrattuna muihin yhtiöihin. Pyrkimyksenä on tutkia sähkönsiirtoyhtiöiden monopolia kriittisesti ja paljastaa, missä päin Suomea ihmiset maksavat sähkönsiirrosta epäoikeudenmukaisesti enemmän kuin toiset. Hintavertailu tehdään K:n keskiarvon koneoppimismenetelmällä, joka ottaa huomioon hinnan kullekin käyttäjätypille.

Käsittelen sähkön hintavaihtelua tarkemmin luvussa 2. K:n keskiarvon menetelmällä on lukuisia käyttötarkoituksia joiden virtaustyyppien luokittelusta vakuumuspetosten nappaamiseen. K:n keskiarvon menetelmään perehdytään luvussa 3. Luku 4 kuvaa yksityiskohtaisesti käytetyn aineiston sekä tavan, jolla K:n keskiarvon menetelmää on sovellettu. Luku 5 pitää sisällään karttakuvat sekä tulokset, joista lukija voi tarkistaa mihin hintaluokkaan oma sähköntoimittaja kuuluu.

2 Tausta

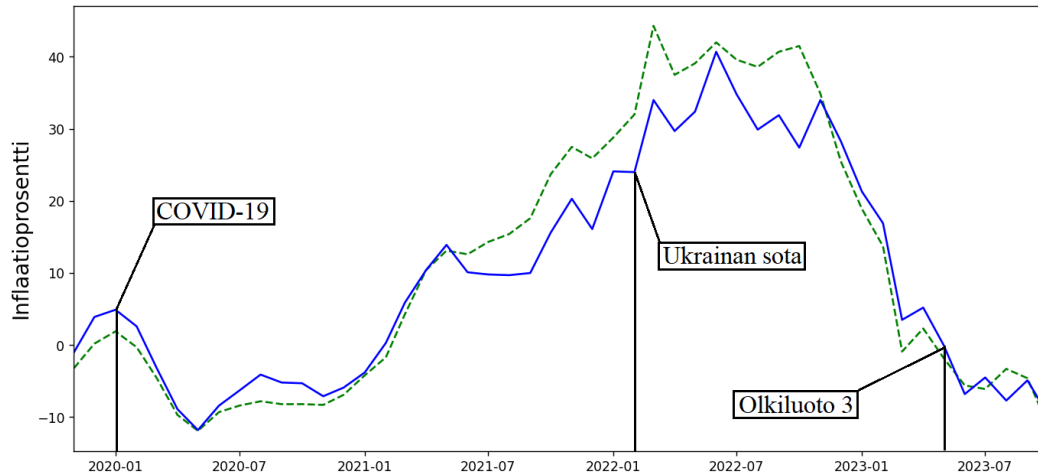
2.1 Sähkö Suomen mediassa ja koronaviruspandemia

Sähkön hinnan heilahtelu sekä dynaaminen hinnoittelu ovat olleet kuluneen vuoden aikana runsaasti esillä suomalaisessa mediassa. Google-haku sivustolta ”www.hs.fi” ajalta 1.9.2022 – 1.9.2023 ja hakusanalla ”sähkön hinta” tuottaa 286 tulosta. Luku approksimoi Helsingin Sanomissa kirjoitettujen artikkeleiden määrää, ja se lähestyy jo yhtä artikkelia per päivä. Helsingin Sanomat kirjoittaa: ”Sähkön hinta on juuri nyt noin seitsemänkertainen viime vuoteen verrattuna” ([Lassila, 2022](#)), valtion media Yle taas kirjoittaa: ”Sähkö oli kuluneena vuonna kalleinta koskaan, mutta arvio vuoden 2023 sähkön hinnoista on rohkaiseva” ([Uusitalo, 2022](#)) ja Kauppalehti kirjoittaa: ”Sähkön hinta on nyt laskenut poikkeuksellisen alas – Näin varmistat edullisen sopimuksen talveksi” ([Koponen, 2023](#)). Median mukaan sähkön hinta on siis ollut ennätyksellisen kallista – ja saman vuoden sisällä myös ennätyksellisen halpaa. Sähkön hinta kiinnostanee suomalaisia, sillä se on merkittävä kuluerä suomalaisissa omakotitalouksissa.

Sähkön hinnan epävakaiseen käytökseen ovat vaikuttaneet vuosien 2020 – 2023 aikana ainakin koronaviruspandemia, vihreä siirtymä, sekä Venäjän hyökkäys Ukrainaan. Suomessa myös Olkiluoto 3 -ydinvoimalan avautuminen oli yksi merkittävistä

tekijöistä. Kuva 1 havainnollistaa merkittävien tapahtumien vaikutusta sähkön hintaan Suomessa sekä muualla Euroopassa:

Sähkön inflaatioprosentti Suomessa ja Euroopassa



Kuva 1: Sähkön hintainflaatio (%), Suomi sinisellä ja Euroopan valtioiden keskiarvo vihreällä katkoviivalla. Data: ([Eurostat, 2023](#))

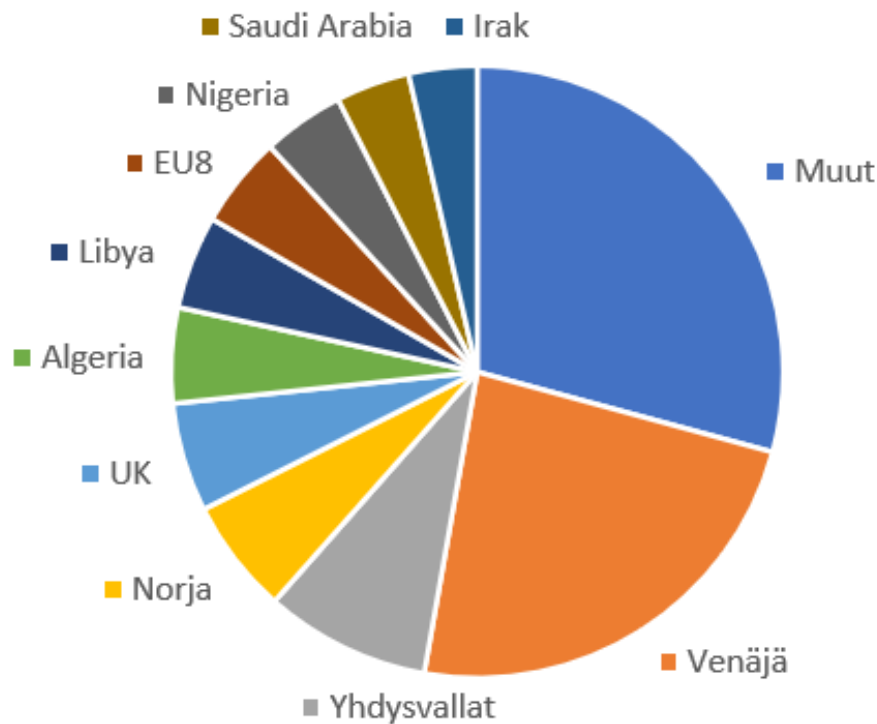
Energian hinta näyttää kuvassa 1 kääntyneen laskuun pian koronaviruspandemian alun jälkeen. Pandemian aikana otettiin käyttöön rajoitteita, joilla oli vaikutuksia ihmisten liikkumiseen, työntekoon ja ostoskäyttäytymiseen. Näitä olivat mm. kokoon-tumisrajoitukset (yli 10 ihmisen tilaisuudet kielletty), matkustusrajoitukset, sekä palveluiden kuten ravintoloiden ja kuntosalien sulkeminen. ([Onnettomuustutkimus-keskus, 2021](#))

Vaikka samaan aikaan kotitalouksien sähkönkulutus kasvoi, sähkön hinnan laskun on todettu johtuvan kysynnän dramaattisesta laskusta erityisesti teollisuudessa sekä palveluntarjoajilla. Koronavirusrajoituksille on todettu suora yhteys kysynnän laskuun. Koronatilanteen parantuessa ja teollisuuden elpyessä myös sähkön kysyntä ja hinta alkoi nousta alkuvuodesta 2021. ([Lazo et al., 2022](#))

2.2 Ukrainan sota

Venäjä on ollut vuosia Euroopan energiatalouden kauppakumppani. Kuva 2 havainnollistaa eri maiden osuuksia Euroopan energiatuonnissa.

Energian tuontiprosentti Eurooppaan 2019



Kuva 2: Euroopan energiatuonnin jakauma maittain vuonna 2019. Data: ([Adolfson et al., 2022](#)).

Venäjä aloitti täysimittaisen hyökkäyksen Ukrainaan 24. päivä helmikuuta vuonna 2022. Vuonna 2019 ennen sotaa Venäjän osuus Eurooppaan tuodusta öljystä oli 23 % ja hiilestä 43 %. Erityisen riippuvainen Eurooppa on ollut Venäjän maakaasusta (35 % tuonnista ja 11 % käytetystä energiasta). Kaiken kaikkiaan Venäjä on ollut Euroopan suurin energian maahantuoja, joka kattaa 22,9 % kaikesta Eurooppaan tuodusta energiasta.

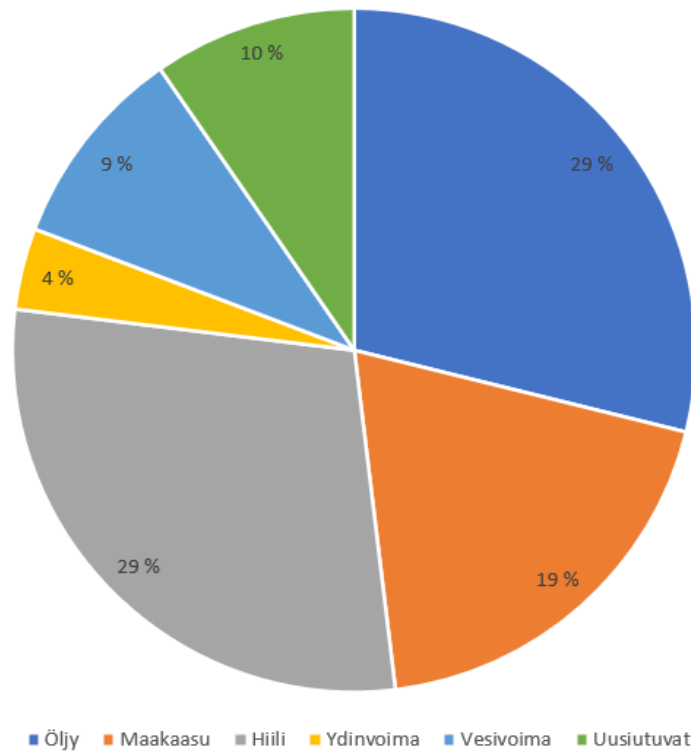
Pian hyökkäyksen alettua Eurooppa sekä lukuisat muut maat asettivat Venäjälle kauppajaoitteita vastalauseena hyökkäykselle sekä vähentämään Venäjän sotabudjettia. Energiaan liittyvät talousrajoitteet ovat mm. kieltäneet venäläisen hiilen tuonnin sekä vähentäneet öljyn tuontia merkittävästi. Euroopan riippuvuuden vuoksi kaasun tuontia on rajoitettu hillitymmmin, vaikkakin kaasua tuovan Nord Stream 2 -putken rakentaminen Venäjän ja Saksan välille keskeytettiin. Venäjää vastaan asetetut kauppajaoitukset ovat nostaneet merkittävästi sähkön hintoja Euroopassa, mikä johtuu sekä suoraan tuontiresurssien vähentymisestä että epäsuorasti yleisestä taloussuhdanteiden heilahtelusta. ([Adolfson et al., 2022](#))

2.3 Olkiluoto 3 ja vihreä siirtymä

Olkiluoto 3 avattiin huhtikuussa 2023 ja se on kirjoitushetkellä maailman kolmanneksi suurin ydinvoimala, tuottaen noin 14% kaikesta Suomen sähköstä (TVO, 2023). Luonnollisesti tarjonnan kasvaminen vähentää markkinahintoja ja Olkiluoto 3:n käyminen täydellä teholla on arvioitu laskeneen energian pörssihintoja Suomessa noin 5 snt/kWh (Kohvakka, 2023).

Vihreällä siirtymällä tarkoitetaan maailmanlaajuisista energian tuotantorakenteen muutosta, jossa fossiiliset polttoaineet pyritään korvaamaan uusiutuvilla energiamuodoilla. Vihreää siirtymää motivoi ilmastonmuutos, jonka on todettu johtuvan pitkälti fossiilisten polttoaineiden poltosta vapautuvista kasvihuonekaasuista. Vihreää siirtymää kannustanee toisaalta myös tuuli- ja aurinkoenergian kasvanut kustannustehokkuus sekä ilmastonmuutoksesta riippumattomat fossiilisten polttoaineiden ympäristöhaitat.

Energiatuotannon jakautuminen maailmassa 2022



Kuva 3: Energiatuotannon osuudet koko maailman energiatuotannosta. Huomaa, että vesivoima on erotettu muista uusiutuvista energialähteistä. Data: (The Energy Institute, 2023)

Prosessi on kuitenkin hidas. Kuva 3 visualisoi eri energiamuotojen osuuksia kokonaistuotannosta. Vihreästä siirtymästä huolimatta 82% maailman energiatuotannosta vuonna 2022 tuli fossiilisista polttoaineista. Osuus oli sama kuin vuonna 2021. Hyvänä uutisena uusiutuvien energianlähteiden osuus kasvoi vuonna 2022 noin yhden

prosenttiyksikön 7,5 prosenttiin maailman tuotannosta. ([The Energy Institute, 2023](#))

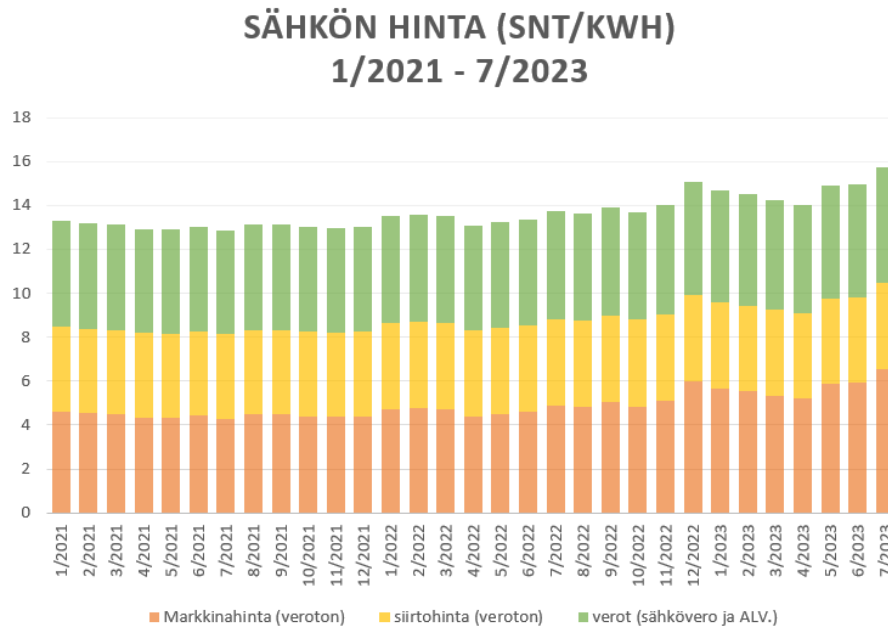
Esimerkiksi Euroopan Unionin tavoitteena on 55 %:n vähennys kasvihuonekaasuisa vuoteen 2030 mennessä (vuoden 1990 arvoihin verrattuna) ja kasvihuonepäästöjen lopettaminen vuoteen 2050 mennessä. Näihin tavoitteisiin pyritään mm. investoimalla ja tukemalla vihreää energiaa sekä verottamalla fossiilisten polttoaineiden käyttöä. ([EU-komissio, 2023a,b](#))

Fossiilisia polttoaineita käytetään, koska ne ovat edullisia, luotettavia ja säilöittäviä. Näitä ominaisuuksia myös uusiutuvat energilähteet kaipaavat. Sähkön säilöminen on kuitenkin kallista nykyisellä akkuteknologialla. Uusiutuvat energialähteet ovat aina myös säähän sidonnaisia. Sähkön säilöminen ja hyvä siirtoinfrastruktuuri ovat kriittisiä, sillä tuotantopiikit ja kysyntäpiikit eivät aina osu samaan aikaan. ([Borenstein ja Kellogg, 2021](#))

Uusiutuvat energialähteet tarvitsevat siis huomattavia investointeja sekä maiden väliseen että sisäiseen energiainfrastruktuuriin, jotta vaihtuva sähköntuotanto voi aina saavuttaa kysynnän. Vaihtoehtoisesti voidaan investoida energian säilömiseen. Ihmisten ja tavaroiden liike on suuri osa energian kulutuksesta ja sen sähköistäminen (sähköautoihin siirtyminen) on tärkeä osa vihreää siirtymää. Tarvittavan latausverkon saavuttaminen vaatii investointeja. Energian siirtoon tehtävät investoinnit saattavat näkyä tulevaisuudessa siirtohintojen kohoamisena.

Vihreän siirtymän vaikutus markkinahintaan on vaihteleva. Uusiutuvien energimuotojen tuotannon vaihtelevuus voi näkyä sähkön hinnan vaihteluna. Uusiutuvan energian käytössä on kuitenkin huomattu hintoja alentava vaikutus. Yhden prosenttiyksikön kasvu uusiutuvan energian tuotannossa Euroopassa näyttäisi laskevan energian hintaa 0,6 prosenttiyksikköä. ([Cevik ja Ninomiya, 2023](#))

2.4 Sähkön hintarakenteet



Kuva 4: Markkinahinnan, siirtohinnan ja verojen osuudet sähkön kokonaishinnasta, kotitalous > 15000 kWh vuosikulutus. Data: ([Tilastokeskus](#), 2023)

Sähkön hinta Suomessa koostuu kolmesta osa-alueesta: markkinahinnasta, sähkön siirtohinnasta, sekä veroista. Kuva 4 visualisoi hintojen jakautumista keskiverrolle kotitaloudelle. Hinnat jakautuvat tyypillisesti niin, että jokaista osa-aluetta maksetaan suunnilleen yhtä paljon (~5 snt/kWh). Viimeaikainen sähkömarkkinoiden ailahtelu on kuitenkin korostanut markkinahinnan merkitystä noin puoleen kokonaishinnasta. Vastaavasti jos markkinahinta tulevaisuudessa laskee erityisen pieneksi, korostunee siirtohintojen merkitys sähkön kokonaishinnassa.

Sähkön markkinahinta Suomessa määräytyy pohjoismaisessa Nord Pool sähköpörssissä. Nord Pool määrittää aina edellisenä päivänä tulevan vuorokauden tunti-kohtaiset hinnat, siis spot-hinnat. Pörssin asiakkaat (sähkön jälleenmyyjät) jättävät osto- ja myyntitarjouksensa klo. 12:00 Keski-Euroopan aikaa, jolloin spot-hinnat syntyvät tilauksista määräytyneen kysynnän ja tarjonnan mukaan. Kysyntään ja tarjontaan vaikuttaa tuotetun sähkön määrä Nord Poolin toimialueella. Tähän taas vaikuttavat mm. sää, raaka-aineiden hinta ja saatavuus sekä tuotannon häiriöt, kuten katkot voimalaitoksissa. Kysyntään ja tarjontaan vaikuttavat vielä yleinen markkinasuhdanne ja ihmisten markkinakäyttäytyminen sekä Euroopan Unionin säätelemä päästökauppa.

Sähkön pörssihinta ei ole suoraan suomalaisen kuluttajan maksama hinta, vaan toimii ohjenuorana sähkön jälleenmyyjille. Pörssisähköön perustuviin sopimuksiin lisätään yleensä palvelumaksu ja määräaikaisten sopimusten hinnat perustuvat ennusteisiin tulevaisuuden markkinahinnasta.

Sähkönsiirtohintaa rakentuu Suomessa pääasiassa verkkoon tehtävistä investoin-

neista, juoksevista kuluista, sekä sähköyhtiön tekemistä voitoista. Nykymaailmassa jatkuva sähkönsaanti on ihmisen perustarve, minkä vuoksi sähköverkkojen kunnostamiseen tulee jatkuvasti investoida, jotta pidemmät sähkökatkot saadaan estettyä. Kriittisenä tekijänä on myös Suomen huoltovarmuus. Verkkoja tulee kunnostaa myös harvaan asutulla alueella, jossa välimatkat ovat pidempiä ja kysyntää on vähemmän. Pienempi käyttöaste saattaa nostaa sähkön siirtohintaa, mikä edelleen motivoi tutkimaan yhtiön maantieteellisen sijainnin vaikutusta hintaan. ([Partanen, 2018](#))

Sähkön siirron hinnoittelu on kuitenkin markkinatalouden kannalta ongelmallista: Usean yhtiön sähköverkkojen rakentaminen samalle maantieteelliselle alueelle on käytettävyyden kannalta tarpeetonta sekä teknisesti vaikeaa. Tämä johtaa suoraan verkkoyhtiöiden luonnolliseen monopoliin, missä alueella oleva sähköyhtiö voi itse määrittellä kuinka korkeat hinnat tahansa. Verkon käyttäjä voi kilpailuttaa sähkön siirtonsa vain muuttamalla. Ongelma on ratkaistu rajoittamalla sähköverkkojen mahdollisia voittoja lain avulla. Kullekin yhtiölle määritetään kustannusarvion perusteella voittojen maksimitaso. Tätä valvoo Energiavirasto, jolle yhtiöt lähettävät verkon kehityssuunitelman sekä erilaisten toteutumistapojen kustannusvertailun. ([Seppälä, 2021](#))

Tämä johtaa kuitenkin uuteen ongelmaan: Verkkoyhtiöillä on nyt kannuste liioitella investointeihin sekä ylläpitoon liittyviä kustannuksia. Toisaalta yhtiöillä ei ole kannustetta kustannustehokkaan ratkaisun löytämiseen, jos kallis ratkaisu voidaan aina kustantaa hintoja korottamalla. Myös sopivan tuottoprosentin määrittäminen on haastavaa. Näitä ongelmia on eri maissa pyritty ratkaisemaan mm. määrittämällä kustannuksista riippumaton hintakatto, tai määrittämällä hintakatto kaikkien samantapaisten yhtiöiden hintojen keskiarvosta. ([Wessman, 2016](#))

Sähkön verotus Suomessa on jaettu kahteen luokkaan: Veroluokka 1 sisältää mm. koti ja -maatalouden sekä julkisen sektorin. Luokassa 1 veroja maksetaan 2,253 snt/kWh. Veroluokka 2 kattaa pääasiassa teollisuuden sekä kaivostoiminnan. Luokka 2 on valtion tukema ja siinä veroja maksetaan vain 0,05 snt/kWh. Tähän lisätään vielä huoltovarmuusmaksu 0,013 snt/kWh, joka kattaa valtion varautumiseen ja huoltovarmuuden liittyviä kustannuksia. Lisäksi molemmista luokista maksetaan arvonnäisävero (ALV). ([Valtiovarainministeriö, 2023](#))

3 K:n keskiarvon klusterointimenetelmä

3.1 Algoritmi

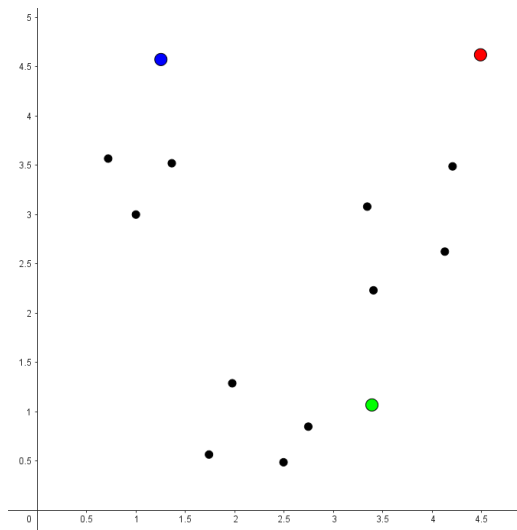
K:n keskiarvon klusterointi on koneoppimisen menetelmä, joka pyrkii jakamaan annetun datan ominaisuuksiltaan samanlaisiin ryhmiin, siis ”klustereihin”. Algoritmi luokitellaan itsenäiseksi menetelmäksi, sillä kunkin datapisteen klusteri ei ole ennalta tiedossa, vaan algoritmi pyrkii löytämään klustereita datasta itsenäisesti.

Olkoon $k \in \mathbf{Z}$ klustereiden lukumäärä ja $\mathbf{X} \in \mathbf{R}^{n,d}$ datamatriisi, missä n on datapisteiden lukumäärä ja d datapisteeseen liittyvien muuttujien lukumäärä. Tällöin $x_j \in \mathbf{R}^d$ on datamatriisin $\mathbf{X}$ rivivektori. Merkkivektori $\mathbf{y} \in \mathbf{R}^n$ kertoo kullekin datapisteelle asetetun klusterin. Olkoon C_i klusterin i sisältämien pisteiden joukko. Klusterin i keskus piste on tällöin $c_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x_j \in C_i} x_j$. Huomaa, että yleensä $c_i \notin C_i$.

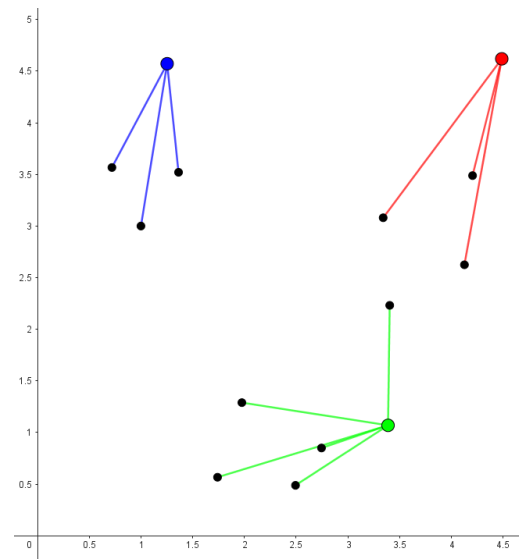
K:n keskiarvon klusterointi on siis funktio $f(\cdot) : \mathbf{R}^{n,d} \rightarrow \mathbf{R}^n$, joka pyrkii asettamaan kunkin datapisteen johonkin klusteriin, niin että $\mathbf{y} = f(\mathbf{X})$. Metodin tappiofunktiona toimii systeemin inertia:

$$\mathbf{J} = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in C_i} \|x_j - c_i\|_2^2, \quad (1)$$

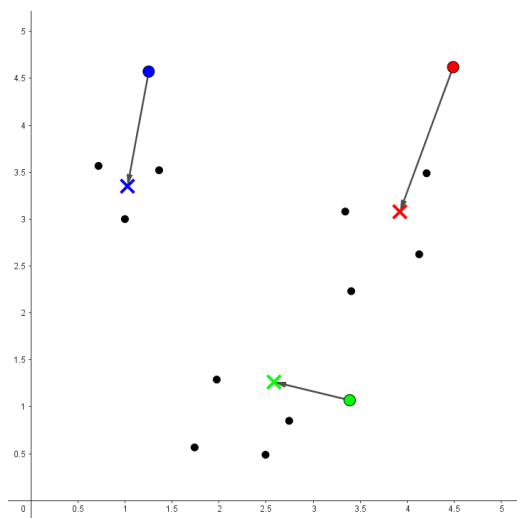
missä $\|x_j - c_i\|_2$ on vektoreiden x_j ja c_i välinen euklidinen etäisyys. Tappiofunktio muodostuu siis kunkin pisteen etäisyyden neliösummasta omaan klusterikeskukseensa. K:n keskiarvon menetelmä toimii vaiheittain. Kuva 5 havainnollistaa algoritmin kulkua kahdessa ulottuvuudessa, kun $k = 3$:



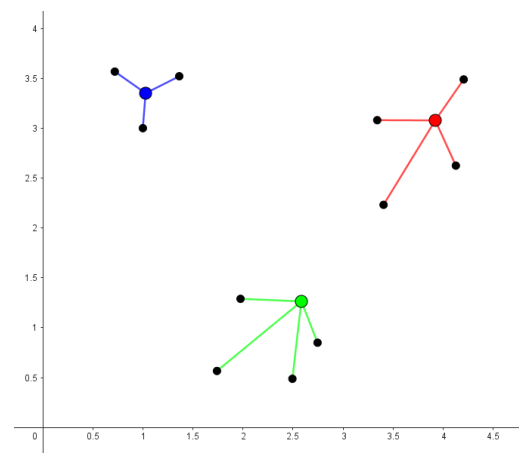
(a) Alustus



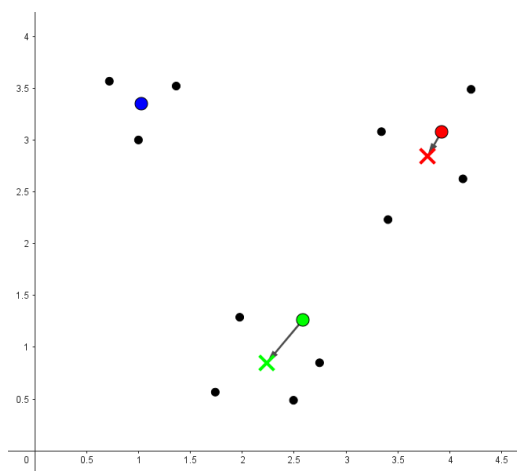
(b) Vaihe 1



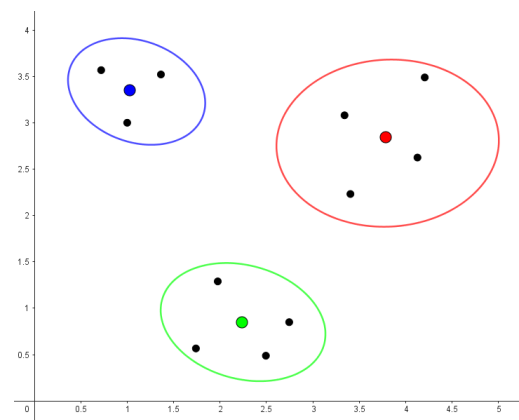
(c) Vaihe 2



(d) Vaihe 1, iteraatio 2



(e) Vaihe 2, iteraatio 2



(f) Lopetus

Kuva 5: K:n keskiarvon algoritmin kulku kahdessa ulottuvuudessa, $k = 3$.

- alustus: Valitaan k kappaletta klusterin keskus pisteitä $c_i \in \mathbb{R}^d$ satunnaisesti tai sopivalla algoritmilla.
- vaihe 1: Lasketaan kunkin datapisteen x_j euklidinen etäisyys $\|x_j - c_i\|_2$ jokaiseen keskus pisteeseen c_i . Määritetään kukin datapiste klusteriin C_i , jonka keskukseen sillä on lyhin etäisyys.
- vaihe 2: Päivitetään kunkin keskus pisteen c_i paikkaa siten, että se toimii keskus pisteenä vaiheessa 1 määritetyille pisteille. Uusi keskus piste määritellään siis kaavalla
$$c_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x_j \in C_i} x_j.$$
- lopetus: Toistetaan vaiheita 1 ja 2 kunnes inertia J ei enää muutu. (Näin käy kun lähimmät pisteet ovat vaiheessa 1 samat kuin edellisessä iteraatiossa, eivätkä keskus pisteet liiku).

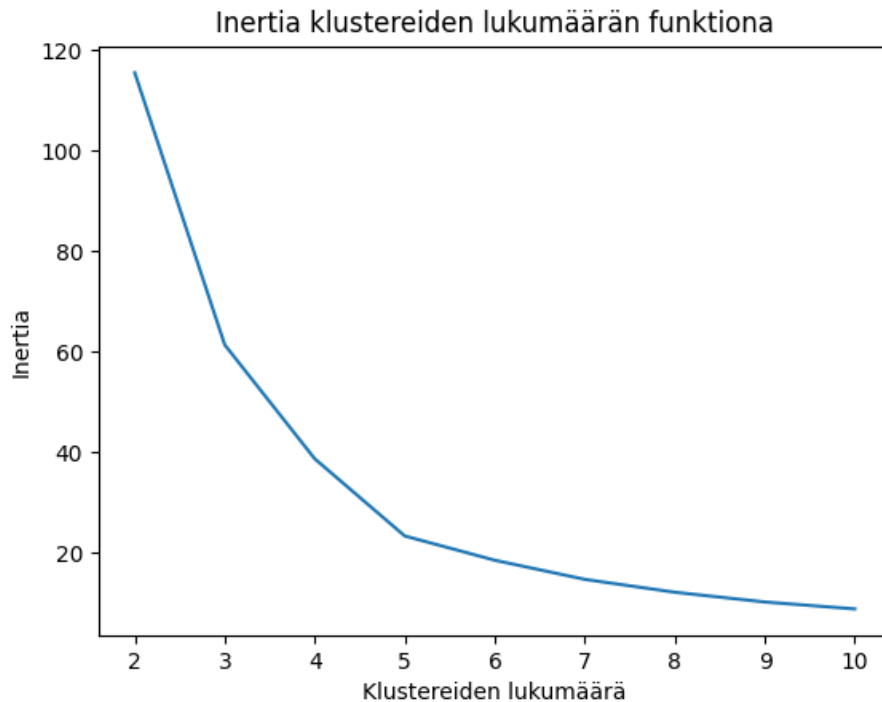
Yllä kuvattu algoritmi pyrkii vaiheessa 2 minimoimaan tappiofunktion (1). System inertia vähenee joka iteraatiolla, joten algoritmi konvergoituu varmasti johonkin lokaaliin minimiin. Koska tappiofunktio 1 ei ole konvekksi, saavutettu minimi ei välttämättä ole globaali, mikä on yksi metodin heikkouksista. (Jung, 2022)

3.2 Klustereiden määrä ja alustus

K:n keskiarvon metodi saattaa konvergoitua eri tiloihin keskus pisteiden alustuksesta riippuen. Tätä pyritään välttämään mm. ajamalla algoritmi useamman kerran erilaisilla satunnaisilla alustuksilla. Näin useampia lopputuloksia voidaan verrata.

Tässä työssä keskus pisteiden alustukseen käytetään k -means++ algoritmia, joka on yksi tunnetuimmista lähestymistavoista alustus vaiheeseen. K -means++ valitsee vain ensimmäisen keskus pisteen siten, että jokaisella datamatriisin $\mathbf{X}$ pisteellä on yhtä suuri mahdollisuus tulla valituksi. Seuraavaksi keskukseksi valitaan datamatriisin $\mathbf{X}$ piste siten, että kaukana muista keskuksista olevalla pisteellä on suurempi mahdollisuus tulla valituksi. Tätä jatketaan kunnes k keskus pistettä on valittu. On empiirisesti huomattu, että K -means++ nopeuttaa algoritmin suppenemista ja parantaa mahdollisuutta onnistuneeseen klusterointiin verrattuna siihen, että alku-peräiset klusterikeskukset oltaisiin valittu tasajakautuneesta jakaumasta. (Arthur ja Vassilvitskii, 2007)

Yksi huomioitava tekijä K :n keskiarvon metodissa on luonnollisesti klustereiden lukumäärä k . Kuvan 5 esimerkkiin olisi vähintäänkin epäintuitiivista sovittaa kahta tai vaikka viittä klusteria. Klustereiden lukumäärän valintaan on monia tapoja. Tässä työssä käytetään niistä kahta: ns. kyynärpäämetodia sekä siluettilukua. Kyynärpäämetodissa k :n keskiarvon metodi ajetaan loppuun monella eri k :n arvolla ja jokaisesta tallennetaan inertia. Klustereiden lukumääräksi valitaan se luku, jonka jälkeen k :n kasvattaminen ei enää vähennä inertiaa huomattavasti. Kuvan 6 esimerkissä k :n arvoksi valittaisiin 5. Kuva 6 havainnollistaa myös mistä kyynärpäämetodi on saanut nimensä.



Kuva 6: Inertian muutos klustereiden määrän suhteen.

Siluettiluku vertaa jokaiselle pisteelle sen oman klusterin sisäisiä etäisyyksiä sekä klustereiden välisiä etäisyyksiä. Idea on se, että mitä pienempiä klusterin sisäiset etäisyydet ovat, ja mitä suurempia klustereiden väliset etäisyydet ovat, sitä paremmin klusterointi on toteutunut. Siluettiluku kuuluu välille $[-1,1]$ ja se lasketaan pisteelle i kaavalla:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}},$$

missä $a(i)$ on keskiarvoinen etäisyys pisteestä i sen oman klusterin sisäisiin pisteisiin ja $b(i)$ on pienin etäisyys jossakin toisessa klusterissa sijaitsevaan pisteeseen. Klusteroinnin siluettiluku S voidaan antaa yksittäisten pisteiden siluettilukujen keskiarvona $S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s(i)$. Klusteroinnin hyvyttä eri k :n arvoilla voidaan sitten vertailla siluetti-luvulla. (Trupti ja Prashant, 2013)

4 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

4.1 Käytetty aineisto

Sähköntoimittajien on lähetettävä vuosittain sähköverkkojen kustannukset ja siirtohinnot Energiavirastolle, joka valvoo yhtiön tekemiä voittoja haitallisen monopolin ehkäisemiseksi. Läpinäkyvyyden vuoksi Energiavirasto myös julkaisee kuukausittaiset koosteet kunkin sähköntoimittajan siirtohinnoista. Aineisto on saatavilla excel-
taulukkona ”Sähkön hintatilastot / Sähkön siirron verkonhaltijakohtaiset keskihinnat

2019 eteenpäin” ([Energiavirasto, 2023](#)). Tässä tutkimuksessa keskitytään kolmeen ajankohtaan, 11/2019, 11/2021, 11/2022. Pyrkimyksenä on vertailla siirtohintojen ja hintaryhmien muutosta.

Taulukko 1: Käyttäjätyyppien kuvaus

Tyyppi	kuvaus	pääsulake A	sähkönkäyttö kWh/a	tehontarve kW
K1	Kerrostaloasunto	1x25	2000	-
K2	Pientalo	3x25	5000	-
M1	Maatalous/pelto	3x35	10 000	-
M2	Maatalous/karja	3x35	35 000	-
L1	Pientalo	3x25	18 000	-
L2	Pientalo	3x25	20 000	-
T1	Pienteollisuus	-	150 000	75
T2	Pienteollisuus	-	600 000	200
T3	Suurteollisuus	-	2 000 000	500
T4	Suurteollisuus	-	10 000 000	2500

Kunkin yhtiön siirtohinnat on lajiteltu käyttäjätyypeittäin (K1 - T4). Käyttäjätyyppien tunnuspiirteet on kuvattu taulukossa 1. Käyttäjätyyppit on siis jaoteltu pääasiassa vuosittaisen sähkönkäytön perusteella. Energiaviraston aineistoon on kerätty jokaisen sähköntoimittajan hinnat jokaista eri kuluttajatyyppiä kohden. Hinnat ovat aina numeerisia, yksikkönä snt/kWh. Hintoihin on lisätty valmiiksi sähkövero, ALV sekä huoltovarmuusmaksu. Sähkövero on 2,79372 snt/kWh käyttäjätyypeille K1 - L2 ja 0,07812 snt/kWh käyttäjätyypeille T1 - T4.

Tiedot siirtohintojen laskentaan ovat sähköntuojien itse ilmoittamia. Energiavirasto kuitekin valvoo oikean hintatason toteutumista ja väärän siirtohinnan ilmoittaminen on siten laitonta. Lähtökohtaisesti voidaan siis olettaa tiedon olevan luotettavaa. Sähkövirastolla ei ole kannustetta muuttaa tietoja jotakin yhtiötä suosivaksi. Energiaviraston tyypillinen valvontajakso kestää neljä vuotta. Jos yhtiön tulot ylittävät sille asetetun tulorajan, Energiavirasto saa pakottaa yhtiön kohtuullistamaan hintoja seuraavan valvontajakson aikana, kunnes tulonylitys on korjattu. Aineisto ei tarjoa tietoa siitä, onko yhtiöllä tällä hetkellä pakollisia määräaikaista alennuksia. Määräaikaiset alennukset saattavat vääristää dataa ja siirtää yksittäisiä yhtiöitä alempaan hintaluokkaan tässä tutkimuksessa. Vuonna 2022 kahdellatoista yhtiöllä oli pakollisia määräaikaista alennuksia, mikä oli huomattavasti aikaisempia vuosia enemmän ([Energiavirasto, 2022](#)). Koska alennuksia on kuitenkin vain melko pienellä osalla yhtiöitä, ei tämän pitäisi merkittävästi muuttaa tutkimuksesta saatavaa kokonaiskuvaa.

4.2 Menetelmät ja toteutus

Sähkøyhtiöiden klusterointi on toteutettu luvussa 3 kuvatulla K:n keskiarvon koneoppimismenetelmällä. Tässä datamatriisi $\mathbf{X} \in \mathbf{R}^{n,d}$ on siis Energiaviraston aineisto.

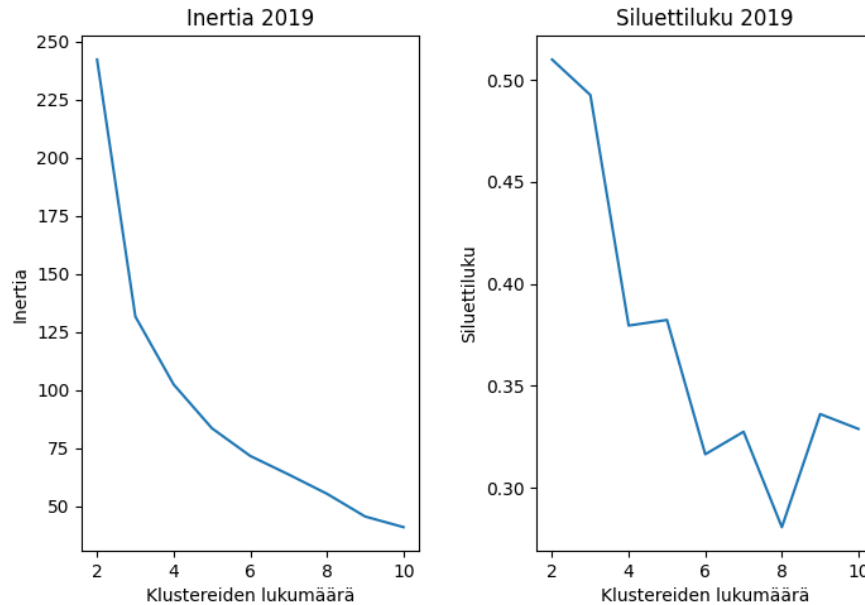
Datapisteinä toimivat yksittäiset sähkösiirtoyhtiöt, joita on vuodesta riippuen $n = 76-78$. Osalla sähköyhtiöistä (9-18 yhtiöllä vuodesta riippuen) ei ole siirtohintoja kaikille kuluttajatyypeille, mikä on klusteroinnin kannalta ongelmallista. Ratkaistaan ongelma yleisen käytännön mukaan poistamalla puutteelliset datapisteet. Datapisteiden määrä on jokaisena vuonna yhä yli 50, mikä riittänee kokonaiskuvan muodostamiseen. Datapisteiden muuttujina toimivat siirtohinnat kuluttajatyypeittäin (K1 - T4, $d = 10$). Taulukko 2 on ajankohdan 11/2019 korrelaatiomatriisi, joka kuvaa muuttujien välistä lineaarista riippuvuutta toisistaan.

Taulukko 2: 11/2019 Korrelaatiomatriisi

–	K1	K2	L1	L2	M1	M2	T1	T2	T3	T4
K1	1.00	0.81	0.75	0.74	0.83	0.72	0.69	0.70	0.56	0.58
K2	0.81	1.00	0.93	0.91	0.97	0.92	0.88	0.86	0.72	0.67
L1	0.75	0.93	1.00	0.99	0.92	0.98	0.88	0.89	0.67	0.61
L2	0.74	0.91	0.99	1.00	0.90	0.97	0.87	0.89	0.64	0.60
M1	0.83	0.97	0.92	0.90	1.00	0.92	0.88	0.85	0.70	0.65
M2	0.72	0.92	0.98	0.97	0.92	1.00	0.91	0.90	0.66	0.61
T1	0.69	0.88	0.88	0.87	0.88	0.91	1.00	0.93	0.66	0.63
T2	0.70	0.86	0.89	0.89	0.85	0.90	0.93	1.00	0.60	0.63
T3	0.56	0.72	0.67	0.64	0.70	0.66	0.66	0.60	1.00	0.89
T4	0.58	0.67	0.61	0.60	0.65	0.61	0.63	0.63	0.89	1.00

Algoritmi pyrkii siis ryhmittämään sellaiset sähköyhtiöt, joiden siirtohinnat ovat kussakin kuluttajatyypeissä samankaltaiset. Koska muuttujat ovat riippuvaisia toisistaan, johtaa klusterointi todennäköisesti ryhmiin, joissa yleinen hintataso on joko matala, keskihintainen tai kallis. Algoritmi saattaa tosin löytää myös ryhmiä, joissa kuluttajatyypien hinnat poikkeavat merkittävästi toisistaan. Näin voi käydä esimerkiksi jos ryhmä yhtiöitä myy pientaloille sähköä tavattoman kalliilla mutta teollisuudelle tavattoman halvalla verrattuna muihin yhtiöihin. Vuosien 2021 ja 2022 korrelaatiomatriisit ovat hyvin samantapaisia kuin vuoden 2019 matriisi, eikä niitä tutkita erikseen.

Muuttujien suuri määrä tekee mallista monimutkaisen ja voi lisätä epätarkkuuksia. Yksinkertaistetaan mallia yhdistämällä osa muuttujista kahden muuttujan keskiarvoksi. Uudet muuttujat ovat K, L, M, T, TT, jotka on saatu yhdistämällä muuttujat K1 ja K2, L1 ja L2, M1 ja M2, T1 ja T2 sekä T3 ja T4.



Kuva 7: 11/2019 inertia ja siluettiluku klustereiden lukumäärän funktiona

Kuva 7 havainnollistaa klustereiden määrän vaikutusta klusteroinnin ”hyvyyteen”, joka määritellään tässä inertian ja siluettiluvun mukaan. Sekä kyynärpäämetodi että korkea siluettiluku viittaa kolmen klusterin olevan järkevä määrä. Valitaan siis $k = 3$ vuodelle 2019. Vastaavat kuvat vuosille 2021/2022 löytyvät Liitteestä A. Myös vuosille 2021 ja 2022 valitaan $k = 3$ vertailtavuuden sekä visuaalisen selvyiden vuoksi. Klusterointi toistetaan kuitenkin vielä neljällä ja viidellä klusterilla vuodelle 2022. Nämä tulokset on esitelty Liitteessä B.

K:n keskiarvon klusterointi toteutettiin Python -ohjelmointikielellä käyttäen sklearn -kirjastoa. Muuttujina käytettiin yllä mainittuja muuttujia K-TT ja 3 keskus pistettä alustettiin k-means++ algoritmilla.

Sähkötoimittajien sijoittamiseksi kartalle tarvittiin kunkin toimittajan paikkatiedot. Sähkötoimittajien pääkonttorien sijainnit ovat julkista dataa, jotka kerättiin tutkimusta varten. Sijaintitiedot kerättiin hakemalla jokaisen yhtiön nimeä yksittelen Google Maps -palvelusta, joka antaa osoitteen mukaan sijainnin koordinaatit. Työssä oletetaan, että yhtiöiden pääkonttorit ovat samalla alueella kuin yhtiöiden ylläpitämät sähköverkot. Oletus toteutunee suurimmassa osassa sähköyhtiöitä, mutta saattaa paikoittain aiheuttaa epätarkkuuksia.

5 Tulokset ja johtopäätökset

Taulukko 3: Sähkøyhtiöt klusteroituina hintaluokittain (2019, 2021, 2022)

2019		
klusteri 1	klusteri 2	klusteri 3
Caruna Espoo Oy	Alajärven Sähkö Oy	Caruna Oy
ESE-Verkko Oy	Ekenäs Energi Ab - Tammisaaren Energia Oy	Elenia Oy
Forssan Verkkopalvelut Oy	Esse Elektro-Kraft Ab	Järvi-Suomen Energia Oy
Haukiputaan Sähköosuuskunta	Haminan Energia Oy	Kuoreveden Sähkö Oy
Helen Sähköverkko Oy	Herrfors Nät-Verkko Oy Ab	Kajave Oy
Iin Energia Oy	Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy	Outokummun Energia Oy
Alva Sähköverkko Oy	Jylhän Sähköosuuskunta	Parikkalan Valo Oy
Kemin Energia ja Vesi Oy	Keuruun Sähkö Oy	PKS Sähkösiirto Oy
Keravan Energia Oy	Koillis-Lapin Sähkö Oy	Savon Voima Verkko Oy
Kokkolan Energiaverkot Oy	Kymenlaakson Sähköverkko Oy	
KSS Verkko Oy	Köyliön-Säkylän Sähkö Oy	
Kuopion Sähköverkko Oy	Lammaisten Energia Oy	
Naantalin Energia Oy	Lappeenrannan Energiaverkot Oy	
Nurmijärven Sähköverkko Oy	Leppäkosken Sähkö Oy	
Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy	Nivos Energia Oy	
Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy	Paneliankosken Voima Oy	
Pori Energia Sähköverkot Oy	Porvoon Sähköverkko Oy	
Raahen Energia Oy	Rovakaira Oy	
Rantakairan Sähkö Oy	Sallila Sähkönsiirto Oy	
Rauman Energia Sähköverkko Oy	Sipoon Energia Oy	
Rovaniemen Verkko Oy	Tornionlaakson Sähkö Oy	
Seiverkot Oy	Vakka-Suomen Voima Oy	
Tampereen Sähköverkko Oy	Vatajankosken Sähkö Oy	
Tornion Energia Oy	Vetelin Energia Oy	
Turku Energia Sähköverkot Oy	Vimpelin Voima Oy	
Vaasan Sähköverkko Oy		
Valkeakosken Energia Oy		
Vantaan Energia Sähköverkot Oy		
Verkko Korpela Oy		
Äänekosken Energia Oy		
2021		
klusteri 1	klusteri 2	klusteri 3
Äänekosken Energia Oy	Alajärven Sähkö Oy	Caruna Oy
Caruna Espoo Oy	Elenia Verkko Oyj	Järvi-Suomen Energia Oy
Haukiputaan Sähköosuuskunta	Forssan Verkkopalvelut Oy	Kuoreveden Sähkö Oy
Helen Sähköverkko Oy	Haminan Energia Oy	Kajave Oy
Iin Energia Oy	Herrfors Nät-Verkko Oy Ab	Okun Energia Oy
Jakobstads Energiverk	Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy	Parikkalan Valo Oy
Alva Sähköverkko Oy	Keuruun Sähkö Oy	PKS Sähkösiirto Oy
Kemin Energia ja Vesi Oy	Koillis-Lapin Sähkö Oy	
Keminmaan Energia Oy	Koillis-Satakunnan Sähkö Oy	
Keravan Energia Oy	Kymenlaakson Sähköverkko Oy	
Kokkolan Energiaverkot Oy	Lammaisten Energia Oy	
KSS Verkko Oy	Lappeenrannan Energiaverkot Oy	
Kuopion Sähköverkko Oy	Leppäkosken Sähkö Oy	
LE-Sähköverkko Oy	Nivos Energia Oy	
Naantalin Energia Oy	Paneliankosken Voima Oy	
Oulun Energia Sähköverkko Oy	Porvoon Sähköverkko Oy	
Raahen Energia Oy	Raseborgs Energi Ab - Raaseporin Energia Oy	
Rantakairan Sähkö Oy	Rovakaira Oy	
Rovaniemen Verkko Oy	Tenergia Oy	
Seiverkot Oy	TLS Verkko Oy	
Sipoon Energia Oy	Tunturiverkko Oy	
Tampereen Sähköverkko Oy	Vakka-Suomen Voima Oy	
Tornion Energia Oy	Vatajankosken Sähköverkko Oy	
Turku Energia Sähköverkot Oy	Vetelin Energia Oy	
Vaasan Sähköverkko Oy	Vimpelin Voima Oy	
Valkeakosken Energia Oy		
Vantaan Energia Sähköverkot Oy		
Verkko Korpela Oy		

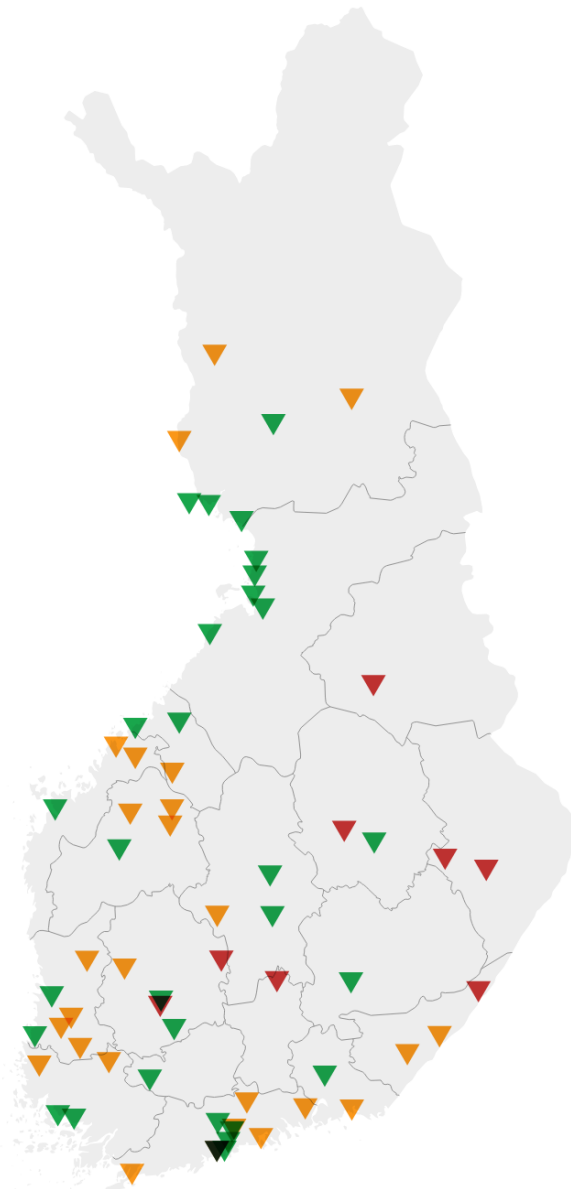
2022		
klusteri 1	klusteri 2	klusteri 3
Äänekosken Energia Oy	Alajärven Sähkö Oy	Caruna Oy
Caruna Espoo Oy	Forssan Verkkopalvelut Oy	Elenia Verkko Oyj
Haukiputaan Sähköosuuskunta	Haminan Energia Oy	Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy
Helen Sähköverkko Oy	Herrfors Nät-Verkko Oy Ab	Järvi-Suomen Energia Oy
Iin Energia Oy	Jylhän Sähköosuuskunta	Kuoreveden Sähkö Oy
Jakobstads Energiverk	Keuruun Sähkö Oy	Kajave Oy
Alva Sähköverkko Oy	Koillis-Lapin Sähkö Oy	Okun Energia Oy
Kemin Energia ja Vesi Oy	Koillis-Satakunnan Sähkö Oy	Parikkalan Valo Oy
Keminmaan Energia Oy	Köyliön-Säkylän Sähkö Oy	PKS Sähkösiirto Oy
Keravan Energia Oy	Kymenlaakson Sähköverkko Oy	
Kokkolan Energiaverkot Oy	Lammaisten Energia Oy	
KSS Verkko Oy	Leppäkosken Sähkö Oy	
Kuopion Sähköverkko Oy	Nivos Energia Oy	
Lappeenrannan Energiaverkot Oy	Paneliankosken Voima Oy	
Lahti Energia Sähköverkko Oy	Raseborgs Energi Ab - Raaseporin Energia Oy	
Naantalin Energia Oy	Rovakaira Oy	
Oulun Energia Sähköverkko Oy	Tenergia Oy	
Porvoon Sähköverkko Oy	TLS Verkko Oy	
Raahen Energia Oy	Tunturiverkko Oy	
Rantakairan Sähkö Oy	Vakka-Suomen Voima Oy	
Rauman Energia Sähköverkko Oy	Vatajankosken Sähköverkko Oy	
Rovaniemen Verkko Oy	Vetelin Energia Oy	
Seiverkot Oy	Vimpelin Voima Oy	
Sipoon Energia Oy		
Tampereen Sähköverkko Oy		
Tornion Energia Oy		
Turku Energia Sähköverkot Oy		
Vaasan Sähköverkko Oy		
Valkeakosken Energia Oy		
Vantaan Energia Sähköverkot Oy		
Verkko Korpela Oy		

Taulukko 3 esittää K:n keskiarvon menetelmän muodostamat klusterit sähkönsiirto-yhtiöille marraskuussa vuosina 2019, 2021 ja 2022. Klusterit on määritelty niin, että klusteriin 1 kuuluvat siirtohinnoiltaan ”edulliset”, klusteriin 2 ”keskihintaiset” ja klusteriin 3 ”kalliit” sähköyhtiöt. Sähköyhtiö ei välttämättä löydy kaikkien vuosien taulukosta ainakin kolmesta syystä: Yhtiö on datasta poistettujen yhtiöiden joukossa yhtenä vuonna muttei toisena. Yhtiö on vaihtanut nimeään. Yhtiö on mennyt konkurssiin tai yhdistynyt jonkin toisen yhtiön kanssa.

Kaiken kaikkiaan yhtiöiden liikkuvuus klustereiden väleillä on melko vähäistä. Jos yhtiö löytyy vuonna 2019 edullisesta klusterista, on se todennäköisesti samassa klusterissa vielä vuonna 2022. Kuusi yhtiötä pysyivät kalliissa klusterissa kaikkina tarkasteltuina ajankohtina. Nämä yhtiöt ovat Caruna Oy, Järvi-Suomen Energia Oy, Kuoreveden Sähkö Oy, Kajave Oy, Parikkalan Valo Oy sekä PKS Sähkönsiirto Oy. Jos yhtiö vaatii liian korkeaa hintaa suhteessa kuluihin, pakottaa Energiavirasto sen alentamaan hintojaan. Näillä yhtiöillä voidaan siis olettaa olevan jokin tuntematon tekijä, joka nostaa yhtiöiden kulut korkeiksi ja kasvattaa siirtohintoja.

Suomen sähköntoimittajat hintaluokittain 11/2019

Edullinen Kallis Keskihintainen



Created with Datawrapper

Kuva 8: Sähköntoimittajien klusterointi Suomessa 11/2019

Kuva 8 esittää yllä listatut sähköyhtiöt klustereittain Suomen kartalla marras-kuussa 2019. Yhtiöt on värikoodattu niin, että klusteriin 1 kuuluvat ovat vihreitä, klusteriin 2 kuuluvat keltaisia ja klusteriin 3 kuuluvat punaisia. Karttakuvista on selvästi nähtävissä, että maantieteellisellä sijainnilla on vaikutusta alueen siirtohintojen suuruuteen. Yhtiöt eivät jakaudu tasaisesti ympäri Suomea, vaan sähköyhtiöitä esiintyy tiheämmin varsinkin Etelä- ja Länsi-Suomessa.

Karttoja tutkimalla voidaan nähdä useita maantieteellisiä alueita, joissa on joukko samasta klusterista tulleita yhtiöitä. Kalleimmat yhtiöt näyttävät johdonmukaisesti sijoittuvan Itä-Suomeen. Näillä alueilla välimatkat ovat melko pitkät ja väestötiheys keskiarvoltaan hieman pienempi. Tämä ei kuitenkaan itsessään selitä yhtiöiden hintatasoa, sillä muilla harvaan asutuilla seuduilla hinnat ovat kuitenkin alhaisemmat. Kalliiden sähköyhtiöiden ryhmä esiintyy myös Keski-Suomen ja Päijät-Hämeen alueella. Länsirannikolla kalliita sähköyhtiöitä ei esiinny yhtäkään. Sen sijaan että yhtiöiden hinnat jakautuisivat pohjois-etelä-akselilla, näyttää siltä että siirtohinta riippuu enemmänkin sijainnista itä-länsi- akselilla.

Pohjois-Pohjanmaan länsirannikolla esiintyy ryhmä edullisia sähköyhtiöitä. Ryhmää on vaikea selittää maantieteellisen sijainnin perusteella. Suurin osa muistakin Suomen länsirannikolla sijaitsevista yhtiöistä kuuluu klusteriin 1. Uudenmaan alueella varsinkin Helsinki-Espoo-Vantaan lähellä yhtiöt kuuluvat yhtä poikkeusta lukuunottamatta edulliseen klusteriin. Tämä käy järkeen korkean asukastiheyden myötä.

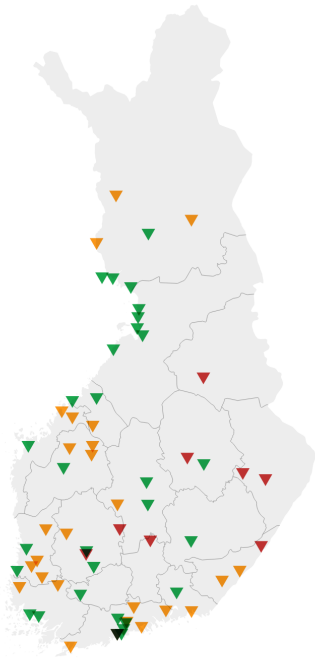
Joukko klusterin 2 sähköyhtiöitä näyttävät keskittyvän louinais-Suomeen sekä Lappiin. Lapissa väestötiheys on Suomen pienin ja välimatkat ovat pitkät. Siitä huolimatta sähköyhtiöt eivät sijoitu Lapissa kalleimpaan luokkaan. Myös Suomen koillis-rannikolla esiintyy klusteriin 2 kuuluvia yhtiöitä.

Kuva 9 on kooste jokaisen vuoden klusteroinnista. Siitä on mahdollista havaita muutoksia klusteroinnissa ajankohtien välillä. Klusterit pysyvät pääosin muuttumattomina vuodesta toiseen siirryttäessä ja klustereiden johdonmukainen sijoittuminen toistuu jokaisena vuonna. Tästä voidaan päätellä siirtohintojen olevan melko robusteja ympäröivällä yhteiskunnalliselle muutokselle. Energiaviraston pakollisia hinnan alennuksia ei ole havaittavissa kartoista.

Työn aikana kokeiltiin erilaisia yhdistelmiä saatavilla olevista muuttujista. Eri muuttujilla tehty analyysi muutti satunnaisten yhtiöiden klustereita. Kokonaiskuva pysyi kuitenkin samanlaisena ja erityisesti Itä-Suomen kallis hintataso oli nähtävissä jokaisilla muuttujien kombinaatioilla. Työ toistettiin vielä vuoden 2019 tapauksessa käyttäen neljää sekä viittä klusteria. Liite B sisältää karttakuvat näistä tapauksista. Klustereiden lisäys neljään näyttäisi jakavan edullisen klusterin kahteen osaan ja pitävän muut klusterit samana. Viiden klusterin käyttäminen näyttäisi vielä jakavan kalleimman klusterin kahtia. Klustereiden sisällä siis on eroavaisuuksia siirtohinnoissa ja suuremman klusterimäärän käyttäminen saattaisi jaotella yhtiöt ”reilummin”. Samat piirteet yhtiöiden sijainnissa kuitenkin toistuvat myös suuremmilla klusterointimäärillä. Itä-Suomeen sijoittuvat yhä kalleimmat, Länsi-Suomeen ja Uudellemaalle edullisimmat yhtiöt. Lisättäessä klustereiden määrää kuvien visuaalinen selvyys kuitenkin laskee.

Suomen sähköntoimittajat hintaluokittain 11/2019

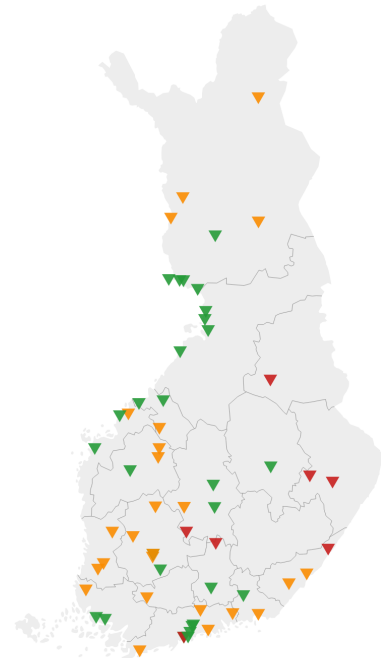
Edullinen Kallis Keskihintainen



Created with Datawrapper

Suomen sähköntoimittajat hintaluokittain 11/2021

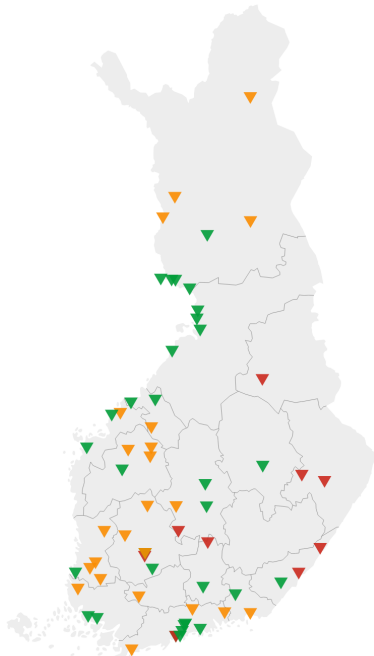
Keskihintainen Edullinen Kallis



Created with Datawrapper

Suomen sähköntoimittajat hintaluokittain 11/2022

Edullinen Kallis Keskihintainen



Created with Datawrapper

Kuva 9: Klusteroidut sähköyhtiöt Suomessa

Taulukko 4: Käyttäjätyyppien keskihinnat klustereittain (2019, 2021, 2022)

2019	koko	K1	K2	L1	L2	M1	M2	T1	T2	T3	T4
klusteri 1	30	9.893280	7.932080	6.247911	5.766547	7.448496	6.014666	4.378105	3.798334	3.087590	2.960299
klusteri 2	25	13.312560	10.336639	7.514502	6.933763	9.805290	7.201743	5.603502	4.892323	3.762688	3.593258
klusteri 3	9	16.186831	13.747098	8.807452	8.021535	13.037898	8.523692	7.223385	5.831910	4.985955	4.225610
2021	koko	K1	K2	L1	L2	M1	M2	T1	T2	T3	T4
klusteri 1	28	9.950016	8.072516	6.353230	5.875016	7.660149	6.136220	3.841691	3.162049	2.343834	2.308120
klusteri 2	25	13.486920	10.540120	7.455720	6.941320	10.036120	7.252120	4.893320	4.116920	3.003720	2.817320
klusteri 3	7	17.596577	15.110863	9.200863	8.559434	14.248006	8.970863	6.595263	5.249549	4.209549	3.242406
2022	koko	K1	K2	L1	L2	M1	M2	T1	T2	T3	T4
klusteri 1	31	9.700817	7.916623	6.224043	5.764043	7.469849	6.007914	3.587152	3.021991	2.281668	2.169410
klusteri 2	23	13.465459	10.478503	7.399372	6.859807	9.934155	7.175459	4.783337	4.064642	2.791598	2.627250
klusteri 3	9	17.130387	14.554831	9.030387	8.335942	13.767053	8.829276	6.703676	5.297009	4.212564	3.155898

Taulukko 4 kuvaa kunkin klusterin käyttäjätyyppien keskimääräisiä hintoja vuosina 2019, 2021 ja 2022. Hintojen yksikkönä on snt/kWh ja taulukosta löytyy myös klustereiden koko (kuinka monta sähköyhtiötä klusteri pitää sisällään). Taulukosta voidaan perustella yhtiöiden jakamista hintaluokkiin: kukin klusteri on edeltäjänsä kalliimpi jokaiselle käyttäjätypille jokaisena tutkittuna ajankohtana. Ero klustereiden keskihinnoissa on valtava. Esimerkiksi vuonna 2022 kerrostalohuoneistossa (K1) asuva maksoi 77% enemmän sähkönsiirrosta, jos sähköntoimittaja oli klusterissa 3 verrattuna klusteriin 1.

Vuodesta 2019 vuoteen 2021 siirtyessä voidaan huomata keskimääräisten hintojen nousseen asumiseen liittyvissä kuluttajatyypeissä (K1-M2), mutta laskeneen teollisuuteen liittyvissä kuluttajatyypeissä (T1-T4). Tätä selittää ainakin osittain tyypin II sähköveron alennus ajankohtien välillä. Tyypin II sähkövero on vain teollisuudelle tarjottu, alennettu vero.

5.1 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin Suomalaisten sähköntoimittajien siirtohintoja. Sähköntoimittajat jaettiin hintaryhmiin käyttäen K:n keskiarvon klusterointimenetelmää. Yhtiöt sijoitettiin kartalle ja tutkittiin maantieteellisen sijainnin vaikutusta siirtohintoihin. Kunkin klusterin keskiarvoisia hintoja sekä hinnanmuutoksia vuosien välillä tutkittiin vielä yleisesti.

Maantieteellisellä sijainnilla huomattiin olevan selvä yhteys sähköyhtiöiden hintatasoon. Toisiaan lähellä sijaitsevat yhtiöt olivat harvoin erihintaisia. Kalleimmat sähköyhtiöt sijoittuvat selvästi Itä- ja Keski-Suomen alueelle, kun taas edulliset yhtiöt sijoittuvat länsirannikolle. Siirtohintojen jakautumista voidaan osittain, mutta ei kokonaan, selittää alueen väestötiheydellä. Klustereiden keskihintoja tutkimalla huomattiin sähköyhtiöiden siirtohintojen välillä olevan suuria eroja (Ero hinnoissa jopa 77% kerrostalohuoneistolle).

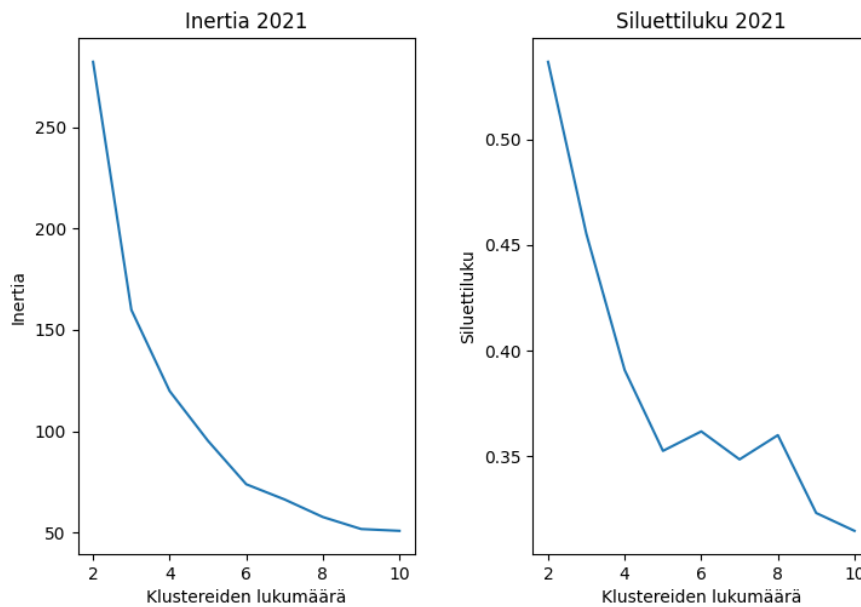
Tutkimus herätti useita jatkokysymyksiä: Mitkä kaikki tekijät aiheuttavat eroja sähköyhtiöiden siirtohinnoissa? Mikä nostaa juuri idässä sijaitsevien sähköyhtiöiden siirtohintoja? Kuinka paljon väestötiheys vaikuttaa siirtohintoihin? Ainakin näihin kysymyksiin voitaisiin tulevaisuudessa tutkimuksissa saada vastauksia.

Viitteet

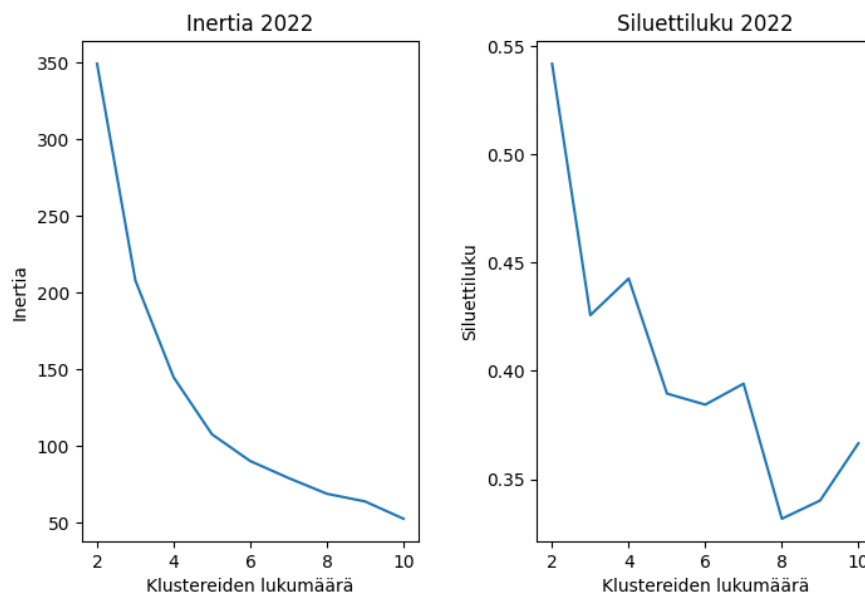
- Adolfson, J., Kuik, F., Lis, E., ja Schuler, T. The impact of the war in Ukraine on euro area energy markets. *ECB Economic Bulletin*, 4, 2022.
- Arthur, D. ja Vassilvitskii, S. K-means++ the advantages of careful seeding. 2007. Sivut 1027–1035.
- Borenstein, S. ja Kellogg, R. Challenges of a clean energy transition and implications for energy infrastructure policy. *Rebuilding the Post-Pandemic Economy*, ed. Melissa S. Kearney and Amy Ganz (Washington DC: Aspen Institute Press, 2021), 2021.
- Cevik, S. ja Ninomiya, K. Chasing the sun and catching the wind: Energy transition and electricity prices in europe. *Journal of Economics and Finance*, 2023. Sivut 1–24.
- Energiavirasto. Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2022, 2022. Viitattu 9.11.2023, Saatavilla <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>.
- Energiavirasto. Sähkön hintatilastot, 2023. Saatavilla <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>.
- EU-komissio. The european green deal striving to be the first climate-neutral continent. 2023a. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla commission.europa.eu.
- EU-komissio. Green transition. 2023b. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/green-transition_en.
- Eurostat. Hicp - monthly data (annual rate of change). Viitattu 9.11.2023, Saatavilla ec.europa.eu, 2023.
- Jung, A. *Machine Learning: The Basics*. Springer, Singapore, 2022.
- Kohvakka, S. Olkiluoto 3:n koekäytön vaikutus sähkön hintaan suomessa, VÄRE, 2023. Viitattu 6.12.2023, Saatavilla vare.fi.
- Koponen, T. Sähkön hinta on nyt laskenut poikkeuksellisen alas – näin varmistat edullisen sopimuksen talveksi. 2023. Kauppalehti. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla www.kauppalehti.fi.
- Lassila, A. Sähkön hinta on juuri nyt noin seitsemänkertainen viime vuoteen verrattuna. 2022. Helsingin Sanomat. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla <https://www.hs.fi/talous/art-2000008828016.html>.
- Lazo, J., Aguirre, G., ja Watts, D. An impact study of covid-19 on the electricity sector: A comprehensive literature review and ibero-american survey. *Renew Sustain Energy Rev.* 2022 Apr;158:112135. doi: 10.1016/j.rser.2022.112135. Epub 2022 Jan 13. PMID: 35039746; PMCID: PMC8755451, 1(6), 2022.

- Onnettomuustutkimuskeskus. Koronaepidemian ensimmäinen vaihe suomessa vuonna 2020. 2021. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla www.turvallisuustutkinta.fi.
- Partanen, J. Selvitys sähkön siirtohintoihin vaikuttavista tekijöistä ja toimintavarmuuden toteuttamisen vaihtoehtoista. *Työ- ja elinkeinoministeriö / LUT yliopisto*, 2018. Saatavilla <https://tem.fi/julkaisu?pubid=URN:ISBN:978-952-327-356-6>.
- Seppälä, J. Määräys sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmista, 2021. Saatavilla energiavirasto.fi.
- The Energy Institute. Statistical review of world energy 2023 | 72nd edition. 2023. ISSN 2976-7857. ISBN 978 1 78725 379 7. Saatavilla <https://www.energyinst.org/statistical-review>.
- Tilastokeskus. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, 2023. Viitattu 6.12.2023, Saatavilla <https://pxdata.stat.fi/>.
- Trupti, M. ja Prashant, R. Review on determining number of cluster in k-means clustering. *International Journal*, 1(6):90–95, 2013.
- TVO. Ol3. 2023. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol3.html>.
- Uusitalo, K. Sähkö oli kuluneena vuonna kalleinta koskaan, mutta arvio vuoden 2023 sähkön hinnoista on rohkaiseva. 2022. Yle. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla <https://yle.fi/a/74-20010859>.
- Valtiovarainministeriö. Energiaverotus, 2023. Viitattu 9.11.2023. Saatavilla <https://vm.fi/energiaverotus>.
- Wessman, R. Luonnollisen monopolin sääntely: Sähkön siirtohintaa suomessa. *Kansantaloudellinen aikakauskirja* – 112, 2016.

A Inertia ja siluettiluku 1/2021 ja 1/2022



Kuva A1: 11/2022 inertia ja siluettiluku klustereiden lukumäärän funktiona

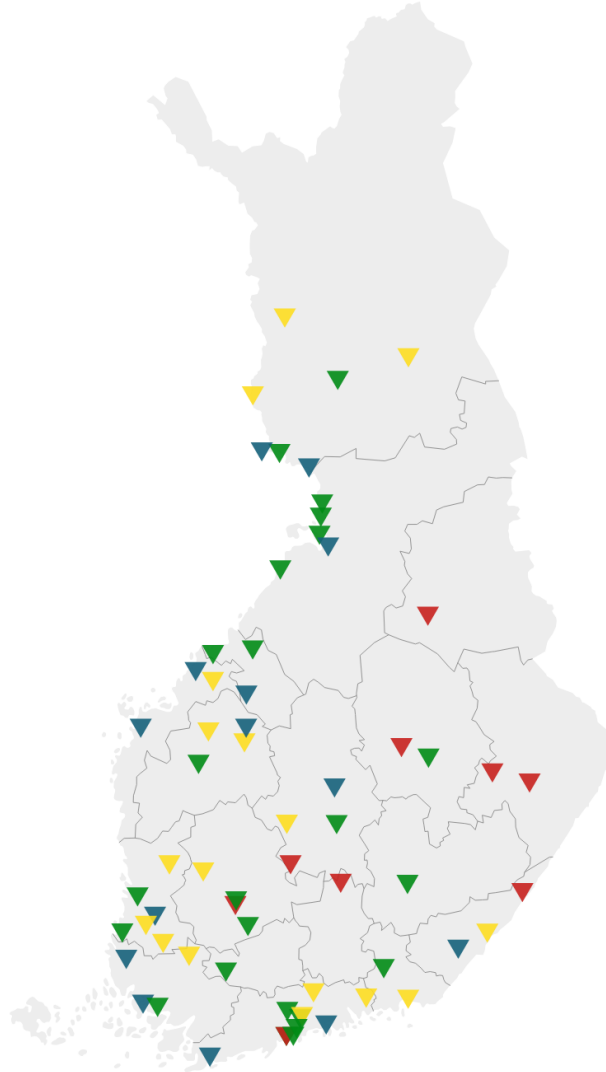


Kuva A2: 11/2022 inertia ja siluettiluku klustereiden lukumäärän funktiona

B Karttakuvat $k = 4$ ja $k = 5$

Suomen sähkötoimittajat 4 klusteria 11/2019

Edullinen Kohtuullinen Kallis Keskihintainen

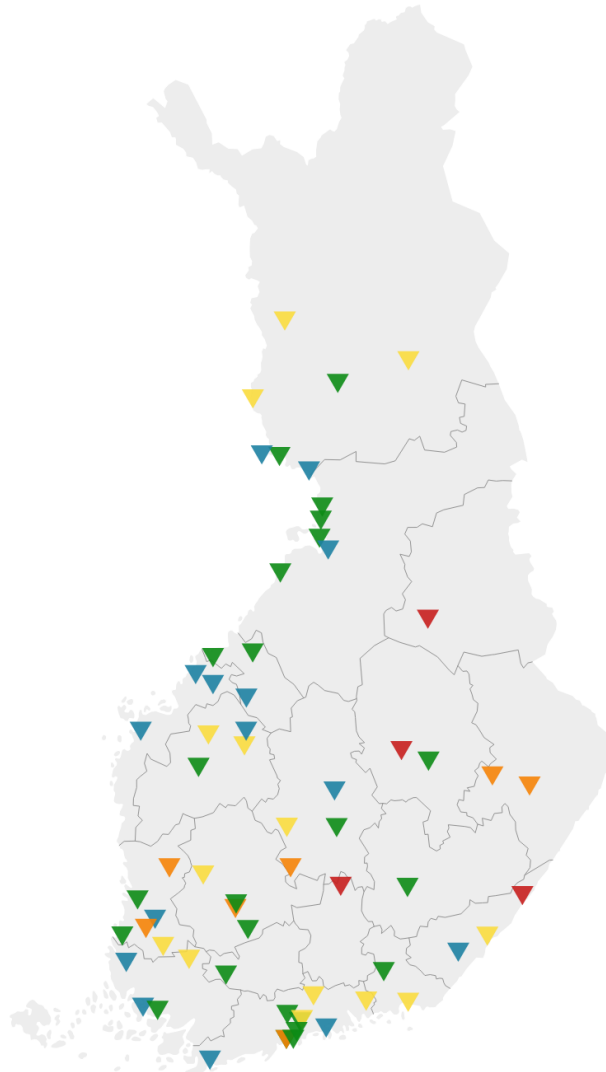


Created with Datawrapper

Kuva B1: 11/2019 Sähkötoimittajien klusterointi neljään klusteriin.

Suomen sähköntoimittajat 5 klusteria 11/2019

Kohtuullinen Keskihintainen Edullinen Korkea Kallis



Created with Datawrapper

Kuva B2: 11/2019 Sähköntoimittajien klusterointi viiteen klusteriin.