



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Suomalaisten sähkötoimittajien siirtohintojen klusterirakenteista (Valmiin työn esittely)

Waldemar Sorjonen

08.12.2023

Ohjaaja: *Prof. Pauliina Ilmonen*

Valvoja: *Prof. Pauliina Ilmonen*

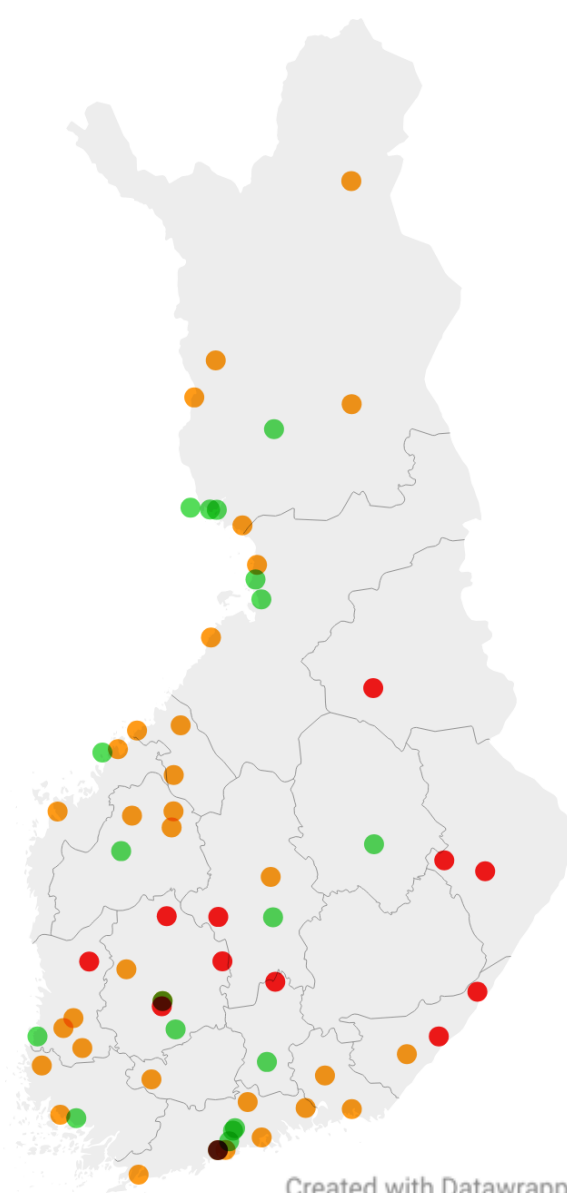
Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta

- Yhteiskunnalliset mullistukset ovat vaikuttaneet sähkön markkina- ja siirtohintoihin
 - Covid-19
 - Ukrainan sota
 - Vihreä siirtymä
- Sähkötoimittajien haitallinen monopoli
- Suomalaisten lisääntynyt kiinnostus sähkön hinnasta

Tavoitteet

1. Klusteroidaan suomalaiset sähköntoimittajat siirtohintojen mukaan k:n keskiarvon menetelmällä
2. Sijoitetaan yhtiöt kartalle
3. Havainnoidaan ja analysoidaan maantieteellisen sijainnin vaikutusta siirtohintoihin



Rajaukset

- Eksploratiivinen tutkimus
- Rajataan siirtohintoihin
- Rajataan suomalaisiin sähköntoimittajiin
- Tutkitaan vuosia 2019, 2021 ja 2022

Käytettävät aineistot

- Energiaviraston vuosittaiset tilastot siirtohinnoista [2]
 - K1 – T4 tyyppikäyttäjien määrittelyt sähkönkulutuksen mukaan
 - 77 eri sähköntoimittajaa

Sähkøyhtiö	K1	K2	L1	L2	M1	M2	T1	T2	T3	T4
Äänekosken Energia Oy	12.72	8.95	5.93	5.47	8.36	5.55	4.81	3.80	2.59	2.51
Alajärven Sähkö Oy	13.71	9.75	7.40	6.87	9.33	7.36	4.75	4.03	3.13	2.44
Caruna Espoo Oy	9.57	7.36	6.07	5.59	6.62	5.80	3.91	2.97	2.03	1.76
Caruna Oy	15.74	14.13	9.01	8.24	13.30	9.05	7.19	5.81	4.11	3.23
Elenia Verkko Oyj	15.59	13.51	8.84	8.12	12.81	8.78	6.60	5.46	3.74	3.55
Enontekiön Sähkö Oy	10.22	9.81	7.83	7.43	9.19	7.74	6.13	5.76		
ESE-Verkko Oy	25.42	14.63	8.59	8.04	10.12	7.10	3.48	2.79		
Esse Elektro-Kraft Ab	12.99	9.93	8.27	7.86	9.29	8.02	5.59			
Forssan Verkkopalvelut Oy	11.70	10.17	7.10	6.46	9.22	7.14	5.05	3.96	2.64	2.40
Haminan Energia Oy	12.22	10.41	7.00	6.82	8.99	6.63	4.03	3.97	2.73	2.62
Haukiputaan Sähköosuuskunta	9.16	7.43	6.15	5.88	7.24	5.95	3.21	2.65	2.28	2.25
Helen Sähköverkko Oy	10.17	8.18	7.23	6.78	7.52	6.68	3.48	3.06	2.57	2.48
Herrfors Nät-Verkko Oy Ab	12.10	9.89	7.03	6.53	9.14	6.51	3.91	3.69	2.83	2.69
Iin Energia Oy	10.21	7.95	6.62	6.38	7.85	6.39	3.68	3.65	3.43	3.39

Symbolit ja määritelmät

$k \in \mathbb{Z}$, Klustereiden lukumäärä.

$n \in \mathbb{Z}$, Datapisteiden lukumäärä.

$d \in \mathbb{Z}$, Muuttujien lukumäärä.

$X \in \mathbb{R}^{n,d}$, Numeerinen datamatriisi, jonka riveinä toimivat yksittäiset datapisteet ja sarakkeina kuhunkin datapisteeseen liittyvät muuttujat.

$y \in \mathbb{R}^n$, 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.

Menetelmät

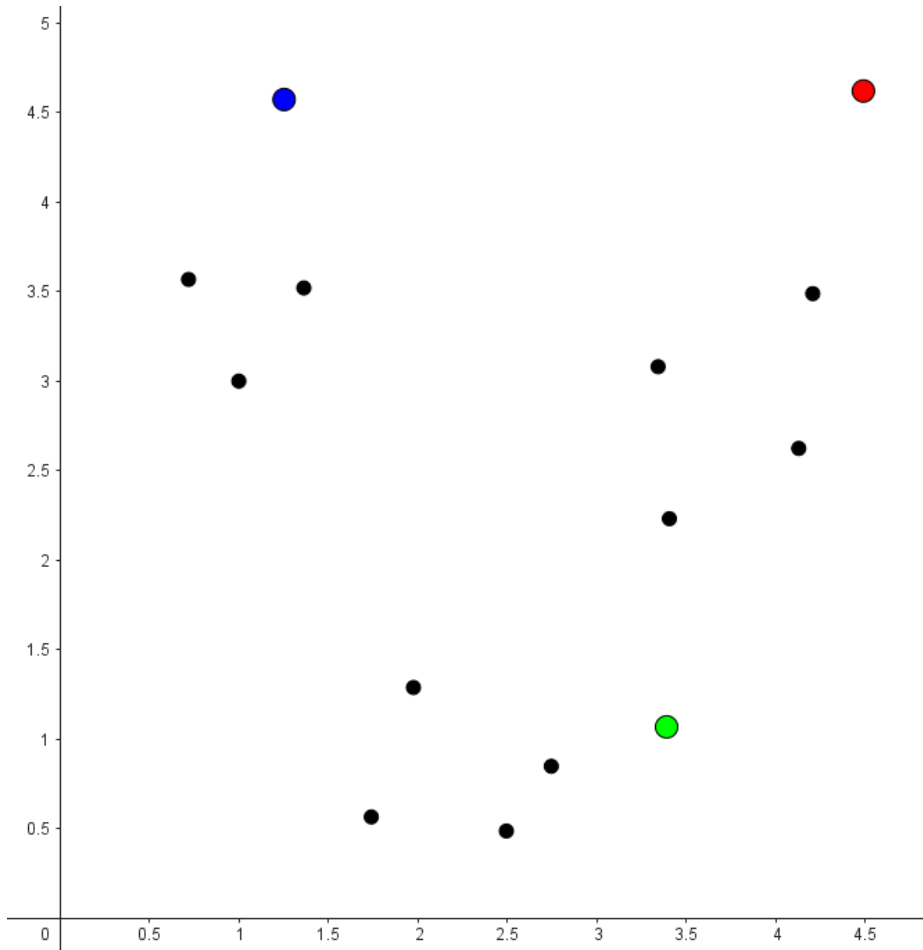
- K:n keskiarvon klusterointimenetelmä
- Minimoi systeemin inertian

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

- Vaiheet
 - Keskuspisteiden alustus
 - Vaihe 1: Pisteiden sijoitus klustereihin
 - Vaihe 2: Keskuspisteiden päivitys
 - Iterointi ja lopetus

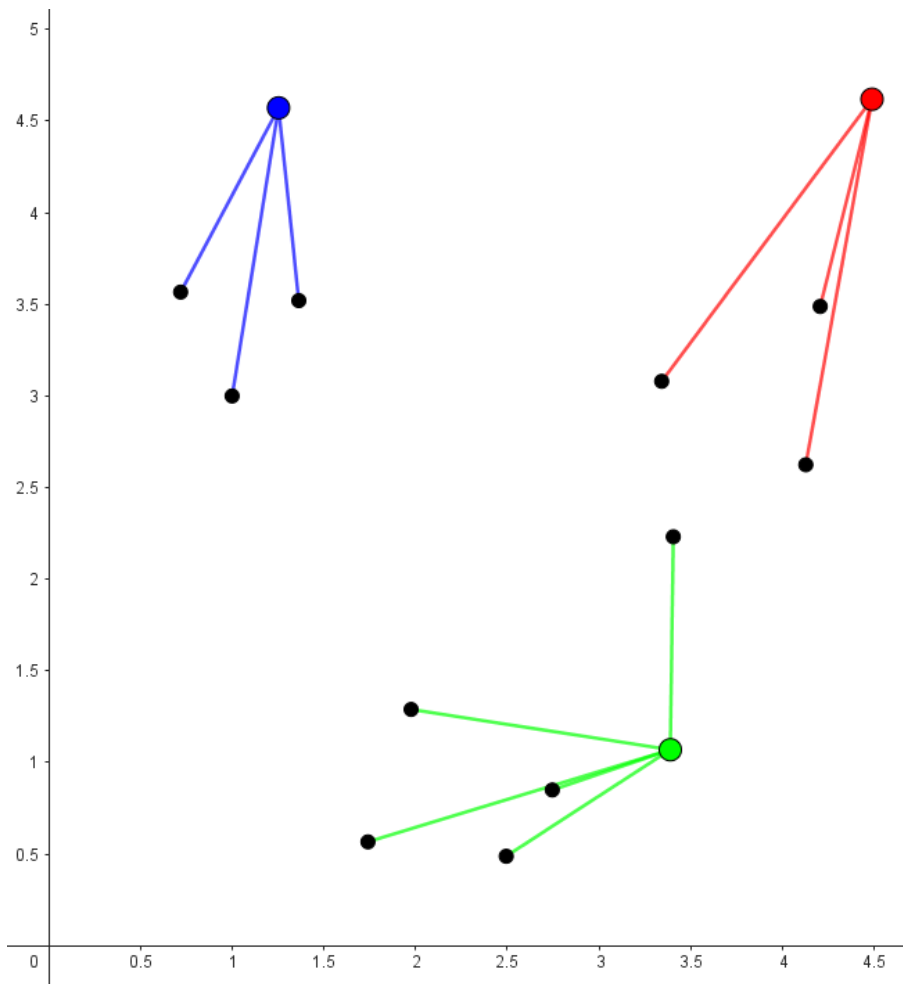
[3]

1. Keskuspisteiden alustus



- 11 datapistettä
- Kolme keskuspistettä c_j
- Keskuspisteiden sijainti tasajakaumasta tai k-means++ algoritmilla

Vaihe 1: Pisteiden sijoitus klustereihin

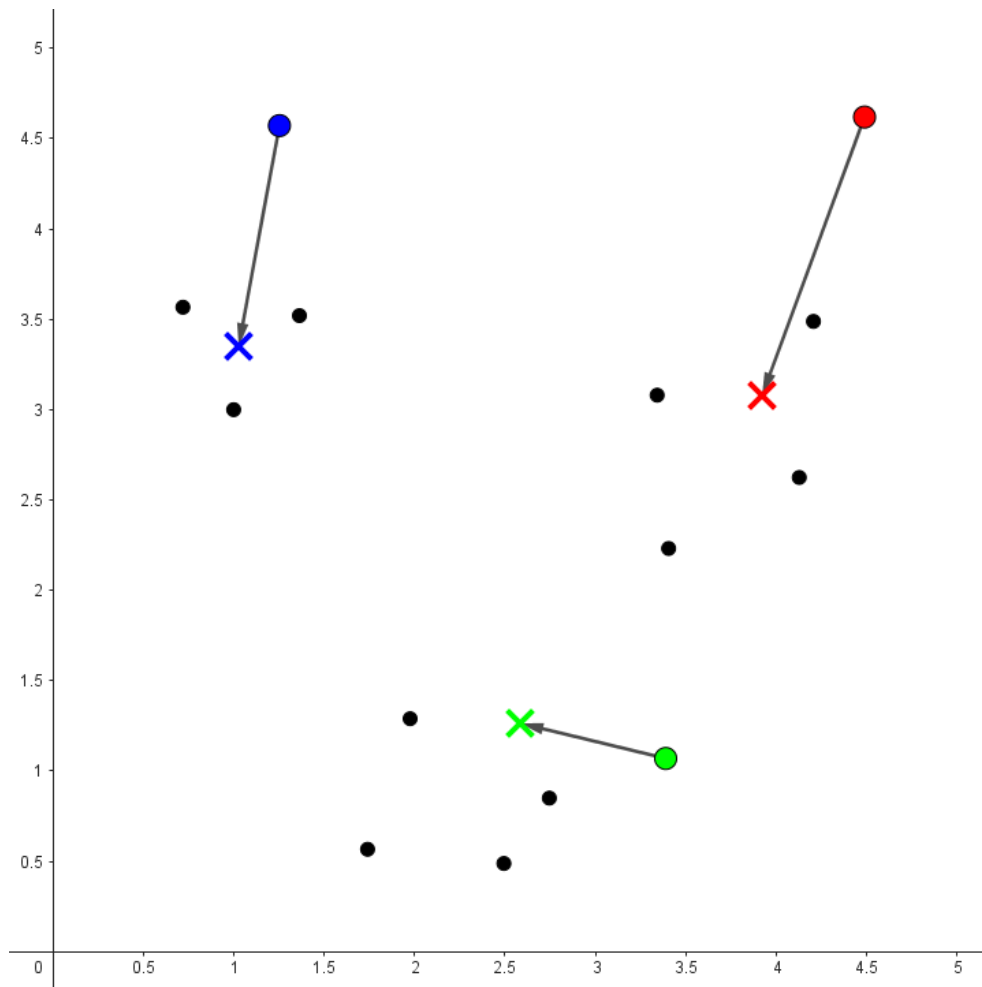


- Lasketaan kunkin pisteen x_j etäisyys keskuspisteisiin c_i

$$D_{ij} = \|x_j - c_i\|_2$$

- Määritetään kukin datapiste siihen klusteriin, jonka keskukseen sillä on lyhin etäisyys

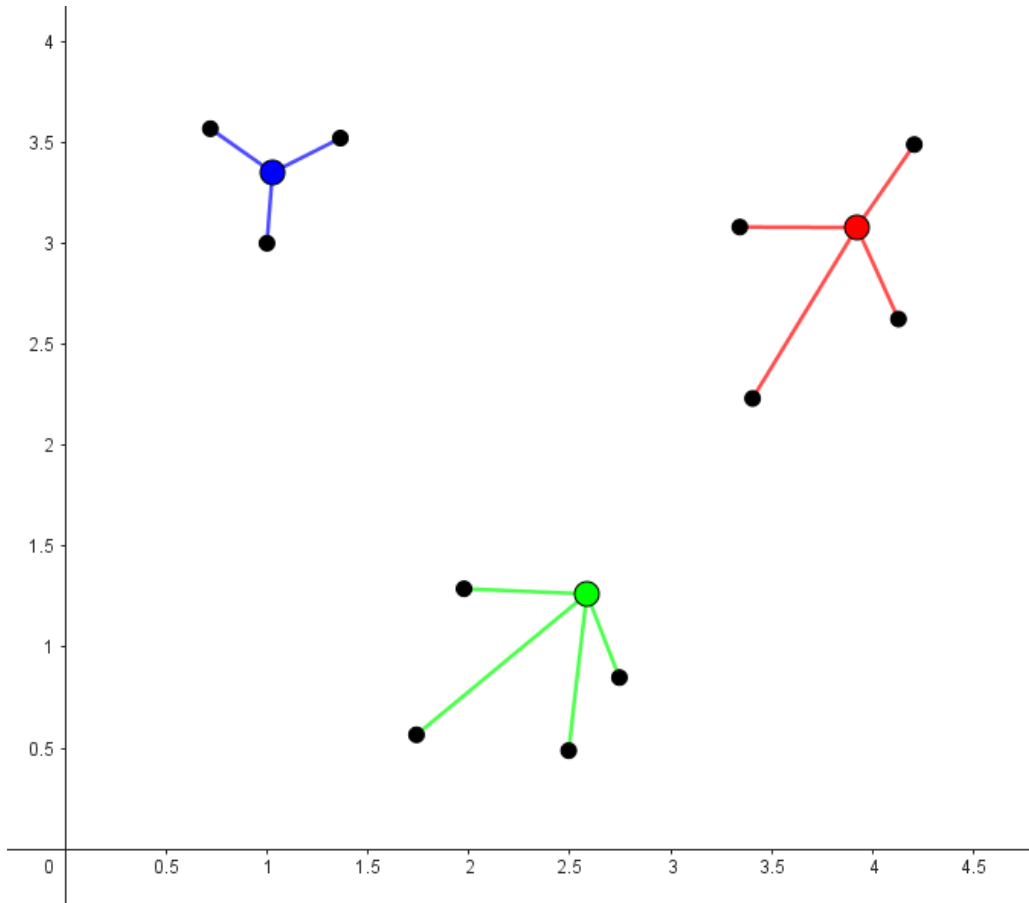
Vaihe 2: Keskuspisteiden päivitys



➤ Päivitetään
keskuspisteiden
paikkaa uudelle
klusterille

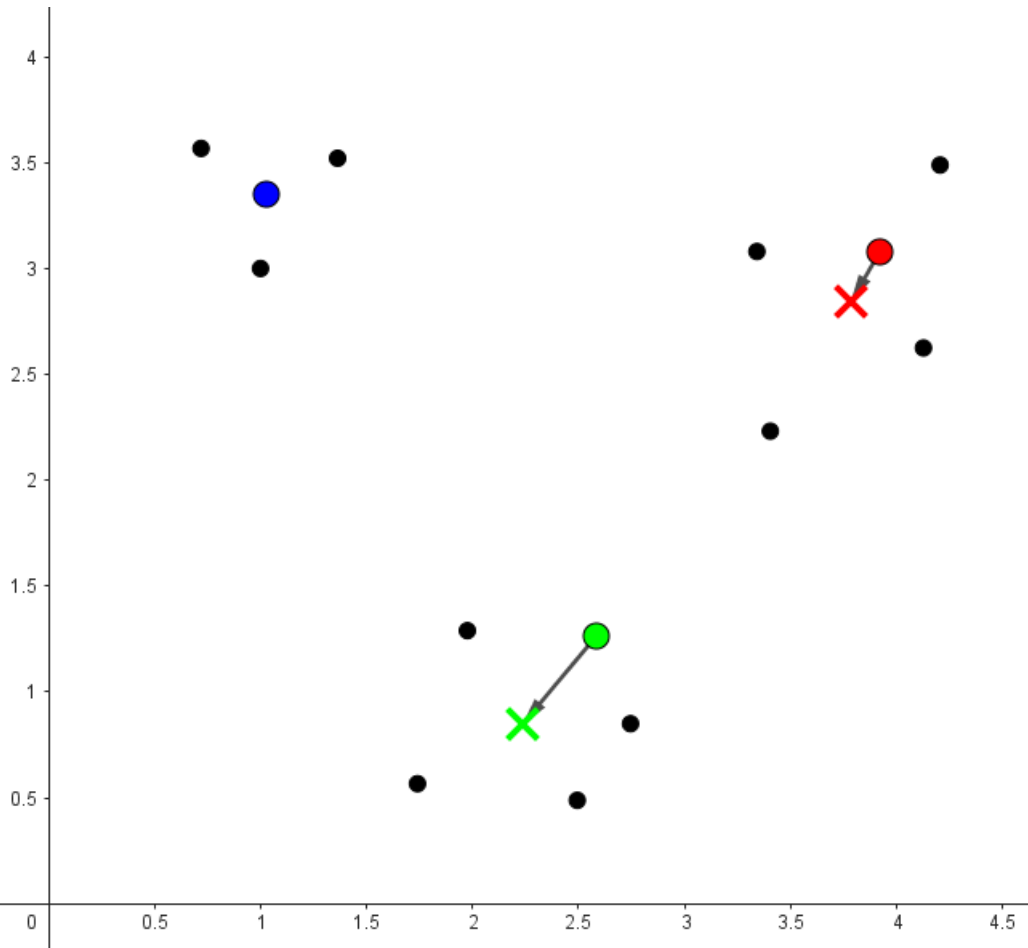
$$C_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x_j \in C_i} x_j$$

Vaihe 1 iteraatio 2



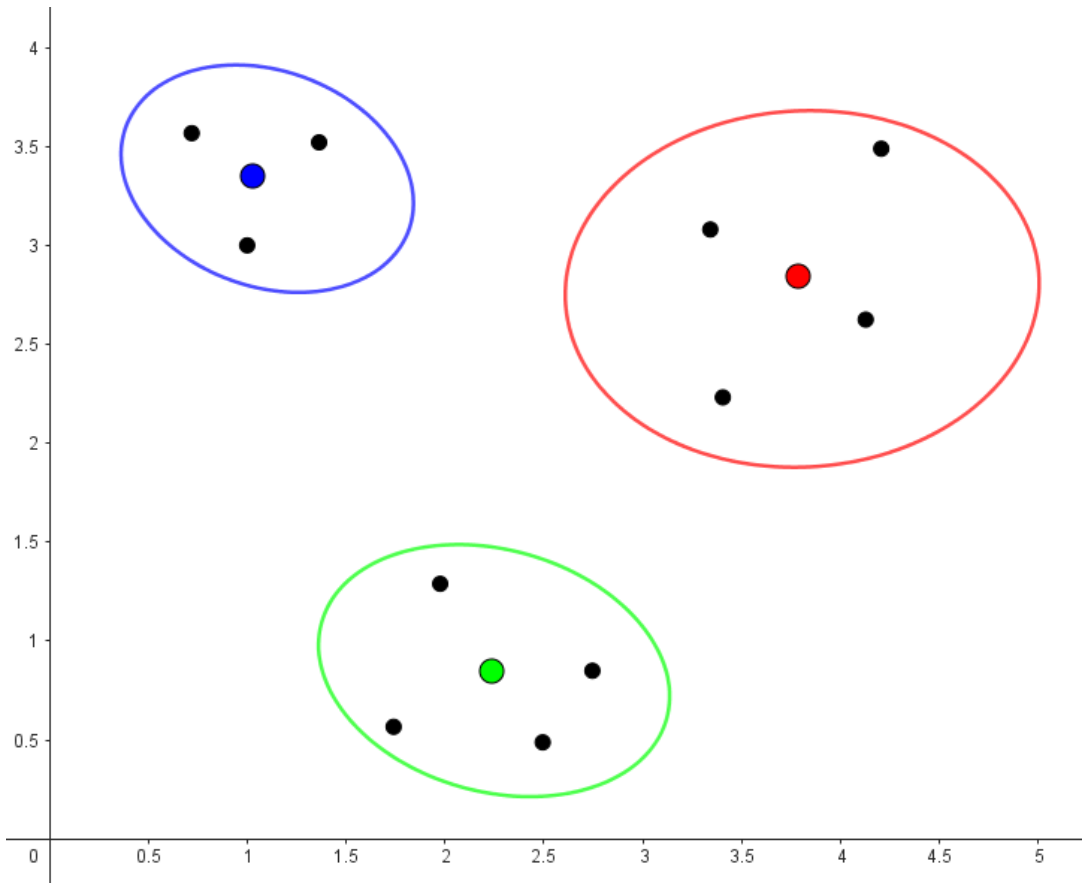
- Lasketaan kunkin pisteen x_j etäisyys keskuspisteisiin c_i
- Määritetään kukin datapiste siihen klusteriin, jonka keskukseen sillä on lyhin etäisyys

Vaihe 2 iteraatio 2



➤ Päivitetään
keskuspisteiden
paikkaa uudelle
klusterille

Lopetus



- Toistetaan vaiheita 1 ja 2 kunnes systeemin inertia ei iteraation jälkeen enää muutu

K:n keskiarvon soveltaminen

- Datapiste = sähköyhtiö
- Muuttuja = siirtohinta käyttäjätyyppille
- Valitut muuttujat ja datan käsittely
 - $K = (K1 + K2) / 2$, $L = (L1 + L2) / 2$, ...

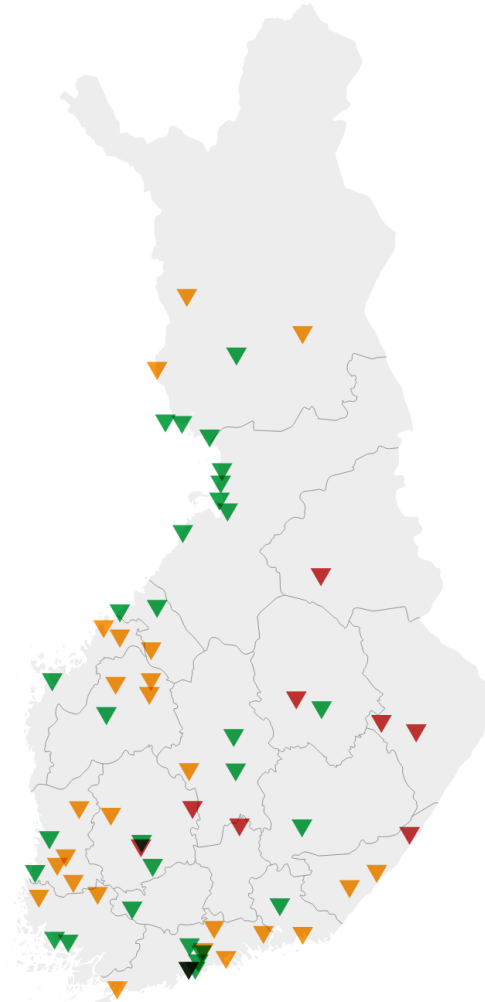
Sähköyhtiö	K1	K2	L1	L2	M1	M2	T1	T2	T3	T4
Äänekosken Energia Oy	12.72	8.95	5.93	5.47	8.36	5.55	4.81	3.80	2.59	2.51
Alajärven Sähkö Oy	13.71	9.75	7.40	6.87	9.33	7.36	4.75	4.03	3.13	2.44
Caruna Espoo Oy	9.57	7.36	6.07	5.59	6.62	5.80	3.91	2.97	2.03	1.76
Caruna Oy	15.74	14.13	9.01	8.24	13.30	9.05	7.19	5.81	4.11	3.23
Elenia Verkko Oyj	15.59	13.51	8.84	8.12	12.81	8.78	6.60	5.46	3.74	3.55
Enontekiön Sähkö Oy	10.22	9.81	7.83	7.43	9.19	7.74	6.13	5.76		
ESE-Verkko Oy	25.42	14.63	8.59	8.04	10.12	7.10	3.48	2.79		
Esse Elektro-Kraft Ab	12.99	9.93	8.27	7.86	9.29	8.02	5.59			
Forssan Verkkopalvelut Oy	11.70	10.17	7.10	6.46	9.22	7.14	5.05	3.96	2.64	2.40
Haminan Energia Oy	12.22	10.41	7.00	6.82	8.99	6.63	4.03	3.97	2.73	2.62
Haukiputaan Sähkösuuskunta	9.16	7.43	6.15	5.88	7.24	5.95	3.21	2.65	2.28	2.25
Helen Sähköverkko Oy	10.17	8.18	7.23	6.78	7.52	6.68	3.48	3.06	2.57	2.48
Herrfors Nät-Verkko Oy Ab	12.10	9.89	7.03	6.53	9.14	6.51	3.91	3.69	2.83	2.69

Muuttujat

Datapiste

Tulokset

- Yhtiöt jaettiin kolmeen hintaklusteriin
- Maantieteellisellä sijainnilla on selvästi vaikutus yhtiön hintaklusteriin
- Kalleimmat yhtiöt painottuvat Itä-Suomeen, edullisimmat länsirannikolle
- Toistettu myös neljällä ja viidellä klusterilla

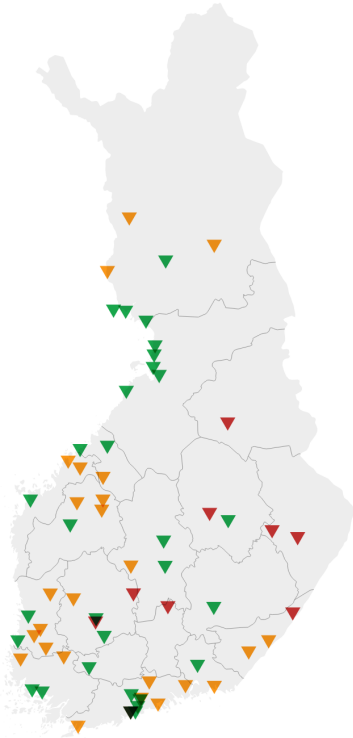


Created with Datawrapper

Vuosien väliset muutokset

Suomen sähkötoimittajat hintaluokittain 11/2019

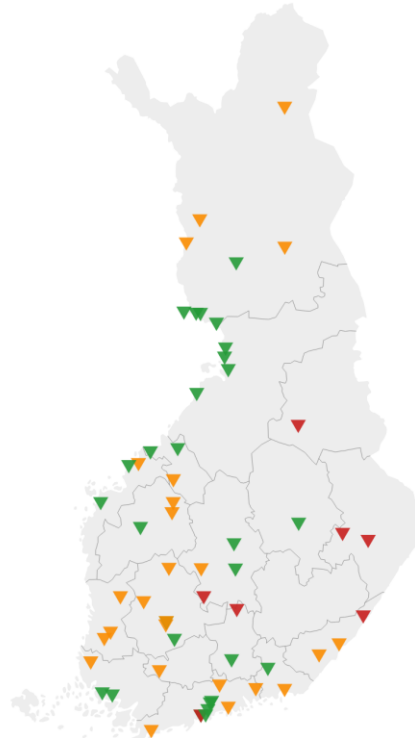
■ Edullinen ■ Kallis ■ Keskihintainen



Created with Datawrapper

Suomen sähkötoimittajat hintaluokittain 11/2021

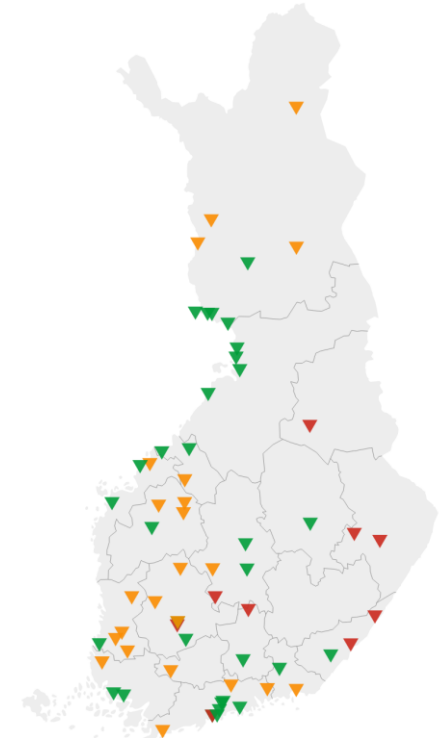
■ Keskihintainen ■ Edullinen ■ Kallis



Created with Datawrapper

Suomen sähkötoimittajat hintaluokittain 11/2022

■ Edullinen ■ Kallis ■ Keskihintainen



Created with Datawrapper

Klustereiden luokittelu

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

- Perustelu hintaluokkiin jakamiselle
- 2022 hintaero klustereiden 1 ja 3 välillä kerrostalohuoneistossa jopa 77%
- Hinnan muutokset vuosien välillä

Klusterit: 11/2019

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	
Raahan 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		

Klusterit: 11/2021

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	
Naantalın 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		

Klusterit: 11/2022

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 Sähkösirto 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	
Porvoo 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		

Aikataulu

- Aihe-esittely 11/2023
- Data-analyysi valmis 10-11/2023
- Valmiin työn esittely 1.12.2023
- Työ viimeistelty 12/2023

Lähteet

- [1] Kuva luotu Datawrapper –työkalulla
<https://www.datawrapper.de/>
- [2] ”Sähkön hintatilastot” / Energiavirasto
<https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>
- [3] A. Jung. Machine Learning: The Basics. Springer
Singapore, 2022.