



# LAND OF THE CURIOUS



ENERGIA-ALAN TUTKIMUSSEMINAARI 28.1.2025

# HINTAJOUSTO -TUTKIMUSHANKE

Sähkömarkkinan hintavolatiliteetin vaikutukset sähkön  
kulutusjoustoon ja sähkönjakelujärjestelmään

# HINTAJOUSTO-HANKE: TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

## Sähkömarkkinan hintavolatiliteetin vaikutukset sähkön kulutusjoustoön ja sähkönjakelujärjestelmään

- » Tutkimushanke 1.8.2023 – 31.10.2024, toteuttajana LUT-yliopisto
- » Hankkeen tutkimusaineistot:
  - » AMR: PKS, Helen Sähköverkko, PKS Sähkönsiirto, Savon Voima Verkko
  - » Sähkömarkkina-aineistot
- » Projekti tavoitteena on ollut arvioida markkinahinnan vaikuttavuutta pienasiakkaiden sähkönkäyttöön sekä määrittää hinnanvaihtelun kannustevaikutus sähkönkäytössä ja -siirrossa. Lisäksi tavoitteena on ollut arvioida markkinahintalähtöisen jouston vaikutusta sähkönjakeluverkon kuormittumiseen sekä verkkoyhtiön tehoperusteisen tariffirakenteen vaikuttavuutta markkinalähtöiseen joustoon.
- » Tutkimusryhmä



Juha Haakana



Jouni Haapaniemi



Kuisma Saariaho



Akseli Lamminpää



Prof. Jukka Lassila

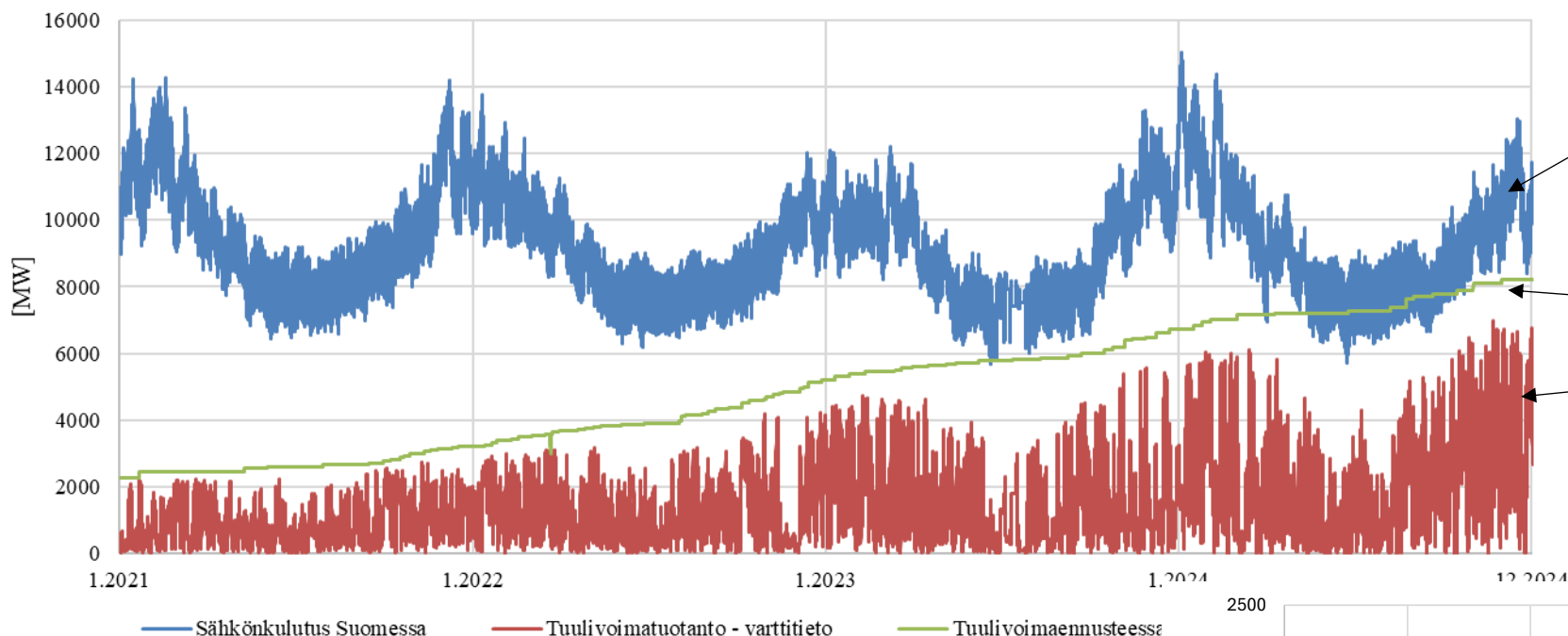


# JOUSTAVAN SÄHKÖNKÄYTÖN MUUTOKSEN JA KULUTUSJOUSTON ARVIOINTI: JOUSTAVAN SÄHKÖNKÄYTÖN EDELLYTYKSET

- Sähkösopimustyypit – hyötyvätkö sähkökäyttäjät vaihtuvahintaisista sähkösopimuksista?
- Sähkönkäytön joustopotentiaali – mahdollisuus sähköjärjestelmälle?
- Mitkä ovat sähkönkäyttäjän kannusteet olla joustava?
- Mitä vaihtuvahintainen pörssisähkösopimus tarjoaa sähköauton lataajalle?

# HINTAJOUSTO-HANKE: JOUSTAVAN SÄHKÖNKÄYTÖN EDELLYTYKSET

## SÄHKÖN KÄYTTÖ, HINTA JA TUULIVOIMA



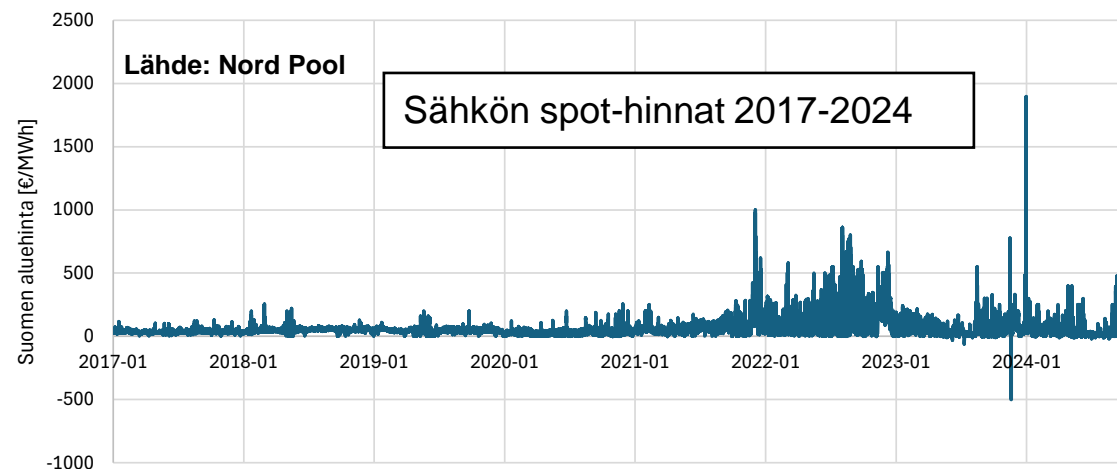
Sähkönkäyttö vaihtelee erityisesti kausiluontoisesti, mutta myös päivän sisällä

Tuulivoimakapasiteetti kasvanut

Tuulivoimantuotanto vaihtelee merkittävästi, myös päivän sisäisesti

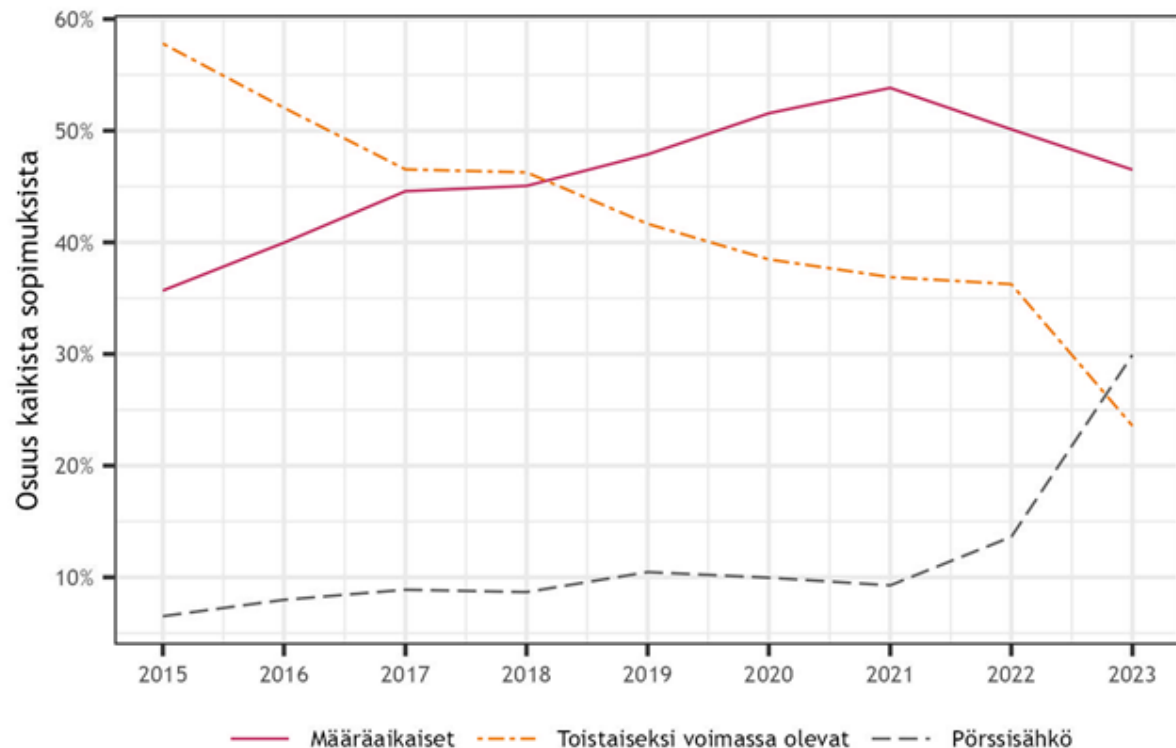
Lähde: Fingrid

Sähkönhinnan vaihtelut muodostavat kulutusjoustolle kannustimen



# HINTAJOUSTO-HANKE: JOUSTAVAN SÄHKÖNKÄYTÖN EDELLYTYKSET

## SÄHKÖSOPIMUSTYYPPIEN KEHITYS SUOMESSA



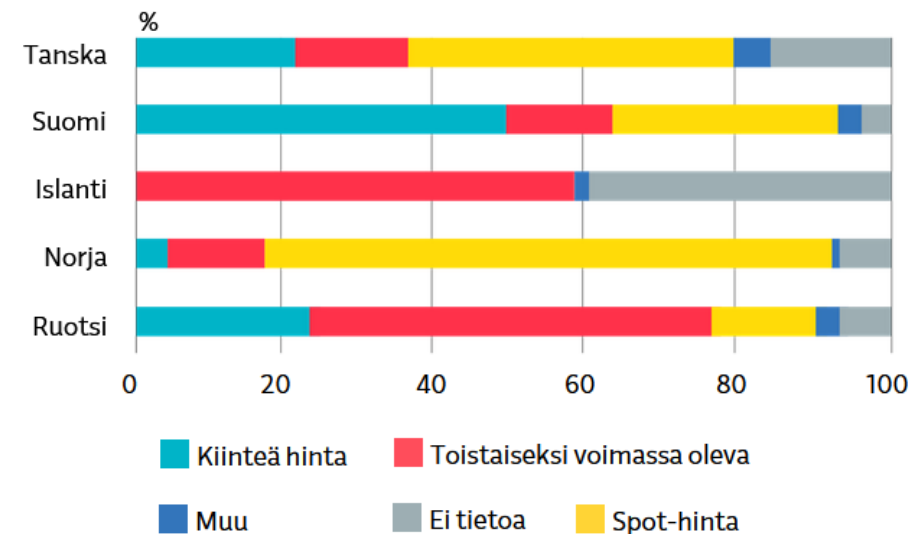
Lähde: Energiavirasto <https://energiavirasto.fi/-/porssihintaisten-sahkosopimusten-osuus-kaksinkertaistui-vuonna-2023>

Pörssisähkösopimusten lukumäärä on Suomessa kasvanut nopeasti viime vuosina. Verrattaessa Norjaan (75 %) ja Tanskaan (40 %) osuus on kuitenkin pienempi. Parhaimmillaan kuukausi-/kvartaalitasolla kuitenkin Suomessakin uusien pörssisähkösopimusten osuus kaikista sopimustyypeistä on ollut yli 50 %.

Lähde: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70565121/porssisahko-nousemassa-suosituimmaksi-sopimustyyppiksi?publisherId=69819906>

Kuluttajien sähkösopimustyytit  
Pohjoismaissa 3.6.2024. Lähde YLE

## Sähkösopimukset Pohjoismaissa

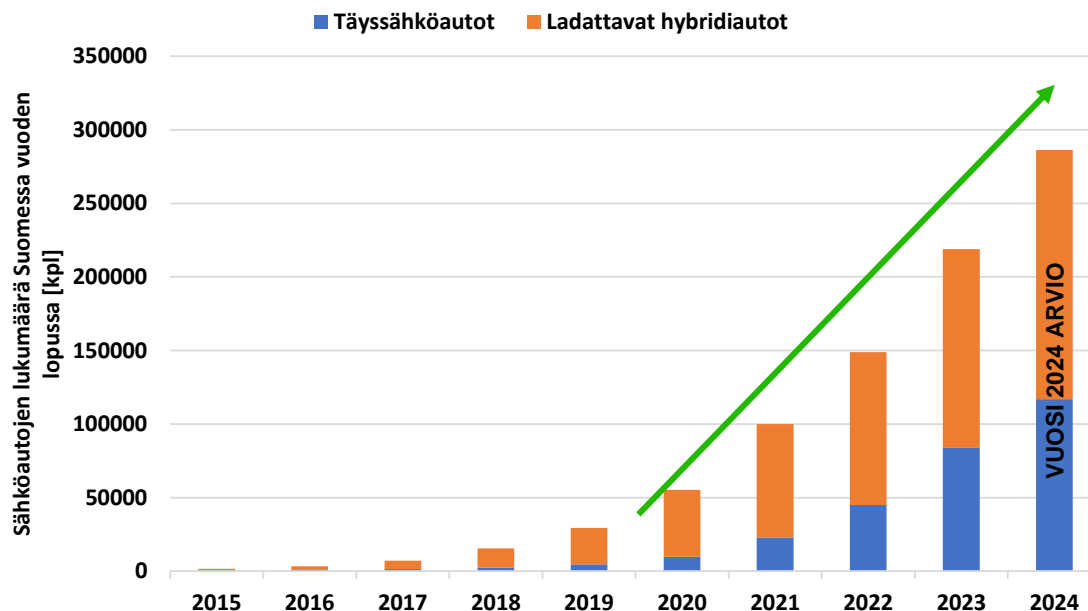


Lähde: Nordic Energy Research, grafiikka: Miku Huttunen / Yle

# HINTAJOUSTO-HANKE: JOUSTAVAN SÄHKÖNKÄYTÖN EDELLYTYKSET

## SÄHKÖINEN LIIKENNE KASVAA

- Sähköauton lataussäästö vuosina 2019-2023 → säästö jopa useita satoja euroja per vuosi → motivaatio joustolle
- 2035 Suomessa yli 1 000 000 ladattavaa autoa → **Suuri joustopotentiali (10 GW / 10 GWh/d → 3,8 TWh/a)**



[https://www.aut.fi/tilastot/autokannan\\_kehitys/sahkoautojen\\_maaran\\_kehitys](https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys)

Autoalan tiedotuskeskus: Autoalan käyttövoimaennusteet [https://www.aut.fi/files/2861/Kayttovoimaennusteet\\_2024\\_2205.pdf](https://www.aut.fi/files/2861/Kayttovoimaennusteet_2024_2205.pdf)

### Latauksen kustannussäästöt

	Lataus 02-03 vs 18-19	Lataus halvin tunti vs 18-19
2019	61 €/vuosi	70 €/vuosi
2020	91 €/vuosi	98 €/vuosi
2021	173 €/vuosi	196 €/vuosi
2022	452 €/vuosi	513 €/vuosi
2023	128 €/vuosi	159 €/vuosi

Säästöt alv.0

Yöaikaan lataus klo 02-03 hyvin lähellä vuorokauden edullisimman tunnin aikana latausta

### Latauksen taustatiedot

Päivittäinen ajomäärä 50 km, 0,2 kWh/km → 3650 kWh/a  
Lataus yhdellä kertaa yhden tunnin aikana (11 kW lataus)

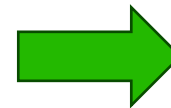


This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

# HINTAJOUSTO-HANKE: SÄHKÖNKÄYTÖN JOUSTOPOTENTIAALI

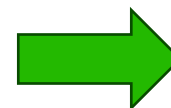
» **Sähkön pörssihinnan vaihtelu** ei tule vähentymään hetkessä

- » Vaihtelevan sähkön tuotannon osuus tulee kasvamaan nykyisestä Suomessa ja myös muualla Pohjoismaissa ja Euroopassa
- » Sähkön markkinahintaan reagoivaa teollisuuskuormaa tulee jatkossa lisää (sähköistyvä kaukolämpö)
- » Helposti ohjattavien sähkökuormien määrä kotitalouksissa tulee kasvamaan



» Kannattavaa ajoittaa sähkönkäyttöä

» **Sähkömarkkinan riskit** ovat siirtyneet osaksi kiinteähintaisia sopimuksia → pörssisähkösopimus on nykyisellään kilpailukykyinen kiinteähintaisia vastaan. Vähittäismyyjät oppivat arvioimaan pörssisähköasiakkaiden sähkönkäyttöä aiempaa paremmin.



» Pörssisopimus on hyvä vaihtoehto kiinteähintaiselle sopimukselle

» **Sähkökäyttäjät** ovat oppineet tuntemaan pörssisähkösopimukset ja sähkön tuntihintoja seurataan aktiivisesti.



» Pörssisähkösopimus ei ole enää hyppy tuntemattomaan

Pörssisähkösopimusten yleistymisen vaikutus pienasiakkaiden joustavuuteen.

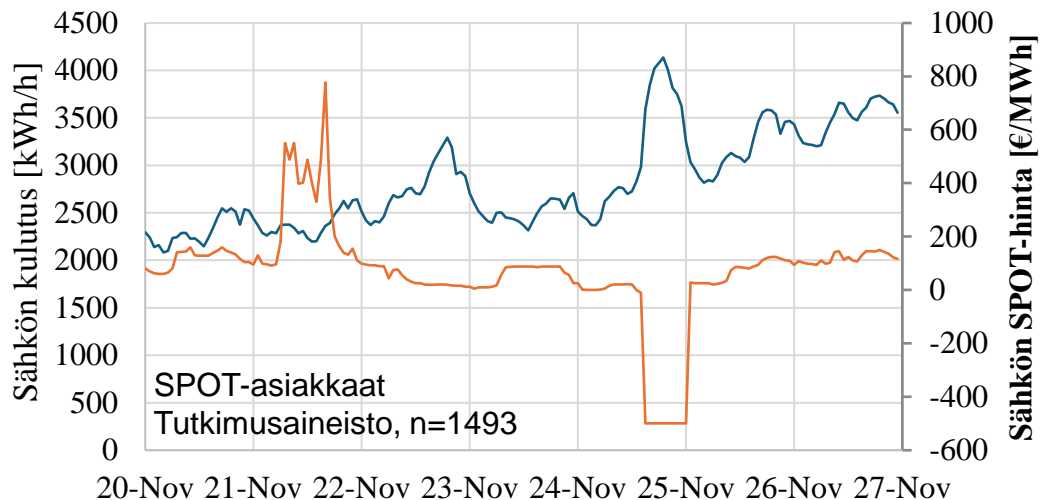
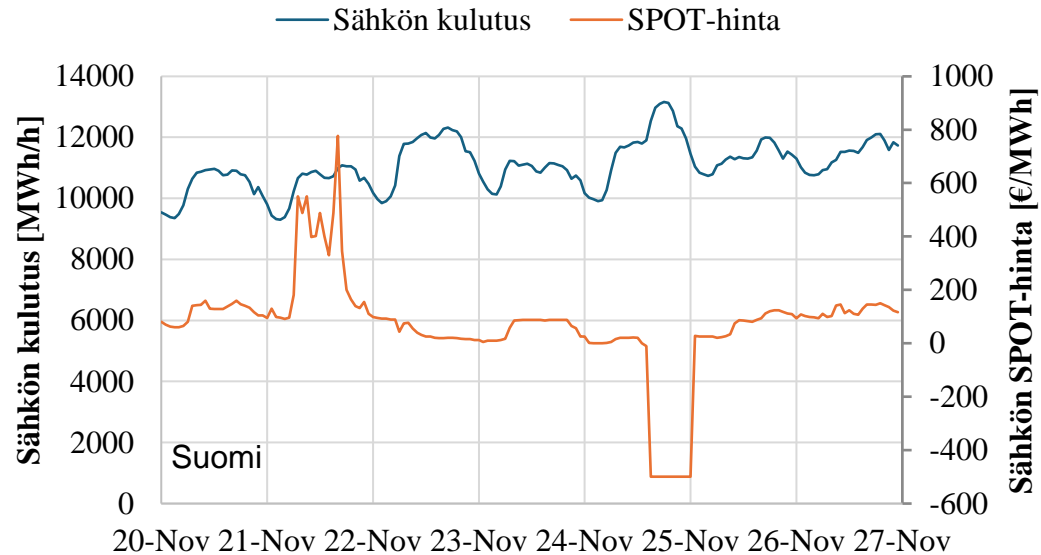
Pörssisähkösopimusten määrä on kasvanut vuonna 2023 reiluun 30 %, kun vuonna 2021 osuus on ollut n. 10 %. → pörssisähkösopimusten osuus tulee kasvamaan nykyisestä.



## **KOKEMUKSET**

- Black Friday 25.11.2023, ennätysellisen halpa päivä (-500 €/MWh)
- Blue Friday 5.1.2024, ennätysellisen kallis päivä (1896 €/MWh)

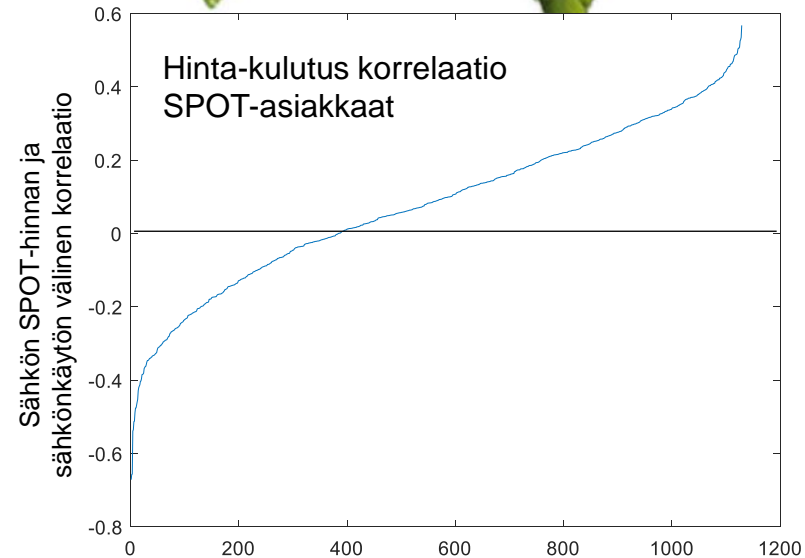
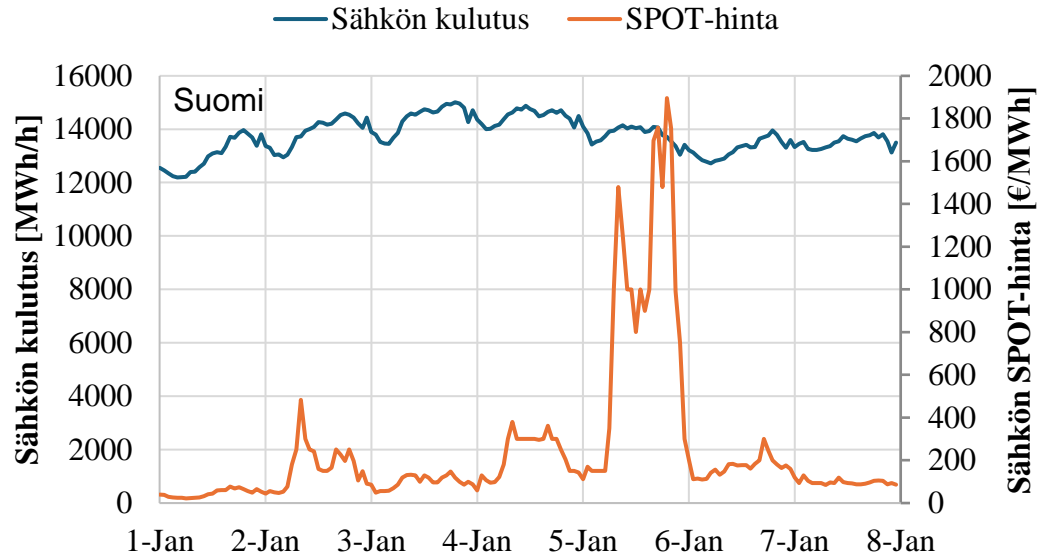
# HINTAJOUSTO-HANKE: SÄHKÖNKÄYTTÖ, BLACK FRIDAY, 24.11.2023



Pörssisähköasiakasryhmä nosti sähkönkäyttöä huomattavasti muita sähkönkäyttäjärühmiä enemmän

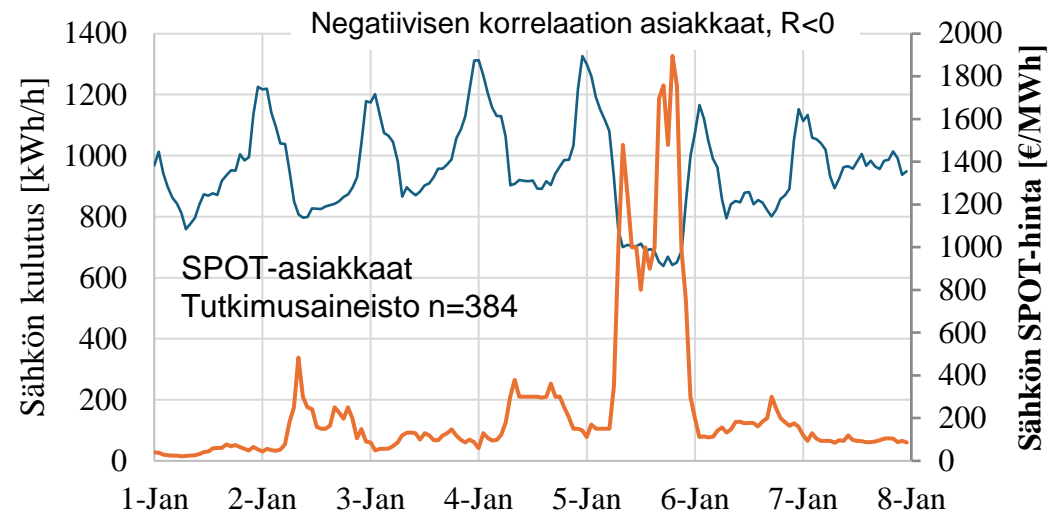
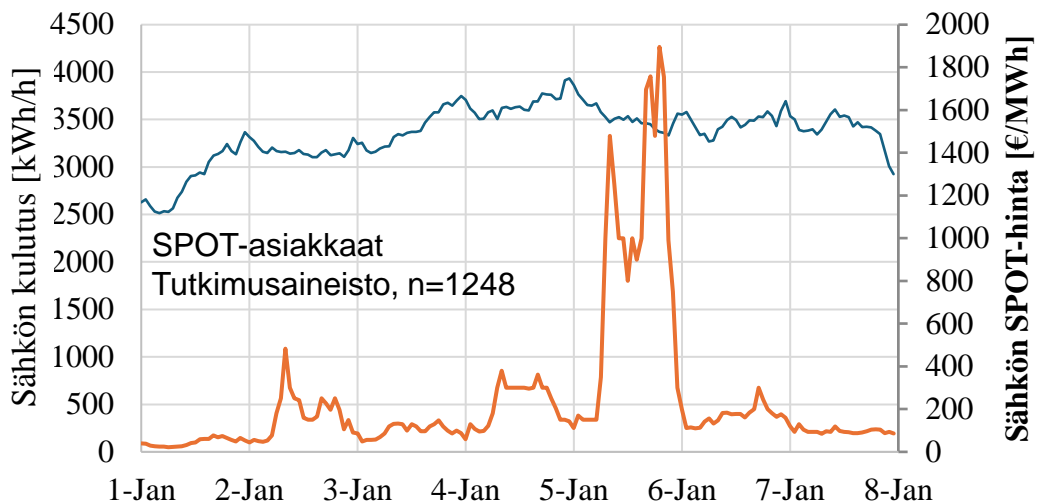
Sähkönkulutus kasvoi myös valtakunnan tasolla lähes gigawatilla.

# HINTAJOUSTO-HANKE: SÄHKÖNKÄYTTÖ, BLUE FRIDAY, 5.1.2024



Osa pörssisähköasiakkaista sopeutti sähkönkäyttöään huomattavasti korkeiden hintojen aikaan.

Valtakunnan tasolla päivän huipputeho jäi merkittävästi pienemmäksi kuin arvioitiin. Korkeat hinnat leikkasivat Suomen kokonaiskulutuksesta n. 5 %.



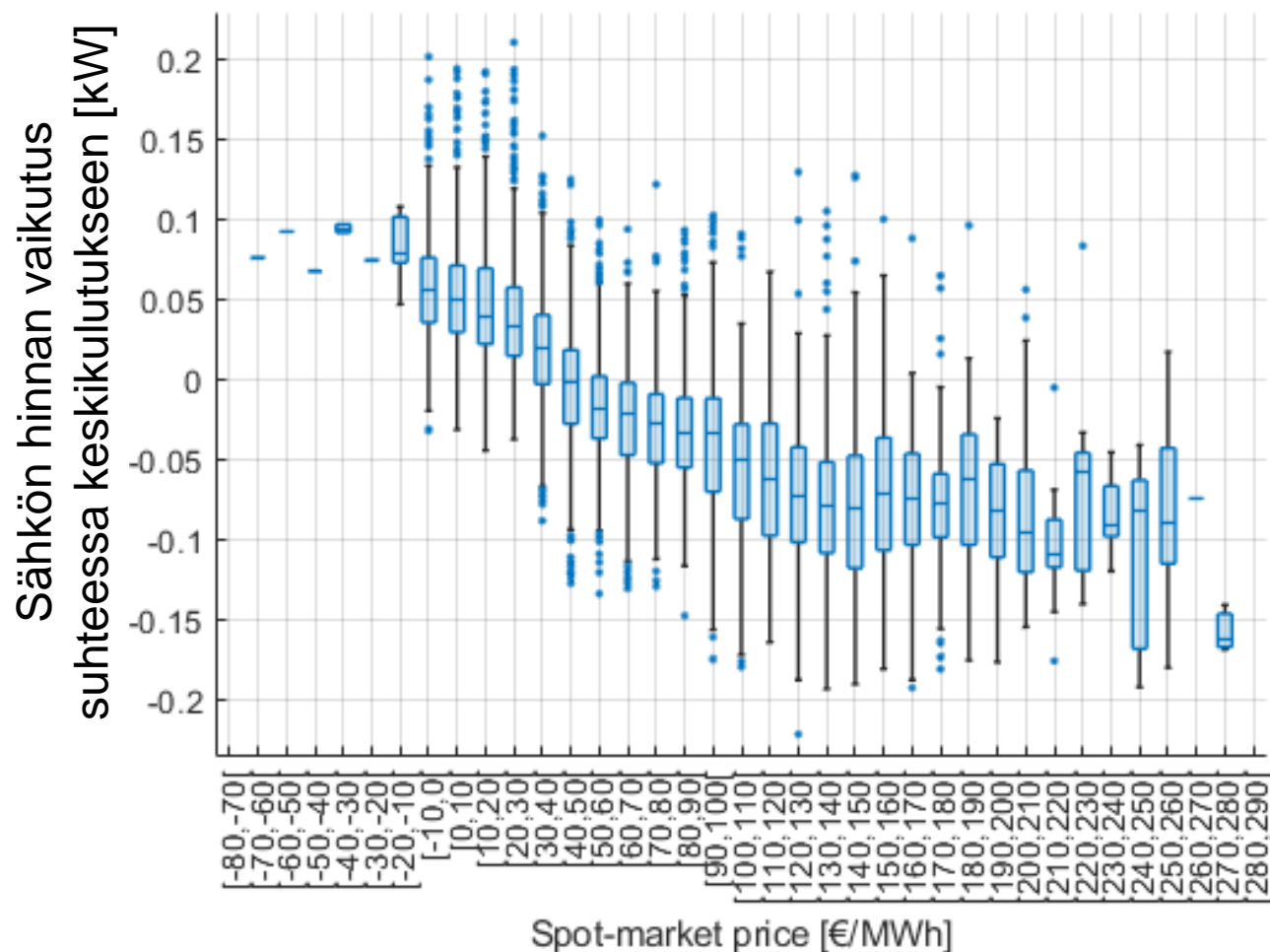
## HINTAJOUSTON VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

- Määritteleekö markkinahinta sähkökäytölle uudet reunaehdot?
- Mikä on sähkön hinnan ja sähkön käytön välinen riippuvuus?
- Määritteleekö sähkön hinta enemmän sähkön käyttöä kuin ulkolämpötila?
- Miten sähkösovimustyyppi vaikuttaa sähkökäyttäjien joustavuuteen?

**Sähkökäyttöön vaikuttavia tekijöitä mm. kellonaika, viikonpäivä, spot-hinta, ulkolämpötila, päivän sisäinen spot-hintapoikkeama. Hintajouston arviointi mm. koneoppimismenetelmillä.**

## SPOT-HINNAN VAIKUTUS SÄHKÖNKÄYTTÖÖN

Keskimäärin n. 100 W/käyttöpaikka per 100 €/MWh



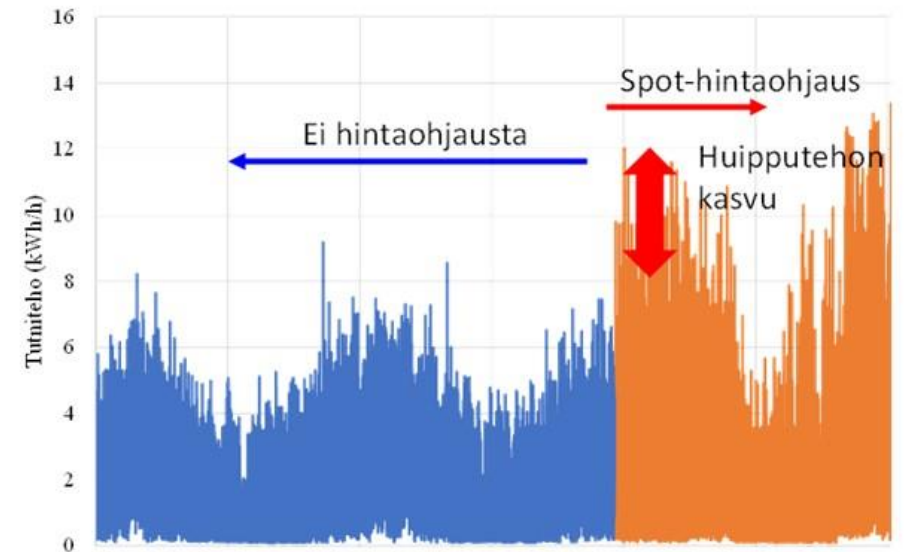
Suurin osa hinnan tuomasta joustovaikutuksesta aktivoituu melko nopeasti hinnan noustessa.

Vastaavasti negatiivisten hintojen aikana myös sähkönkäyttö kasvaa.

**HUOM!** Kaikki spot-asiakkaat eivät joustavia! Toistaiseksi lämpötilalla ja jopa viikonpäivällä hintaa suurempi vaikutus sähkönkäyttöön.

## JOUSTAVA SÄHKÖNKÄYTTÖ: SÄHKÖVERKKOANALYYSIT

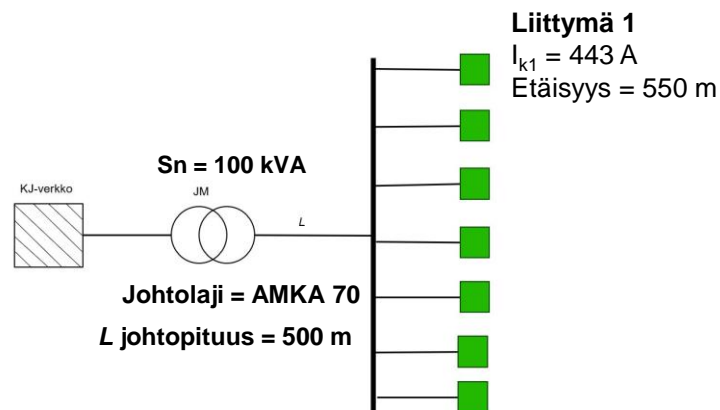
- Synkronoituvatko kuormat – miten joustojen realisoituvat jakeluverkkoon?
- Miten sähkön hinta vaikuttaa – ylikuormittuvatko jakeluverkot?



# HINTAJOUSTO-HANKE: SÄHKÖVERKKOANALYYSIT

Esimerkkitopologia keskimääräisen  
haja-asutusverkkoaineiston perusteella

## Topologia A



Asiakasjoukosta ensiksi poimittu kulutuspisteitä seuraavin kriteerein

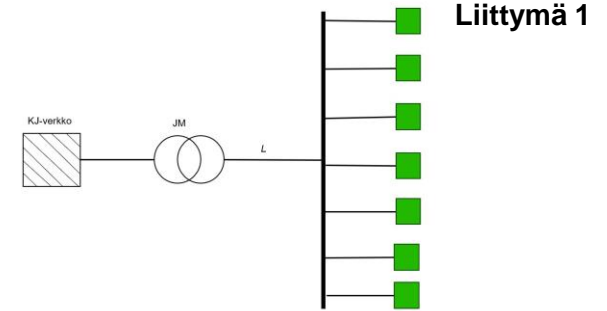
- Vuosikulutus 2023 yli 6000 kWh
- Sama sopimustyyppi voimassa koko tarkastelujakson ajan
- Alle 25 kWh/h maksimiteho vuonna 2023

Asiakkaat jaoteltu

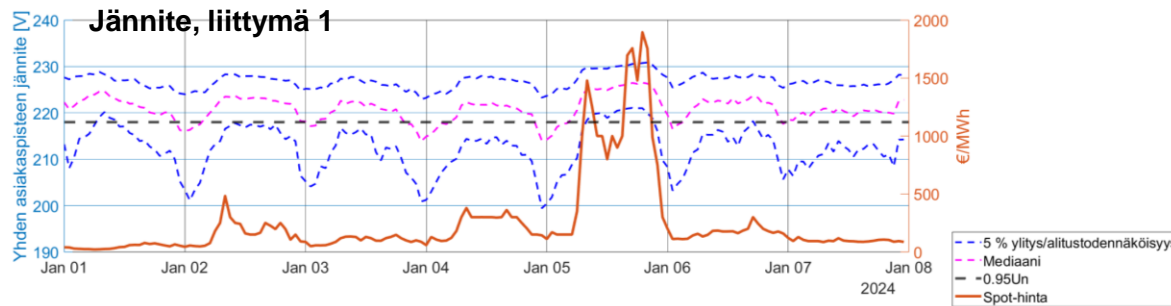
- Joustaviin
- Ei-joustaviin

# HINTAJOUSTO-HANKE: SÄHKÖVERKKOANALYYSIT, VERKKOMALLI A

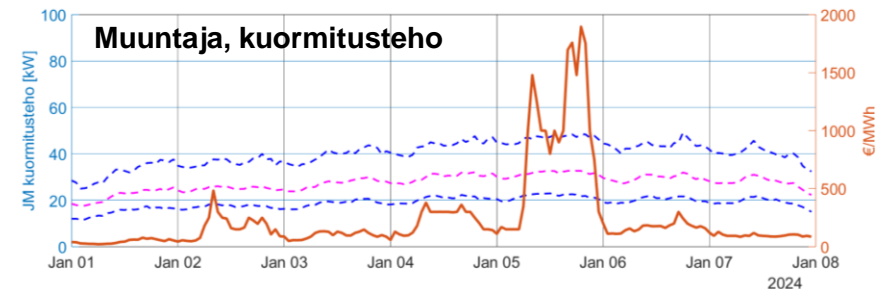
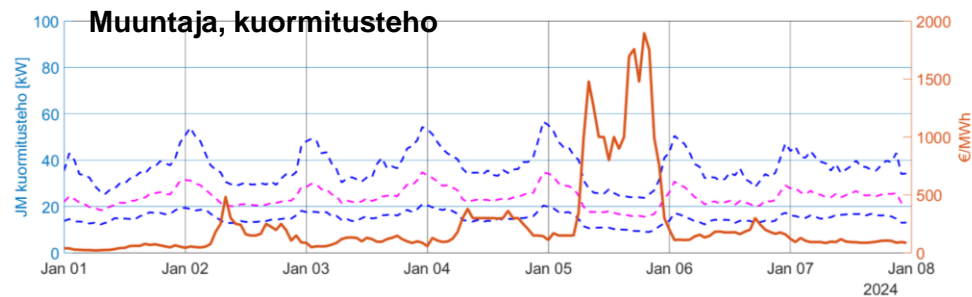
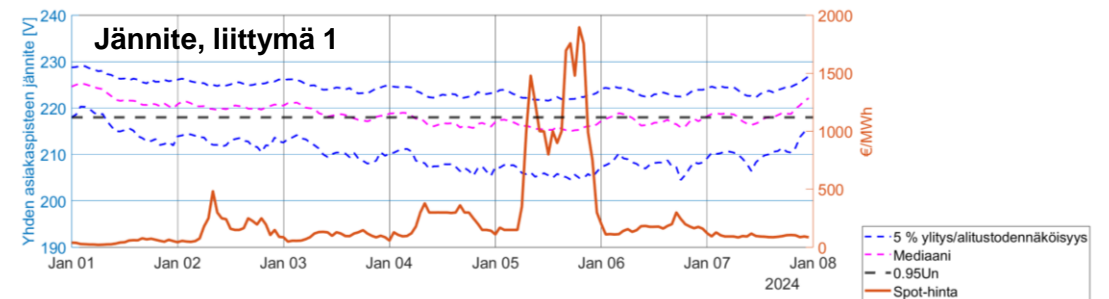
## ASIAKASPISTEEN JÄNNITE JA MUUNTAJAN KUORMITUSTEHO KUORMITUS KORKEAN HINNAN MUKAAN, KYLMÄ AJANJAKSO ESIMERKKIVIIKKO 1.1.2024-7.1.2024



### Seitsemän joustavaa asiakasta



### Seitsemän ei-joustavaa asiakasta





## HAVAINNOT

- » Joustavien asiakkaiden tilanteessa jännitteen vaihtelu on suurempaa, kuin ei-joustavien asiakkaiden tilanteessa, mikäli sähköhinta vaihtelee rajusti
- » Korkeiden hintojen aikana joustavien asiakkaiden kulutus siirtyy, mikä näkyy tehopiikkeinä, kun sähkön hinta laskee
- » Joustavien asiakkaiden kuormien synkronoituminen ei toistaiseksi ole ollut systemaattista, jolloin se ohjaisi laajasti jakeluverkon huippukuormitusta

## JOUSTAVA SÄHKÖNKÄYTTÖ: TEHOHINNOITTELUN VAIKUTUKSET JOUSTOON

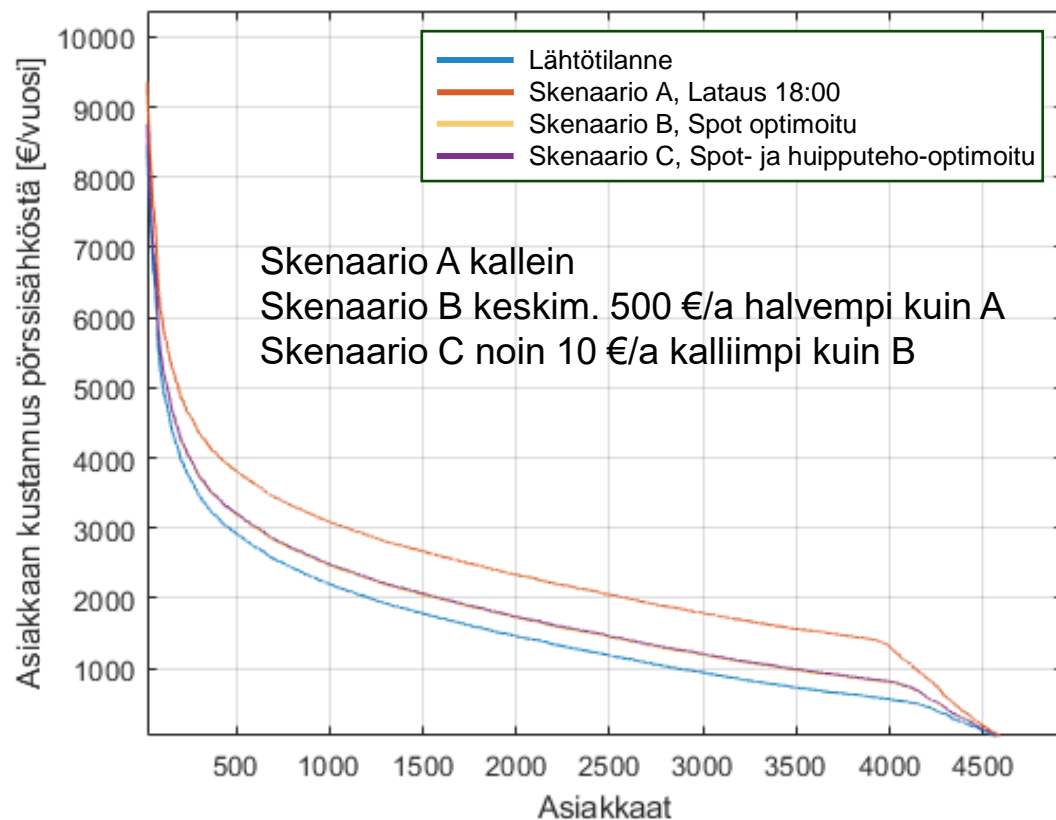
- Mitkä ovat tehohinnoittelun mahdollisuudet kulutusjouston ohjauksessa?
- Mitä ovat tehotariffien painoarvot suhteessa muihin sähkömarkkinahintoihin?
- Estääkö tehomaksu pörssisähkön mukaan joustamisen?
- Voidaanko sähköautoja ladata hyödyntäen edullisimpia sähkön hintoja?

## TEHOTARIFFI JA PÖRSSISÄHKÖ

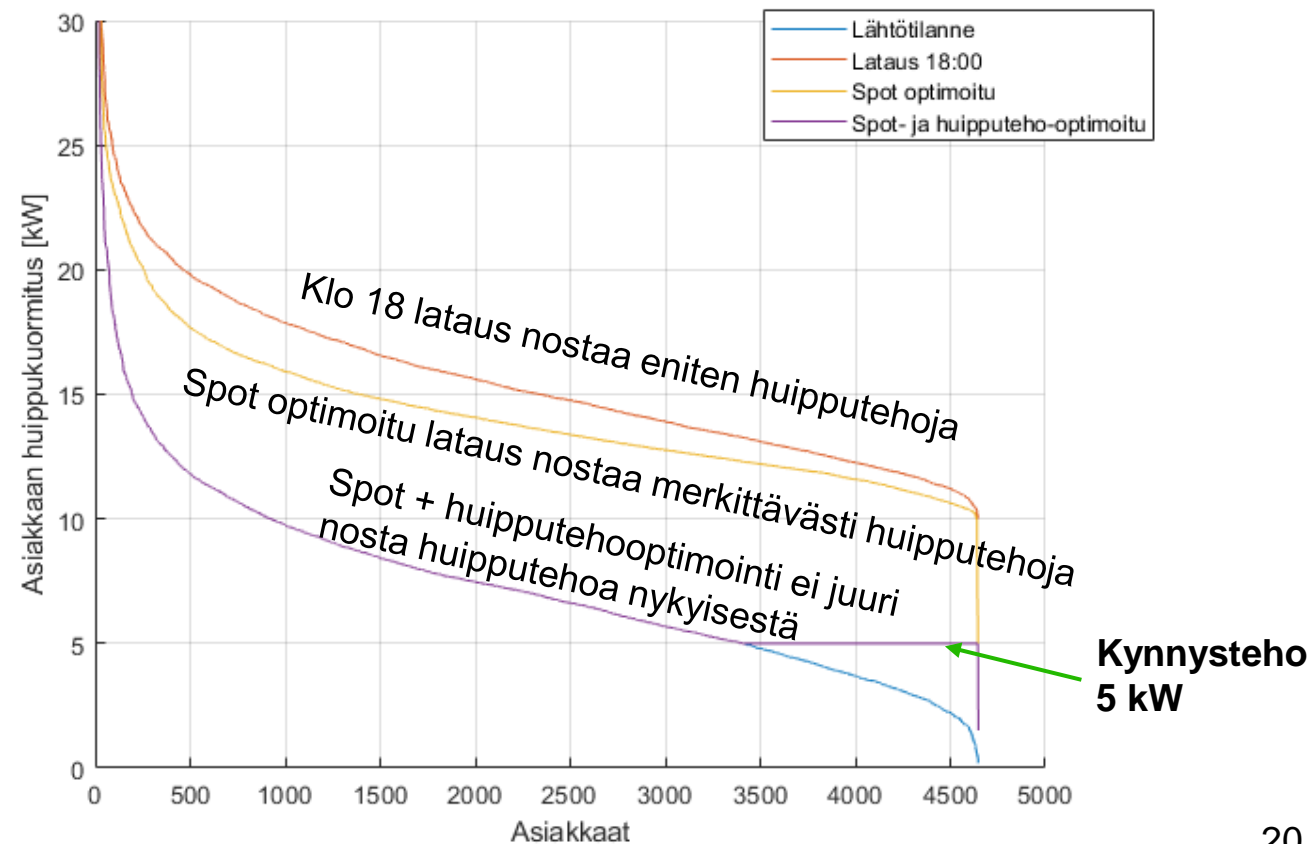
- ▶▶ Sähköautojen lataustehoksi oletettiin 10 kW ja päivittäiseksi energiatarpeeksi 10 kWh (~50 km ajomatka).
- ▶▶ Latausskenaariot:
  - A. ”Tyhmä” lataus täydellä teholla klo 18:00 alkaen.
  - B. Pörssisähkön mukaan optimoitu lataus 18:00–07:00 välillä.
  - C. Latauksen optimointi edullisimmille tunneille siten, että asiakkaan kuukausihuipputehot (5 kW minimilaskutusteho huomioiden) eivät kasva.
- ▶▶ Kuinka monella asiakkaalla ja kuinka usein latausta ei pystyittäisi toteuttamaan kasvattamatta huipputehoja?
- ▶▶ Kuinka paljon asiakkaat menettäisivät pörssisähkön hyötyjä latausskenaarioiden B ja C välillä?

## TEHOTARIFFI JA PÖRSSISÄHKÖ

### Sähkönkäytön vuosikustannukset



### Asiakkaan huipputeho



## »» Toteutunut hintajousto

- »» Näkyy Suomen sähköjärjestelmätasolla. Kulutuksen jousto suhteellisen voimakasta verrattuna naapurimaihin.
- »» Nykyisellään vahvasti joustavia sähkönkäyttäjiä pieni joukko.
- »» Keskimäärin pörssisähköasiakasjoukossa hintajousto n. 100 W/käyttöpaikka per 100 €/MWh tarkasteltaessa pientaloluokan käyttöpaikkoja (välillä 0-150 €/MWh).
- »» Sähköautot merkittävässä roolissa → niiden mahdollistama hyöty kotilataajalle jopa useita satoja euroja vuodessa.

## »» Tulevaisuuden näkymä

- »» Hintajouaston joustopotentiali ja kyky kasvaa: useita tekijöitä

## »» Toimenpiteet toimialalla

- »» Hintajousto otettava jatkossa mukaan mm. sähkön päivittäiseen hinnan muodostamiseen.
- »» Hyvä seurata aktiivisesti miten sähkönkäyttö muuttuu. Tieto vanhenee nopeasti.

## »» Hintajoustopon verkkovaikutukset

- »» Synkronoituva sähkönkäyttö voi aiheuttaa pj-verkoissa suurehkoa jännitteen heiluntaa, kun joustavia sähkönkäyttäjiä sijoittuu saman muuntopiirin alueelle. Potentiaalisia ongelmakohteita ovat muuntopiirit, joissa minimi oikosulkuvirrat ovat tyypillisesti alle 300 A.
- »» Potentiaalisia ongelmakohtia syntyy jatkossa kohteisiin, joissa otetaan käyttöön uusia kuormia, esim. sähköautojen lataus, jotka helposti synkronoituvat hintasignaalin kautta (sähköautoilijoilla suuri kannustin pörssiohjattuun kotilataukseen).

## »» Tehohinnoittelu hintajoustopon haittojen ehkäisyssä

- »» Tehotariffi voidaan asetella siten että sähkönkäyttäjällä on kannuste olla kasvattamatta nykyistä huipputehoa, mutta vaikutus pörssisähkön edullisista tunneista saataviin hyötyihin on minimaalinen
- »» Keskimääräinen sähkönkäyttäjä ei juuri menetä spot-optimoinnista saatavia hyötyjä, jos tarve esimerkiksi ladata sähköautoa päivittäin 10 kWh.

## RAPORTTI SAATAVILLA

➤ Sähkömarkkinan hintavolatiliteetin vaikutukset sähkön kulutusjoustoan ja sähkönjakelujärjestelmään

➤ <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/168780>



Projektipäällikkö / tutkijaopettaja  
Juha Haakana  
[juha.haakana@lut.fi](mailto:juha.haakana@lut.fi)

### Sähkömarkkinan hintavolatiliteetin vaikutukset sähkön kulutusjoustoan ja sähkönjakelujärjestelmään

Haakana, Juha; Haapaniemi, Jouni; Lamminpää, Akseli; Lassila, Jukka (2024-12-16)



Katso/Avaa

 **Hintajousto raportti - full.pdf**  
(2.878Mb)

Lataukset: 122

Publishers version

Haakana, Juha  
Haapaniemi, Jouni  
Lamminpää, Akseli  
Lassila, Jukka

Julkaisun pysyvä osoite on

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-412-208-5>

Tiivistelmä

Tutkimuksessa on selvitetty sähkön pörssiinnan vaikutuksia pienasiakkaiden sähkönkäyttöön ja sähköverkon kuormittamiseen. Sähkön pörssiinnanvaihtelu on ollut vuodesta 2022 lähtien aiempaa suurempaa. Tähän ovat vaikuttaneet merkittävästi mm. uusiutuvan sähköenergiatuotannon lisääntyminen sekä Venäjän aloittama Ukrainan sota, joka aiheutti laajamittaisen energiakriisin. Pörssiinnan vaihtelu on myös tarjonnut sähkönkäyttäjille aiempaa suuremman kannusteen joustaa sähkönkulutuksessa omien mahdollisuuksien mukaan mm. ajoittamalla sähkönkäyttöä edullisille ajanjaksoille tai vähentämällä sähkönkäyttöä kalliiden tuntien aikana.

Työssä on käytetty todellista sähkömittaus- ja sähkösovimusaineistoa. Aineistoa tutkittaessa on hyödynnetty mm. koneoppimismenetelmiä, joiden avulla on määritetty, miten eri tekijät vaikuttavat pienasiakkaiden sähkönkulutukseen. Tulosten mukaan sähkön hinnalla on ollut pörssiinäsähköasiakkaiden sähkönkäyttöön selkeä vaikutus, joka ilmenee jo melko pienilläkin hinnan muutoksilla. Jousto on tarkastelujen mukaan noin 100 W per asiakas kun hinta nousee 100 €/MWh. Suuremman hinnan vaihtelut vahvistavat kulutusjoustoan. Tätä tulosta tukee myös havainnot talven 2023–24 ajan korkean hinnan jaksoilta, jolloin sähkönkäyttäjät joustivat valtakunnan mittakaavassakin huomattavasti. Hintajoustoan verkko vaikutuksia tutkittiin haja-asutusalueelle mallinnetuilla keskimääräisillä pienjänniteverkkotopologioilla hyödyntämällä todellista mitattua sähkökulutusdataa. Analyysissä painotettiin erikseen sekä hinnan mukaan joustavia asiakasprofileja että ei-joustavia profileja. Analyysin mukaan joustojen synkronoituessa sähköverkon kuormitus saattaa nousta aiempaa suuremmaksi ja jännitteet vaihdella enemmän verrattuna tilanteeseen, jossa sähkönkäyttäjät eivät joustaa hinnan mukaan. Kuitenkin hintajoustoan verkko vaikutukset ovat tutkimuksen perusteella maltillisia, kun tarkastellaan sähköverkon symmetristä kuormittamista nykyisen tyyppisillä joustavilla asiakkailla. Sähköautojen lataustapahtumien lisääntyminen voi lisätä sähköverkon kuormittamista erityisesti hintaohjauksen lisääntyessä.

