

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

EMMA MIKOLA

**Normaalin sähkönsiirtomäärän
määrittäminen ja ulkolämpötilan
vaikutus jakeluverkon asiakkaiden
sähkönkulutukseen**

YMPÄRISTÖ- JA ENERGIA TEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Mikola, Emma: Normaalin sähkösiirtomäärän määrittäminen ja ulkolämpötilan vaikutus jakeluverkon asiakkaiden sähkönkulutukseen
Opinnäytetyö, AMK
Energia- ja ympäristötekniikka
Heinäkuu 2025
Sivumäärä: 42

Opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittää kuukausittainen normaali sähkösiirtomäärä ulkolämpötilan funktiona, sekä analysoida ulkolämpötilan vaikutusta jakeluverkon asiakkaiden sähkönkulutukseen. Työ toteutettiin Pori Energia Sähköverkot Oy:n toimeksiantamana tilastollisena analyysinä.

Työssä analysoitiin pien-, keski- ja suurjännitetasojen sähkösiirtomäärien muutoksia vuosilta 2020–2024 ja sitä, miten ulkolämpötilalla oli niihin vaikutusta. Analysoitavina sähkösiirtomäärinä käytettiin yhteenlaskettuja kuukausittaisia siirtomääriä. Normaali sähkösiirtomäärä laskettiin kolmella eri menetelmällä, eli interpoloimalla sähkösiirtomääriä, tilastollisesti 95 % luottamustasolla, sekä regressioanalyysillä tarkasteluvuosien sähkösiirtomäärien perusteella. Tuloksia verrattiin vuoden 2025 toteutuneisiin siirtomääriin.

Interpoloimalla laskettiin normilämpötiloille sähkösiirtomäärät tunnettujen sähkösiirtomäärien ja keskilämpötilojen perusteella. Luottamustasolla laskemalla määriteltiin sähkösiirtomäärille vaihteluvälien ala- ja ylärajat. Regressioanalyysillä laskettiin sähkösiirtomäärille pohjakulutus, sekä lämmitysenergian määrä ja siirtomäärille ennusteet. Todettiin, että lämpötilalla oli eniten vaikutusta pienjänniteverkon siirtomääriin. Keskijänniteverkon siirtomääriin lämpötilan merkittävyys väheni. Suurjänniteverkon siirtomääriin lämpötilalla ei ollut merkittävää vaikutusta.

Avainsanat: sähkösiirto, sähkönkulutus, sähköverkot

ABSTRACT

Mikola, Emma: Determining normal electric transmission quantity and the effects of outdoor temperature on the electricity consumption of customers of a distribution network

Bachelor's thesis

Energy and Environmental Engineering

July 2025

Number of pages: 42

The purpose of this thesis was to determine the monthly normal electric transmission quantity, and to analyze the effects of outdoor temperature on the electricity consumption of the customers of the distribution network. The thesis was assigned by Pori Energia Sähköverkot Oy and executed as a statistical analysis.

The thesis analyzed the changes in low-, medium- and high-voltage transmission networks during the years 2020-2024 and how outdoor temperature affected them. The electricity quantities used were monthly totals. Normal electric power transmission was calculated with three different methods: interpolation, 95 % confidence interval, and the formula of the regression analysis. The results were compared to the electric power transmissions of the year 2025.

The totals were determined by interpolating the monthly totals of transmitted electricity and average outdoor temperature. The bottom- and upper-limits for electricity transmission were calculated with 95 % confidence interval. The bottom value for normal energy consumption and required heating energy were calculated with the regression analysis. The conclusion was that outdoor temperature had the most influence on the low-voltage transmission network. There was little less influence on the medium-voltage transmission network and next to none on the high-voltage transmission network.

Keywords: electric power transmission, energy consumption, electricity network

ALKUSANAT

Kiitän Pori Energia Sähköverkot Oy:tä, että sain toteuttaa tämän työn. Kiitokset myös kaikille työkavereilleni, jotka neuvoivat ja auttoivat minua opinnäytetyöprosessin aikana. Erityiset kiitokset Heidille, Ilkalle ja Sarille, että jaksoivat vastata kaikkiin kysymyksiini.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TAUSTATIEDOT.....	8
2.1 Sähköverkot	8
2.2 Normaali sähkönkulutus	9
2.3 Analyysin lähtötiedot ja tehdyt oletukset.....	10
3 MENETELMÄT	12
4 TIEDONKÄSITTELY	15
4.1 Sähkönsiirtomäärät	15
4.2 Vaihtelut sähkönsiirtomäärissä.....	20
4.3 Toteutuneet sähkönsiirtomäärät	22
4.4 Sähkönsiirtomäärien interpolointi	24
5 REGRESSIOANALYYSI	29
6 PÄÄTELMÄT.....	33
6.1 Johtopäätökset	33
6.2 Tulosten vertailu	35
6.3 Maailmanlaajuisten trendien vaikutus.....	36
6.3.1 Sähköntuotanto ja -kulutus tulevaisuudessa.....	37
7 YHTEENVETO.....	39
LÄHTEET.....	41

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

kWh	kilowattitunti
PJ	pienjännitetaso [0,4 kV]
KJ	keskijännitetaso [1–70 kV]
SJ	suurjännitetaso [110 kV]
kV	kilovoltti

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Pori Energia Sähköverkot Oy. Työn tarkoituksena on analysoida, miten ulkolämpötila vaikuttaa jakeluverkon asiakkaiden sähkönkulutukseen ja määrittellä kuukausittainen normaali sähkönsiirtomäärä. Normaalista sähkönsiirtomäärää määritetään eri menetelmillä, joita vertaillaan keskenään. Opinnäytetyössä analysoidaan pien-, keski- ja suurjänniteverkkojen sähkönsiirtomäärät viiden vuoden aikaväliltä vuosilta 2020–2024. Saatua normaalia sähkönsiirtomäärää verrataan vuoden 2025 toteutuneisiin sähkönsiirtomääriin.

Opinnäytetyössä käytetään tilastollista analyysia. Valmiita tietoja analysoidaan kuvioilla, joiden tekoon on käytetty erilaisia tilastollisia menetelmiä, kuten interpolointia ja 95 % luottamusväliä, sekä regressioanalyysia.

2 TAUSTATIEDOT

Työssä käsitellään Pori Energia Sähköverkot Oy:n jakelualueen sähkönsiirtomääriä. Jakeluverkonalueella kulkee pien-, keski- ja suurjänniteverkot (PJ-, KJ- ja SJ-verkot), joilla kuljetetaan asiakkaille sähköä. Näiden jännitetasojen siirtomääriä vertailtiin normilämpötiloihin, jotta tulokseksi saatiin normaali sähkönsiirtomäärä.

2.1 Sähköverkot

Koko Suomen läpi menee kantaverkko, johon voimalaitokset ovat liitetty. Voimalaitokset liitetään suoraan kantaverkkoon, koska sen kapasiteetti pystyy käsittelemään suuren tehon. Kantaverkkoon kuuluu 400 kV ja 220 kV:n voimajohtot. Fingrid Oyj omistaa sähkönsiirron kantaverkon ja ylläpitää sitä. 400 kV ja 220 kV:n verkot omistavat lähes kokonaan Fingrid Oyj. Jakeluverkot kiinnittyvät 110 kV:n verkoilla kantaverkkoon. Fingrid omistaa puolet 110 kV:n verkoista, loppuosan omistavat eri alueverkkoyhtiöt. Kantaverkosta on yhteyksiä ulkomaille, esimerkiksi Norjaan ja Ruotsiin, joilla ulkomaille saadaan siirrettyä tai vastaanotettua sähköä tarpeen mukaan. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 58–61)

Kantaverkosta sähkönsiirtoverkko jakautuu suurjänniteverkoksi, eli 110 kV:n verkoksi. Pori Energia Sähköverkot Oy:n jakeluverkon alueella on suurimmillaan 110 kV:n voimaverkko. Vuonna 2023 110 kV:n voimajohtoja alueella oli noin 99 kilometriä. Jakeluverkon SJ-verkko liittyy 400 kV:n kantaverkkoon Ulvilan sähköasemalla. (Fingrid, n.d.)

SJ-verkko haarautuu keskijänniteverkoksi syöttöasemilla ja -muuntajilla, joilla 110 kV jännite muunnetaan KJ-verkolle sopivalle 1–70 kV jännitetasolle. Energiaviraston määrittämä jänniteväli KJ-verkoille on 1–70 kV, mutta Pori Energia Sähköverkot Oy:n alueella jännite on 20 kV. Vuonna 2023 Pori Energia Sähköverkot Oy:n jakeluverkon alueella KJ-verkkoa oli noin 995 kilometriä.

Asiakkaat voidaan tarvittaessa liittää suoraan KJ- ja SJ-verkkoihin, mikäli heidän sähköntarpeensa sitä vaatii. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 55)

KJ-verkko puolestaan haarautuu pienjänniteverkoksi jakelumuuntajien muuntamana. Jakelumuuntajat muuntavat 6,3 ja 20 kV:n jännitteen 0,4 kV:ksi. PJ-verkosta sähkö jaetaan kuluttajille erilaisten jakokaappien ja muuntamoiden kautta. Vuonna 2023 PJ-verkkoa Pori Energia Sähköverkot Oy:n alueella oli noin 2382 kilometriä. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 55)

2.2 Normaali sähkönkulutus

Normaaliin sähkönkulutukseen lasketaan kaikki elämiseen vaikuttavat toiminnot, muun muassa ruoanlaitto, lämmitys, pyykkien peseminen, siivous ja peseytyminen. Normaalin sähkönkulutuksen merkittävimmät muuttujat ovat rakennusten lämmitystavat ja asiakkaan elämäntyyli. Omakotitaloissa kuluu paljon energiaa. Yksiöissä ja kaksioissa kulutus on yleensä vähäisempää. Pääosin sähkönkulutus kuitenkin riippuu elintavoista. Elektroniikkalaitteet tarvitsevat myös sähköä, ja kulutukseen vaikuttavat laitteiden tyyppi, lukumäärä ja käyttö. (Fortum, 2019)

Nykyaikana yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö kerrostaloissa, mutta pientalot, etenkin vanhemmat rakennukset voivat vielä käyttää sähkölämmitystä. Usein pientaloissa on vielä ilmalämpöpumppu lisänä, joissakin on myös varaava takka. Viime vuosina aurinkosähköjärjestelmät ja aurinkolämpöjärjestelmät, sekä muut lämmitysjärjestelmät, kuten maalämpöjärjestelmät, ovat lisääntyneet. Aurinkosähköjärjestelmät vaikuttavat enimmäkseen PJ-verkkoon syötettävään määrään riippuen tuotannon määrästä. Mikäli järjestelmä tuottaa sähköä enemmän, kuin asiakas pystyy kuluttamaan, loppuosa syötetään verkkoon. Rakennuksen energiatehokkuus vaikuttaa myös sähkönkulutukseen; etenkin vanhat remontoimattomat rintamamiestalot kuluttavat paljon sähköä. Uusien energiatehokkaiden rakennusten rakentaminen, tai vanhojen rakennusten energiaremontointi vähentää sähkönkulutusta. (Motiva, 2025)

2.3 Analyysin lähtötiedot ja tehdyt oletukset

Tiedot sähkön kokonaissiirtomääristä haettiin Pori Energian raportointijärjestelmästä, jossa ne olivat valmiina saatavilla kuukausitasolla. Huomioon otettiin vain loppukäyttäjille toimitettu sähkön määrä, eli sähkönkulutus jännitetasoitain.

Oletuksena on, että sähkönkulutukseen vaikuttaa sähköverkon jakelualueen asiakkaiden määrä, käyttöpaikkojen määrä ja koko, ulkolämpötila, sähkön hinta, sekä asiakkaiden elämäntyyli ja tavat. Tässä työssä analysoitiin pelkästään lämpötilan vaikutusta sähkönkulutukseen ja -siirtomäärään.

Taulukossa 1 on Porin asukasluvut ja jakeluverkon alueen käyttöpaikat vuosina 2020–2024. Käyttöpaikkoja ei ollut mahdollista jaotella jännitetasoon mukaan, joten niitä ei oteta analyyseissä huomioon.

Taulukko 1. Porin asukasluku ja jakeluverkon käyttöpaikat.

Vuosi	Asukasluku	Käyttöpaikat
2020	83 684	53 226
2021	83 482	53 597
2022	83 205	53 760
2023	83 106	54 006
2024	83 305	54 096

Asiakasmäärään vaikuttavat Porin asukasluku ja sähköverkon jakelualueen käyttöpaikat. Porissa asukasmäärä on alkanut nousemaan hiljalleen vuodesta 2023. (Tilastokeskus, n.d.).

Asiakasmäärää ei huomioitu analyysien teossa, koska muutos on ollut pientä, mutta mainittiin silti päätelmissä. Lisäksi asiakkaiden sähkönkulutustavat oletetaan osaksi kuviossa 20 esitettyä sähkönsiirtomäärän pohjakulutusta.

Sähkönsiirtomääriin vaikuttaa myös sähkön hinta, mutta sitä ei olla huomioitu opinnäytetyössä. Päivittäisillä sähköhinnoilla on paljon merkitystä PJ-verkon asiakkaille, mutta tässä työssä tietoja käsiteltiin kuukausittaisina kokonaisuutena, joten ei ollut mahdollista ottaa laskennoissa huomioon korkeita päivittäisiä sähköhintoja.

Porin keskimääräiset kuukausilämpötilat saatiin Ilmatieteen laitoksen tuottamasta avoimesta datasta. Sääasemina toimi Porin rautatieaseman ja Porin lentoaseman sääasemat. Normilämpötilat laskettiin vuosien 1991–2020 kuukausittaisista keskilämpötiloista. (Ilmatieteen laitos, n.d.)

Sähkönsiirtomäärään huomioitiin myös tarvittava lämmön määrä. Talvella tämä lisää sähkönsiirtomääriä. Porin alueelle on määritelty oma lämmitystarvelukunsa, joka oli esimerkiksi 2023 vuoden tammikuussa 562 °Cvrk. Taulukossa 2 on normaalivuoden lämmitystarveluvut. Normaalivuoden lämmitystarveluvut ovat vuosien 1991–2020 lämmitystarvelukujen keskiarvot. Ilmastonmuutoksen vaikutus lämmitystarveluvun kannalta on niin pieni, että sen vaikutus jätetty huomioimatta. (Ilmatieteen laitos, n.d.)

Taulukko 2. Normaalivuoden lämmitystarveluvut.

Kuukausi	Lämmitystarveluku (°Cvrk)
Tammikuu	648
Helmikuu	603
Maaliskuu	567
Huhtikuu	381
Toukokuu	176
Kesäkuu	24
Heinäkuu	4
Elokuu	16
Syyskuu	144
Lokakuu	354
Marraskuu	474
Joulukuu	585

Lämmitystarveluku lasketaan päivittäisten ulkolämpötilojen keskiarvojen ja oletetun sisälämpötilan erotuksena. Nämä erotukset lasketaan yhteen kuukausiluvuksi. Sisälämpötilaksi oletetaan 17 °C. Huomattava on, että vuoden alkupuoliskolta ei oteta huomioon päiviä, joiden keskiarvo on yli 10 °C, eikä loppupuoliskolta päiviä, joiden keskilämpötila on yli 12 °C. (Ilmatieteen laitos, n.d.)

3 MENETELMÄT

Sähkönsiirtomäärät käsiteltiin kuukausien kokonaissiirtomäärinä. Tiedot käsiteltiin Excel-ohjelmalla, jossa siirtomääristä tehtiin erilaisia pylväs-, viiva- ja pistekuvioita, sekä taulukoita, joista tehtiin päätelmiä ja vertailuja. Tietoja analysoitiin 95 % luottamusvälin, interpoloinnin ja regressioanalyysin avulla.

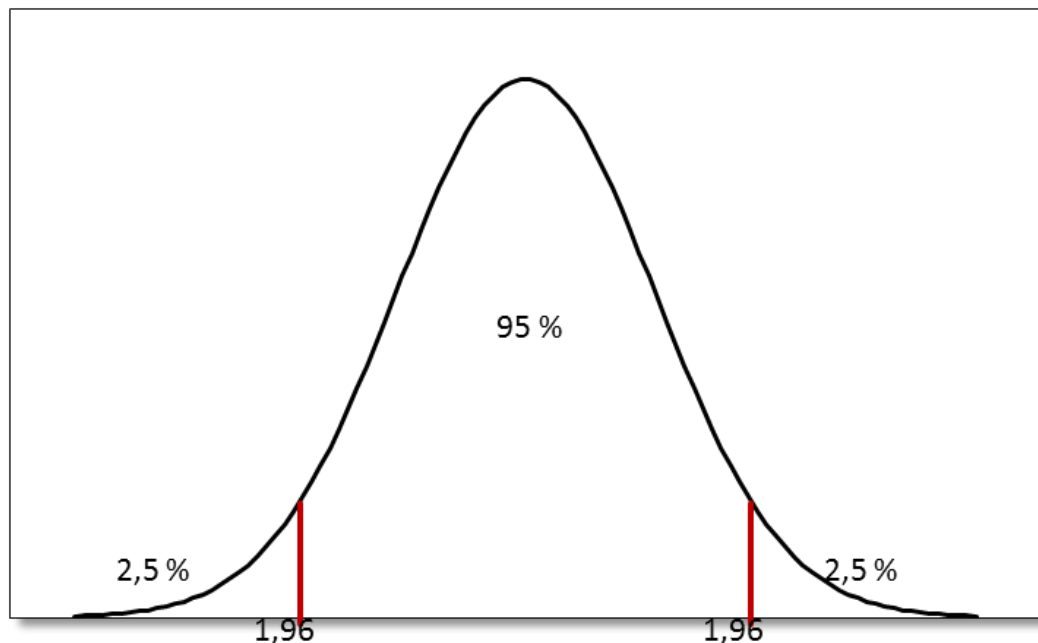
Tilastolliseen 95 % luottamusvälin laskemiseen päädyttiin, koska sähkönsiirtomäärät muuttuvat paljon ja 95 % luottamusvälin avulla saadaan siirtomäärille vaihteluvälin ala- ja ylärajat, jotka toteutuvat suurella todennäköisyydellä. Näin ollen saadaan arvio, kuinka paljon siirtomäärät todennäköisesti ovat tulevaisuudessa.

Luottamusväli laskettiin keskiarvon, keskihajonnan ja keskiarvon keskivirheen avulla kaavalla (1) (Mannila & Seppänen, 2023, s. 53). Keskihajonnalla tarkoitetaan lukujen eroavaisuutta keskiarvosta, eli kuinka paljon on eroa keskimäärin lukujen ja niiden keskiarvon välillä. Keskiarvon keskivirhe esittää, kuinka paljon otoskeskiarvot eroavat populaation keskiarvosta. Tässä työssä luottamustaso on 95 %. Luottamusväli puolestaan kuvastaa luottamustason tarkkuudella saatuja arvoja, eli sähkönsiirtomäärän vaihteluvälin ala- ja ylärajoja, jotka, esimerkiksi kuvion 7 mukaan ovat 49 470–60 387 kWh. 95 % todennäköisyydellä siirtomäärä on kyseisten arvojen välissä. (Tietoarkisto, n.d.)

$$\left[\bar{x} - 1,96 \times \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + 1,96 \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right] \quad (1)$$

Kaavassa (1) \bar{x} tarkoittaa otosten keskiarvoa, 1,96 on keskivirhe ja $\frac{s}{\sqrt{n}}$ tarkoittaa keskiarvon hajontaa. Keskiarvon hajonta lasketaan jakamalla keskihajonta otoskoon neliöjuurella.

Kuviossa 1 on tyypillinen 95 % luottamusvälin normaalijakauma. Normaalijakaumasta nähdään, että keskellä oleva alue on 95 % ja molempien sivujen loppuosat ovat 2,5 %. 1,96 merkitsee keskivirhettä, eli luottamusvälin virhemarginaalia. Arvot löytyvät 95 % todennäköisyydeltä punaisten viivojen välistä. Mahdollista on, että arvot eivät mahdu vaihteluvälin rajoihin, vaan ne löytyvät punaisten viivojen ulkopuolelta 2,5 % alueilta. (Taanila, 2019)



Kuvio 1. 95 % luottamusvälin normaalijakauma. (Taanila, 2019)

Interpolointia käytettiin normaalin sähkönsiirtomäärän määrittämiseen. Tarkoituksena oli määritellä, kuinka paljon sähkönsiirtomäärä olisi normilämpötilassa. Normilämpötiloille siirtomäärät laskettiin toteutuneiden siirtomäärien ja lämpötilojen suhteen. Esimerkiksi, jos tammikuussa 2024 keskilämpötila oli $-7,40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sähkönsiirtomäärä oli 62 000 kWh; tammikuussa 2020 keskilämpötila oli $2,60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sähkönsiirtomäärä 47 000 kWh, niin selvitettiin, kuinka paljon sähkönsiirtomäärä olisi, jos keskilämpötila olisikin esimerkiksi $-4,00\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Indeed Editorial Team, 2025, kohta What is linear interpolation)

Ensimmäinen tapa interpoloida siirtomäärä oli laskea se viiden vuoden kuukausittaisilla siirtomäärillä ja keskilämpötiloilla. Näin ollen selvitettiin tunnetuilla arvoilla (lämpötila-siirtomäärä) kuinka paljon siirtomäärä oli normilämpötilassa. Toinen tapa, josta tarkemmin luvussa 5, jolla normaalien sähkönsiirtomäärien interpolointiin, käytettiin 95 % luottamusvälillä laskettujen siirtomäärien ja lämpötilojen ala- ja ylärajoja. Sähkönsiirtomäärän vaihteluvälin ala- ja ylärajoista laskettiin mikä olisi normilämpötilaa vastaava sähkönsiirtomäärä. (Indeed Editorial Team, 2025, kohta How to perform linear interpolation in Excel with the mathematic formula)

Regressioanalyysillä tarkoitetaan menetelmää, jolla ”—tutkitaan yhden tai useamman selittävän muuttujan yhteyttä selitettävään muuttujaan” (Ellonen & Kaakinen, n.d.). Tässä työssä regressioanalyysin muuttujina olivat siirtomäärät (kWh) ja lämmitystarveluvut (°Cvrk).

Regressioanalyysin avulla laskettiin kuukausittaisille lämmitystarveluvuille sähkönsiirron pohjakulutus. Lineaarisen regressioanalyysin kaavalla (2) saatiin laskettua lämmitysenergian määrä y , lämmitystarveluvun (°Cvrk) x funktiona, k :n ollessa yhtälön kulmakerroin ja b :n sähkönsiirron pohjakulutus (kWh). Sähkönsiirron pohjakulutuksen ja lämmitysenergian summasta saadaan kokonaissähkönsiirrolle ennusteet. Pohjakulutuksella tarkoitetaan sitä sähkönmäärää, joka kuluu normaaleissa olosuhteissa, eikä siihen lasketa mukaan lämmitysenergiaa.

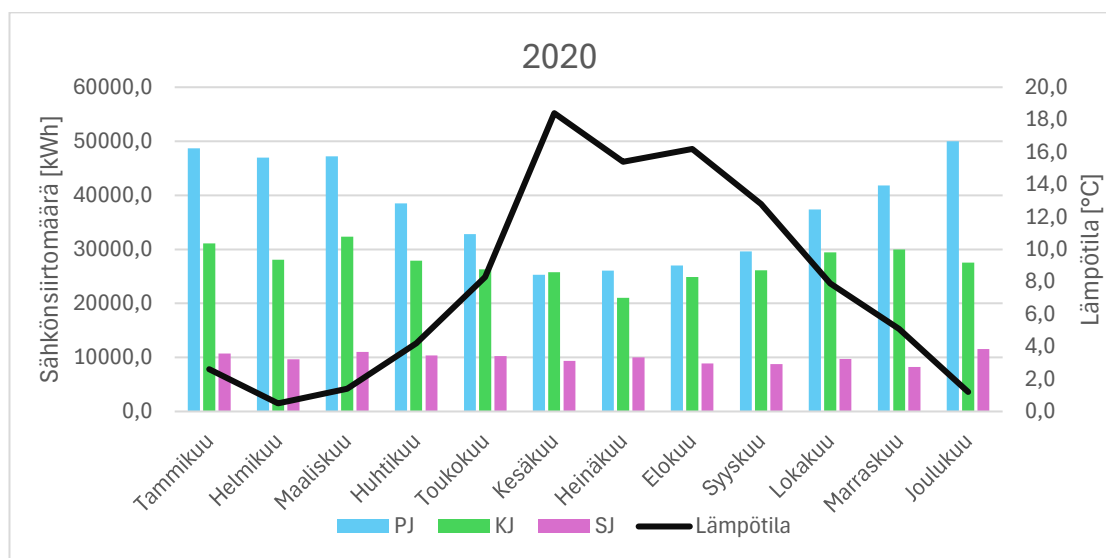
$$y = kx + b \quad (2)$$

4 TIEDONKÄSITTELY

Luvussa 2.3 kuvattu data visualisoitiin kuvioilla. Yksittäisten vuosien siirtomäärät havainnollistettiin pylväsdiagrammeihin, joista nähdään kuukausittaiset kokonaissiirtomäärät jännitetasoittain, sekä keskilämpötilat. Luvun 4.1 kuvioissa havainnollistettiin sähkönsiirtomäärät, joita myöhemmissä luvuissa analysoitiin eri tilastollisilla menetelmillä.

4.1 Sähkönsiirtomäärät

Alla oleva kuvio 2 on yksi viidestä peruskuvioista, jotka tehtiin vuosittaisista sähkönsiirtomääristä. Kuvioiden x-akselilta luetaan kuukausi, ja y-akseli kertoo sähkönsiirtomäärät ja lämpötilat. Musta viiva kuvaa keskilämpötilaa. Kuvajasta nähdään, että PJ-verkon siirtomäärät olivat huomattavasti korkeammat kuin muiden jännitetasojen.



Kuvio 2. Vuoden 2020 sähkönsiirtomäärät.

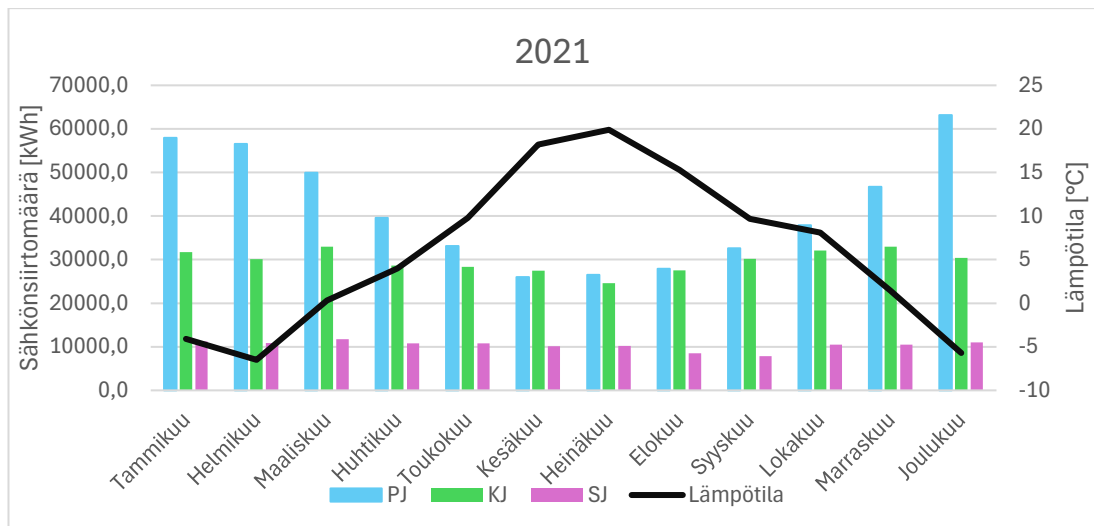
PJ-verkkoon kuuluvat omakotitalot, kerrostalot ja muut pienemmän kulutuksen rakennukset. Suuret liikerakennukset ja teollisuuden laitokset kuuluvat KJ- ja SJ-verkkojen alueelle. Kesäkaudella tapahtui selkeä notkahdus PJ-verkon siirtomäärissä; siihen vaikutti esimerkiksi lämpimät ulkolämpötilat. Talvella sähköä kului lämmitykseen paljon PJ-verkon alueella.

Talvella sähkönsiirtomäärät vaihtelivat ulkolämpötilan mukaan, mutta vaihtelu ei ollut kokonaan lineaarista, koska esimerkiksi vuoden 2020 joulukuun keskilämpötila oli 1,2 °C ja PJ-verkon siirtomäärä 50 008 kWh. Toisaalta helmikuussa keskilämpötila oli 0,5 °C ja siirtomäärä 46 996 kWh, eli keskilämpötila oli matalampi, mutta siirtomäärä silti pienempi.

KJ-verkon siirtomäärät vaihtelivat kuukausien mukaan. Kesällä heinäkuussa oli notkahdus, mutta sen jälkeen sähkönsiirtomäärät alkoivat kasvamaan marraskuulle asti. Siirtomäärien pylväiden tasaisuudesta huomasi, että lämpötilalla ei ollut niin suurta vaikutusta siirtomääriin, koska muuten pylväät olisivat kasvaneet enemmän lämmityskausilla.

SJ-verkon sähkönsiirtomäärät olivat melko matalia, mutta tasaisia vuodenaikasta riippumatta. Ainoa suurempi notkahdus ja kasvu olivat loppuvuodesta marras- ja syyskuussa, jolloin siirtomäärä kasvoi kolmanneksen. Tähän vaikuttaa eniten asiakasmäärä. Suuret liikerakennukset ja teollisuuden toimijat kuluttavat sähköä koko ajan, eikä lämpötilalla ole siihen juurikaan vaikutusta.

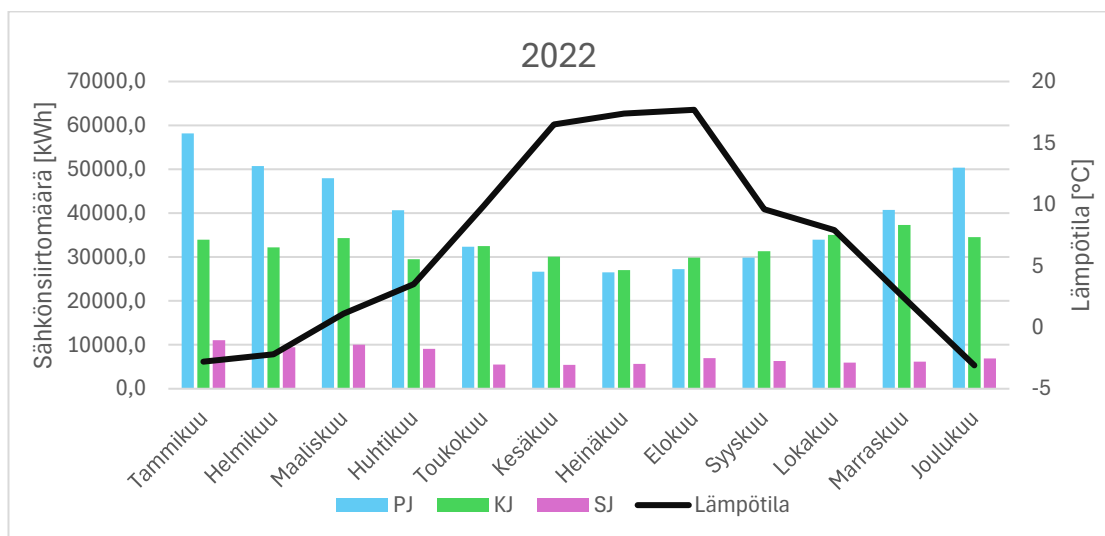
Kuviossa 3 on vuoden 2021 sähkönsiirtomäärät. PJ-verkon osalta siirtomäärät olivat kasvaneet selvästi talvikausina. KJ-verkon siirtomäärät olivat pääsääntöisesti pysyneet samoina, vaikka hieman kasvua oli havaittavissa edellisestä vuodesta, varsinkin loppuvuodesta, jolloin kasvua tuli noin 2900–4000 kWh kuukautta kohden.



Kuvio 3. Vuoden 2021 sähkösiirtomäärät.

SJ-verkon sähkösiirtomäärissä oli pieni notkahdus elokuusta lähtien. Muuten SJ-verkon muutos oli hyvin tasaista. Marraskuussa sähkösiirtomäärä oli noussut 2200 kWh ja syyskuussa sähkösiirtomäärä laski 900 kWh. Keskimääräinen ulkolämpötila oli hieman korkeampi, kuin edellisen vuoden, ja kesäaikana lämpötilan muutos oli tasaisempaa.

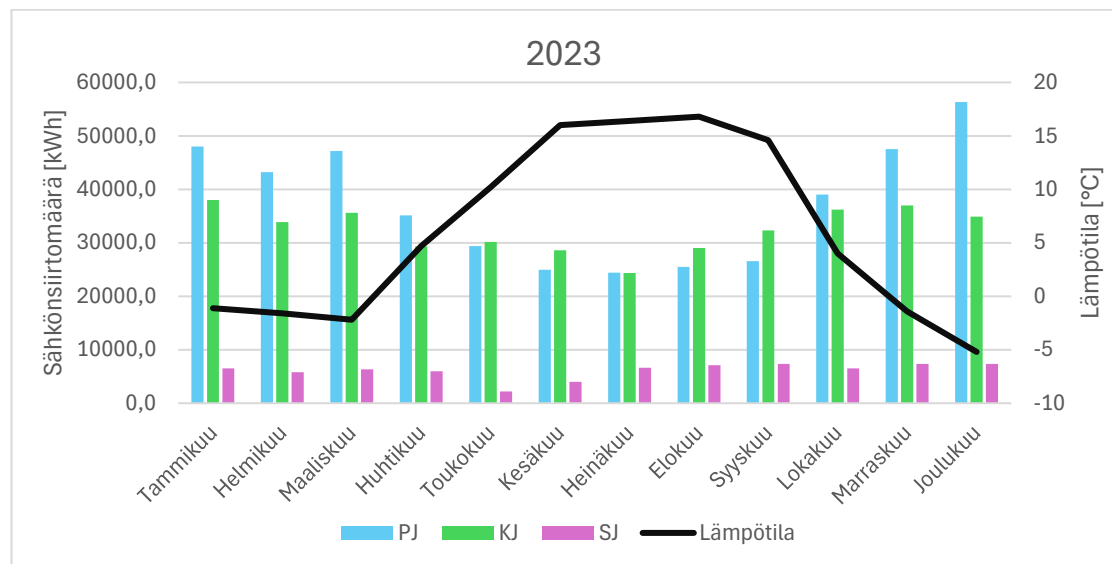
Kuviossa 4 on vuoden 2022 sähkösiirtomäärät. PJ-verkon siirtomäärät olivat laskeneet talviajalta. Esimerkiksi helmikuun sähkösiirtomäärä oli noin 6000 kWh pienempi kuin vuoden 2021. Joulukuun sähkösiirtomäärä oli laskenut peräti 13 000 kWh.



Kuvio 4. Vuoden 2022 sähkösiirtomäärät.

KJ-verkon sähkönsiirtomäärät olivat nousseet hieman edelliseen vuoteen verrattuna. Kasvua oli ollut tasaisesti 900–4000 kWh välillä. SJ-verkon siirtomäärät olivat laskeneet reilusti, kesäajalta ne olivat melkein puolittuneet, koska suuren sähkönkulutuksen asiakas poistui. Suurin lasku oli ollut toukokuussa, jolloin siirtomäärä putosi 5200 kWh. Koko vuodelta laskua oli ollut noin 200–5000 kWh.

Kuviossa 5 on vuoden 2023 sähkönsiirtomäärät. Vuoteen 2022 verrattuna PJ-verkon siirtomäärät olivat laskeneet entisestään. Tammikuussa laskua oli ollut jopa 10 000 kWh. Loppuvuodesta siirtomäärät olivat lähteneet kasvuun, ja marras-joulukuussa siirtomäärä oli kasvanut noin 6000 kWh:lla.

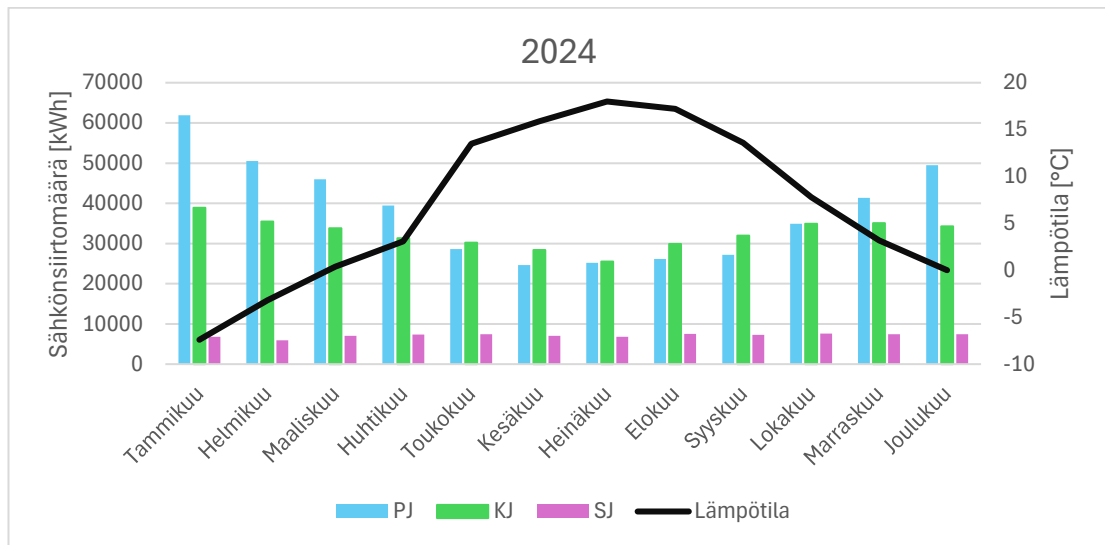


Kuvio 5. Vuoden 2023 sähkönsiirtomäärät.

Talvikaudelta KJ-verkon siirtomäärät olivat pysyneet samoissa määrissä, vaikkakin tammikuussa oli ollut laskua noin 4000 kWh. SJ-verkon siirtomäärät ovat toukokuussa matalat, mutta lähtivät kasvamaan sen jälkeen. Vuonna 2023 oli ollut hieman lämpimämpi alkuvuosi ja syksy, mikä saattaa selittää pienemmät PJ-verkon siirtomäärät.

Kuviossa 6 on vuoden 2024 sähkönsiirtomäärät. Vuoteen 2023 verrattuna silloin oli ollut alkuvuodesta reilusti enemmän siirtoa PJ-verkossa. Tammikuussa nousua oli 13 800 kWh. Maaliskuussa laskua oli 1100 kWh. Huhtikuussa oli

vielä nousua 4200 kWh, mutta sen jälkeen siirtomäärät olivat lähteneet laske-
maan.



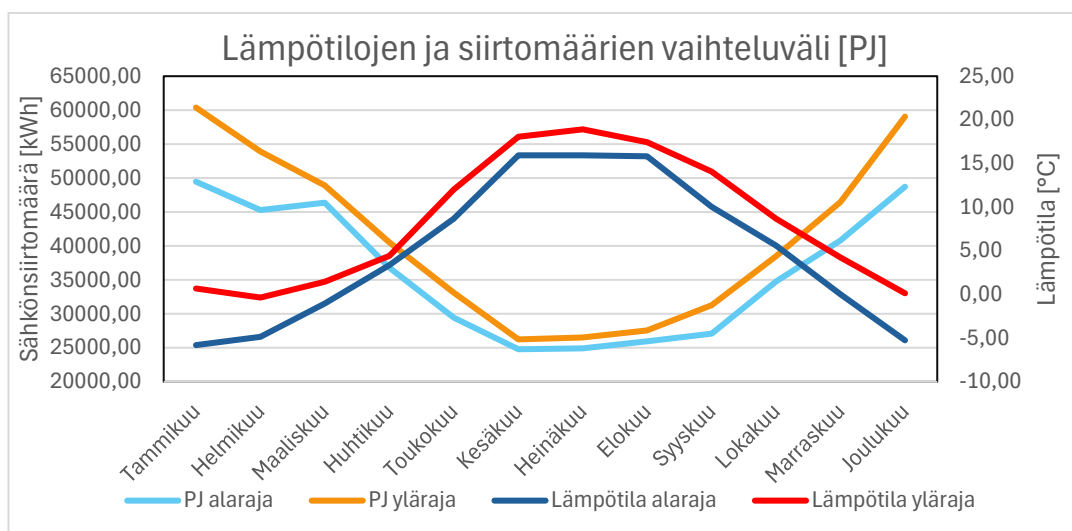
Kuvio 6. Vuoden 2024 sähkönsiirtomäärät.

KJ-verkon siirtomäärien vaihtelu oli epätasaista ja alkuvuodesta maaliskuussa oli ollut laskua 1700 kWh. Toukokuussa kasvua oli ollut vain 90 kWh, ja tuon jälkeen oli ollut paljonkin vaihtelua siirtomäärissä. Kasvua oli ollut enimmillään 1900 kWh ja laskua 1900 kWh.

SJ-verkon siirtomäärissä oli ollut enemmän muutoksia. Toukokuussa 2024 siirtomäärät kasvoivat noin 5000 kWh, mutta loppuvuosi tasoittui edellisen vuoden määriin. Ainoastaan syyskuussa oli ollut laskua 60 kWh, mutta muuten kasvua oli ollut keskimäärin noin 1000 kWh kuukaudessa. Vuoden 2023 loppuvuosi ja vuoden 2024 tammikuu olivat kylmiä, jolloin lämmitystarve oli suurempi. Vuoden 2024 kesä oli lämmin ja korkeat keskilämpötilat jatkuivat syksyyn asti.

4.2 Vaihtelut sähkösiirtomäärissä

Kuviossa 7 näkyy PJ-verkon sähkösiirtomäärien vaihteluväli 95 % luottamusvälillä. 95 % luottamusväli tarkoittaa sitä, että siirtomäärät tulevat olemaan 95 % todennäköisyydellä ala- ja ylärajojen välillä, mutta pieni mahdollisuus on, että todellinen luku löytyy arvojen ulkopuolelta. Luottamusväli laskettiin viiden vuoden kuukausittaisten siirtomäärien keskiarvoilla kaavan (1) mukaisesti. Esimerkiksi tammikuussa PJ-verkon keskimääräinen sähkösiirtomäärän voidaan olettaa olevan vähintään 49 470 kWh ja enintään 60 387 kWh. Nämä tietenkin ovat vain suuntaa antavia lukuja.



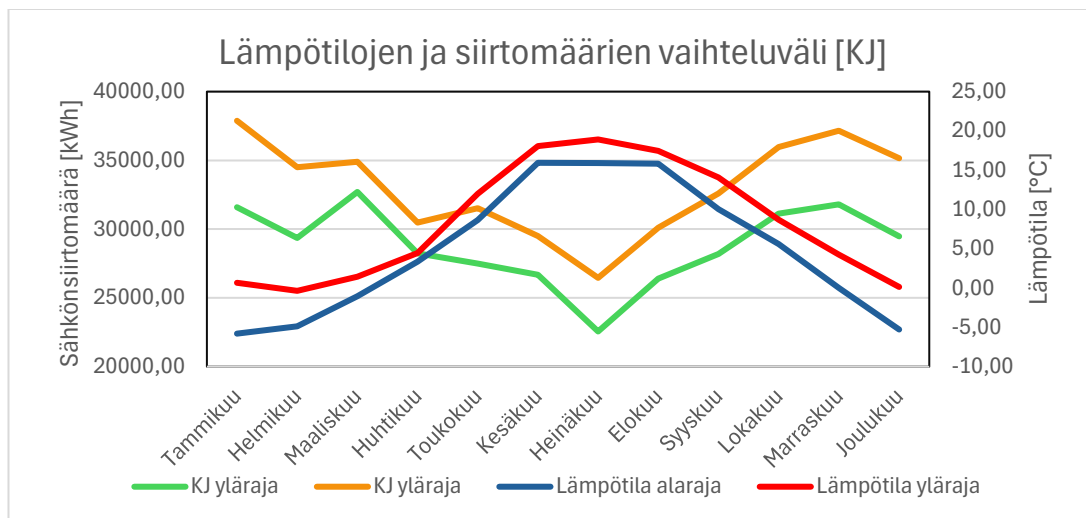
Kuvio 7. Lämpötilojen ja sähkösiirtomäärien vaihteluväli [PJ].

Kuviossa on myös lämpötilojen vaihteluvälin ala- ja ylärajat 95 % luottamusvälillä. Esimerkiksi tammikuun lämpötila on 95 % todennäköisyydellä vähintään -5,80 °C ja enintään 0,68 °C. Sähkösiirtomäärän oletetaan olevan verrannollinen lämpötilan suhteen.

Talvikuukausina, etenkin tammi- ja joulukuussa ala- ja ylärajojen vaihteluväli on leveä, ne eroavat yli 10 000 kWh:lla. Kesällä ala- ja ylärajojen väli lyhenee ja onkin vain 2000 kWh, joten kesältä voi olettaa tasaista siirtomäärää.

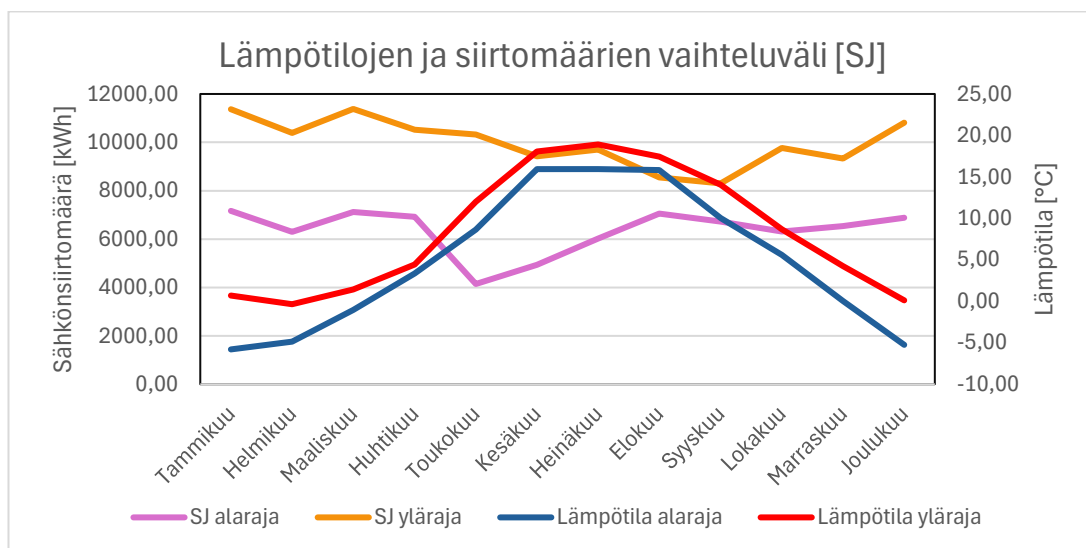
Kuviossa 8 on KJ-verkon sähkösiirtomäärien vaihteluvälin ala- ja ylärajat 95 % luottamusvälillä. Kevään ja talven vaihteluväli on leveä, mutta maalisi-

elokuun välissä vaihteluväli kapeni. Kesällä heinäkuussa on notkahdus siirtomäärissä ja ne ovat alimmillaan. Vaihteluvälit ovat leveät, koska asiakasmäärällä on enemmän vaikutusta kuin lämpötilalla.



Kuvio 8. Lämpötilojen ja sähkösiirtomäärien vaihteluväli [KJ].

Kuviossa 9 on SJ-verkon sähkösiirtomäärien vaihteluvälin ala- ja ylärajat 95 % luottamusvälillä. SJ-verkon sähkösiirtomäärien vaihteluväli on todella leveä, sillä asiakasmäärillä on todella paljon merkitystä siirtomääriin. Ulkolämpötiloilla ei ole huomattavaa merkitystä. Toukokuussa on suuri ero vaihteluvälin arvoissa. Toukokuussa alaraja on 4100 kWh ja yläraja 10 300 kWh, eli eroa oli yli 6000 kWh.

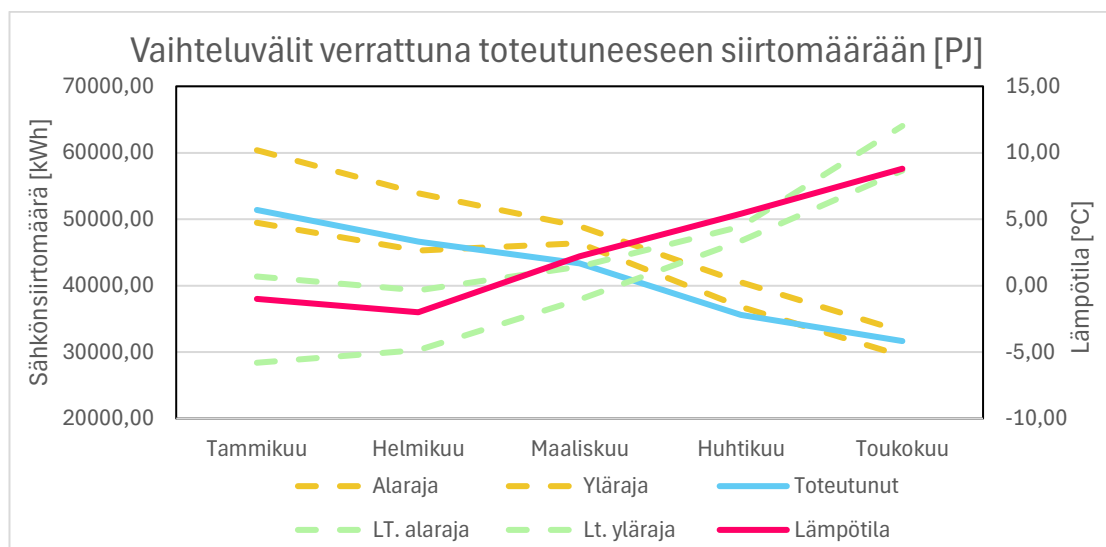


Kuvio 9. Lämpötilojen ja sähkösiirtomäärien vaihteluväli [SJ].

4.3 Toteutuneet sähkösiirtomäärät

Seuraavissa kuvioissa edellisen luvun sähkösiirtomäärien vaihteluvälejä verrataan kuluvan vuoden (2025) toteutuneisiin sähkösiirtomääriin ja ulkolämpötiloihin. Vuoden 2025 sähkösiirtomäärät olivat saatavilla vain opinnäytetyön kirjoitushetkeen asti, eli toukokuuhun, joten loppuvuoden siirtomääristä oli vain arviot käytettävissä.

Kuviossa 10 verrattiin vuosien 2020–2024 PJ-verkon sähkösiirtomäärien vaihteluvälejä vuoden 2025 sähkösiirtomääriin toukokuuhun saakka. Alkuvuoden osalta toteuma ei täysin vastaa vaihteluväliä. Sähkösiirtomäärien vaihteluvälien ala- ja ylärajoja kuvaavat keltaiset viivat, joissa sininen viiva on toteutunut sähkösiirtomäärä. Vihreät viivat kuvaavat lämpötilan vaihteluvälin ala- ja ylärajoja, punainen viiva kuvastaa toteutunutta lämpötilaa.

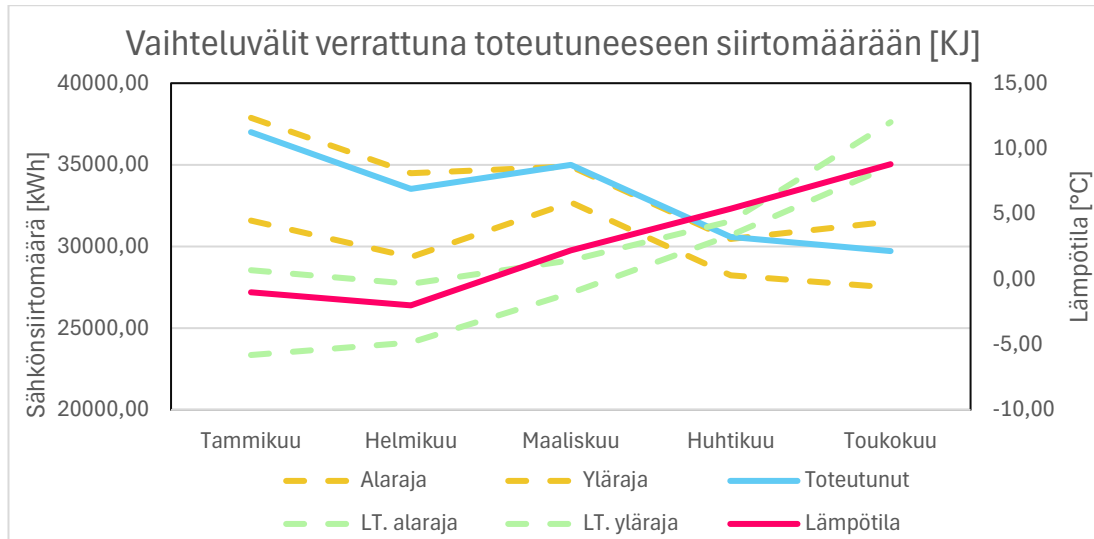


Kuvio 10. Vaihteluvälien vertaus toteutuneeseen sähkösiirtomäärään [PJ].

PJ-verkon sähkösiirtomäärissä ei ole suurta eroa edellisten vuosien siirtomääriin. Ainoa eroavaisuus vaihteluvälistä oli maaliskuu- ja huhtikuussa, jolloin toteutunut sähkösiirtomäärä ei mahtunut vaihteluvälin rajoihin, vaan alitti alarajan – toisaalta samalla toteutunut lämpötila oli korkeampi kuin vaihteluväli.

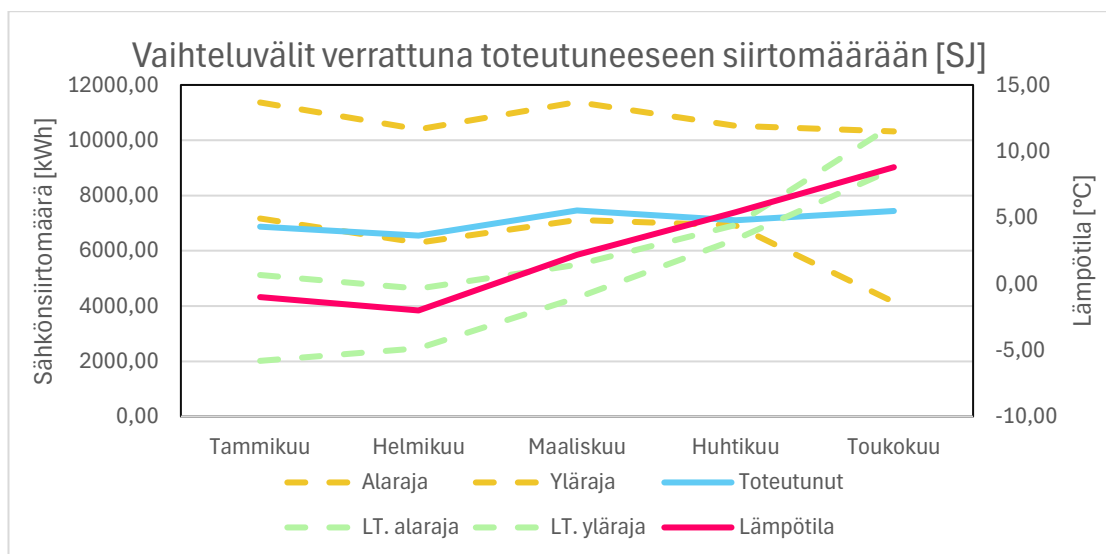
Kuviossa 11 KJ-verkon sähkösiirtomäärissä vuoden 2025 toteuma mahtui vaihteluvälin sisään. Koska toteutuneet arvot mahtuivat vaihteluvälin sisään,

voidaan olettaa, että kesänajan siirtomäärät tulevat sopimaan vaihteluvälin arvoihin. Toukokuussa toteutunut siirtomäärä oli lähellä vaihteluvälin ala- ja ylärajojen keskiarvoa. Toukokuun alarajana on 27 491 kWh, ylärajana 31 525 kWh ja toteutuneena siirtomääränä oli 29 722 kWh.



Kuvio 11. Vaihteluvälien vertaus toteutuneeseen sähkösiirtomäärään [KJ].

Kuviossa 12 SJ-verkon siirtomäärät mahtuivat vaihteluvälin sisään, ainoastaan tammikuussa 2025 siirtomäärä alitti alarajan leveästä vaihteluvälistä huolimatta. Lämpötilojen osalta muut kuukaudet, paitsi maaliskuu ja huhtikuu sopivat vaihteluvälin arvoihin, jolloin ne jäivät ylärajojen yläpuolelle.



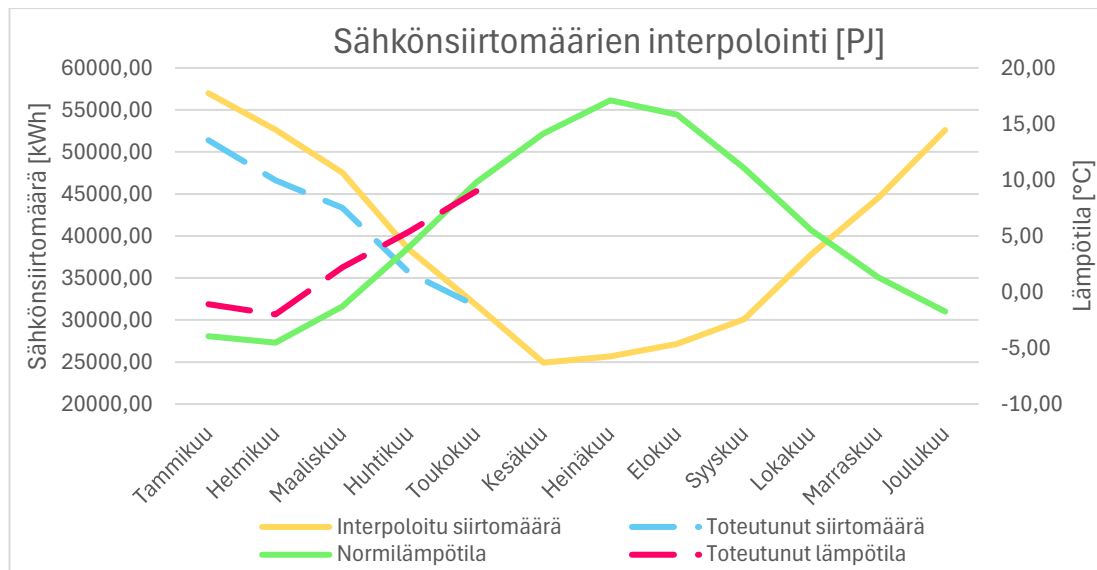
Kuvio 12. Vaihteluvälien vertaus toteutuneeseen sähkösiirtomäärään [SJ].

4.4 Sähkön siirtomäärien interpolointi

Interpoloimalla lasketaan tuntemattomille luvuille arvot vertaamalla niitä tunnettuihin arvoihin. Tässä tapauksessa laskettiin normilämpötilaa vastaavaa sähkönsiirtomäärää. Lämpötilana käytettiin normilämpötilaa, eli vuosien 1991–2020 kuukausittaisia keskilämpötiloja. (Indeed Editorial Team, 2025)

Normilämpötilan avulla interpoloitiin normaali sähkönsiirtomäärä kuukausittaisista siirtomääristä ja kuukausilämpötiloista, eli laskettiin mihin siirtomäärään normilämpötila sopii suhteessa aiempien vuosien siirtomääriin ja kuukausilämpötiloihin. Interpolointi suoritettiin lineaarisena interpolointina, jolloin oletettiin, että sähkönsiirtomäärät muuttuivat lineaarisesti lämpötilan suhteen. Laskemiseen käytettiin Excel-ohjelman valmista työkalua. Interpoloituja sähkönsiirtomääriä käytetään normaalina sähkönsiirtomääränä, koska ne ovat verrannollisia normilämpötiloihin.

Kuviossa 13 vuosien 2020–2024 kuukausittaisista PJ-verkon sähkönsiirtomääristä otettiin keskiarvot, jotka interpoloitiin normilämpötilojen suhteen. Keltaisella viivalla on merkitty interpoloitua sähkönsiirtomäärää. Vaaleanpunainen katkoviiva puolestaan näyttää vuoden 2025 toteutuneet keskilämpötilat.

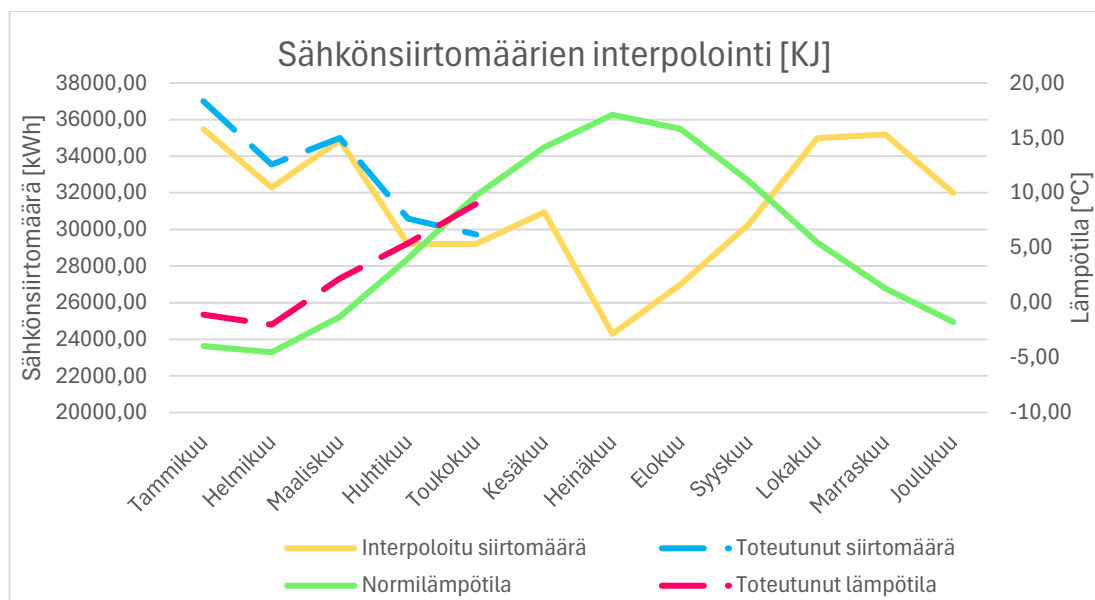


Kuvio 13. Sähkön siirtomäärien interpolointi [PJ].

Esimerkiksi, jos ulkolämpötila on 14,15 °C, niin sähkösiirtomäärä olisi silloin 24 925 kWh. Sininen katkoviiva näyttää vuoden 2025 toteutuneet siirtomäärät. Vuoden 2025 lämpötilat ovat olleet hieman korkeampia kuin normilämpötilat, joka selittää, miksi interpoloidut sähkösiirtomäärät ovat matalia.

Toukokuun lukemat olivat hyvin lähellä normilämpötilaa ja interpoloitua sähkösiirtomäärää. Normilämpötila on 9,78 °C, toteutunut lämpötila oli 9,00 °C, joten vain 0,78 °C matalampi. Sähkösiirtomäärä on 31 757 kWh ja toteutunut siirtomäärä oli 31 663 kWh, vain 94 kWh matalampi.

Kuviossa 14 on KJ-verkon interpoloidut sähkösiirtomäärät. Tammikuun sähkösiirtomäärä interpoloituna on matalampi, kuin toteutunut sähkösiirtomäärä, koska vuosina 2020–2022 kulutus oli ollut matalampaa, joka vaikuttaa interpolointiin. Vuoden 2022 jälkeen sähkönkulutus oli lähtenyt lievään kasvuun, joka selittää, miksi toteutunut sähkösiirtomäärä on hieman korkeampi, kuin interpoloitu sähkösiirtomäärä. Heinäkuussa sähkönkulutus on matalimmillaan, jonka takia siinä kohtaa on notkahdus.

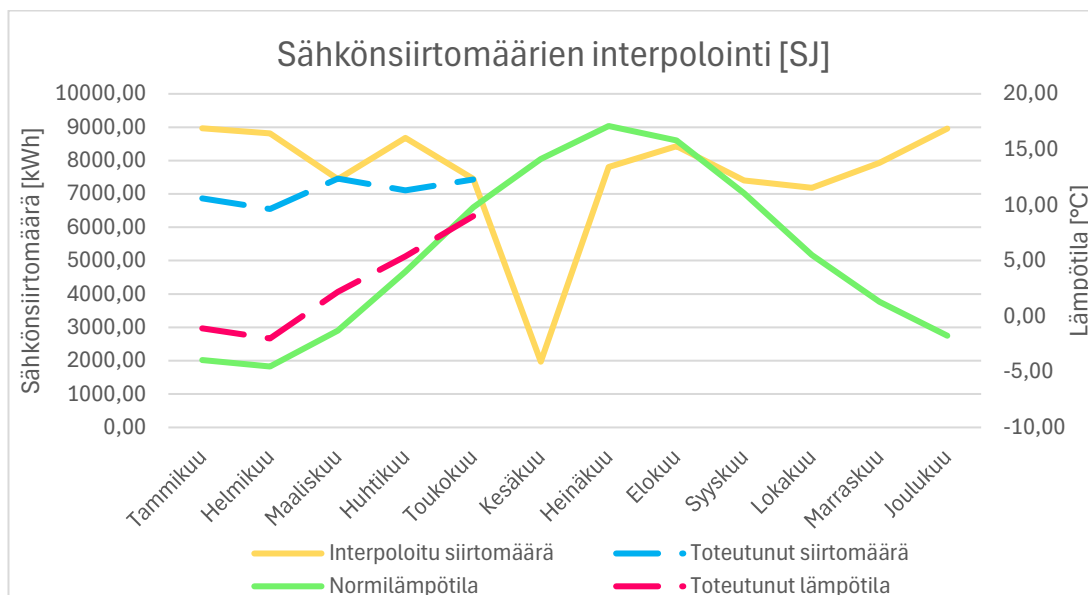


Kuvio 14. Sähkösiirtomäärien interpolointi [KJ].

Lisäksi viimeisen viiden vuoden aikana heinäkuun keskilämpötila on noussut normilämpötilasta, jonka takia interpoloitu sähkösiirtomäärä tippuu heinäkuun kohdalla. Vastaavasti kesäkuun normaali sähkösiirtomäärä on

suurempi, koska kesäkuun normilämpötila on noin kolme astetta matalampi, kuin viimeisen viiden vuoden kesäkuiden keskilämpötilat, joten silloin sähkönsiirtomäärät nousevat.

Kuviossa 15 on vielä SJ-verkon interpoloitu sähkönsiirtomäärä. Tulee huomioida, että kesäkuun matala sähkönsiirtomäärä johtui matalasta normilämpötilasta. Kuvion mukaan sähkönsiirtomäärä olisi ollut 1970 kWh, ja normilämpötilana 14,15 °C, vaikka viime vuosina sähkönsiirtomäärä on ollut noin 4000–7000 kWh ja lämpötila on ollut noin 16–18 °C. Ilman kesäkuun alenemaa, siirtomäärän linja olisi suoraviivaisempi.

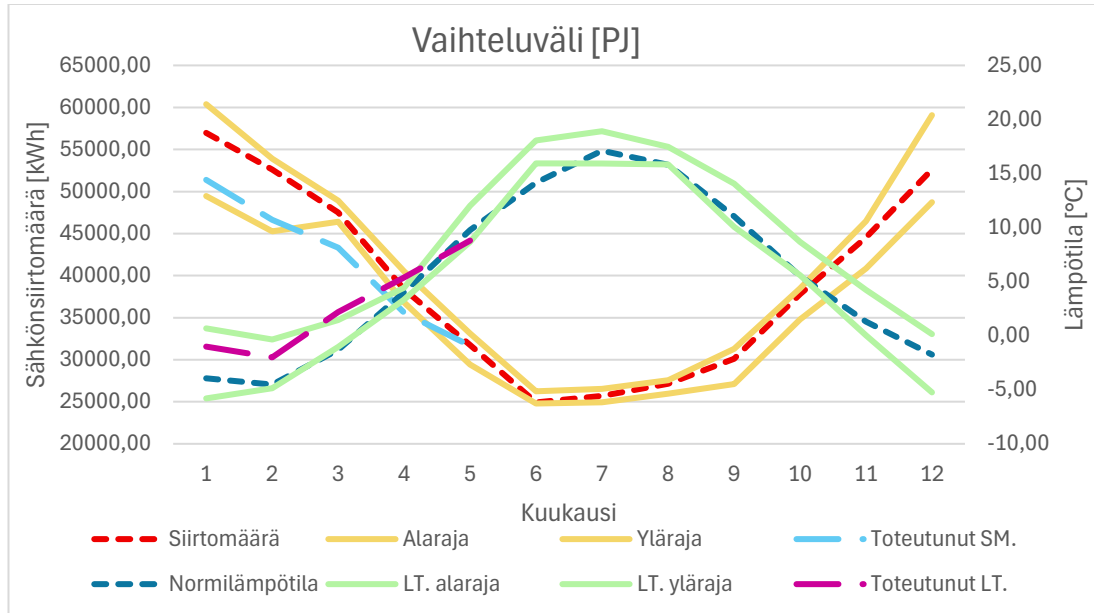


Kuvio 15. Sähkönsiirtomäärien interpolointi [SJ].

Tammikuussa interpoloitu sähkönsiirtomäärä oli korkea, koska silloin normilämpötila oli ollut -3,93 °C. Viimeisen viiden vuoden keskilämpötila on ollut lämpimämpi noin asteen verran, joka vaikutti korkeaan normaaliin sähkönsiirtomäärään.

Seuraaviin kuvioihin on lisättyä luvun 4.2 sähkönsiirtomäärien vaihteluvälien ala- ja ylärajat, joista nähdään, miten ne ovat toteutuneet interpoloituun sähkönsiirtomäärään ja normilämpötilaan nähden. Kuviossa 16 interpoloitua siirtomäärää merkitään tummansinisenä katkoviivana, vaihteluvälin ala- ja ylärajat ovat oranssit viivat. Vaaleansininen katkoviiva puolestaan näyttää vuoden

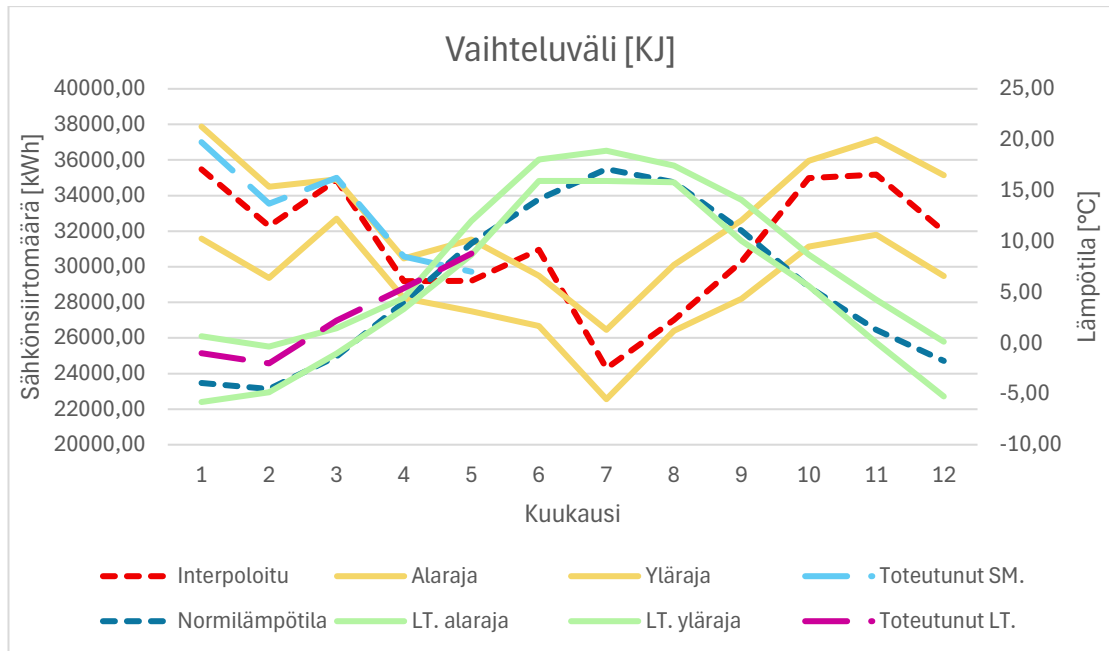
2025 toteutuneet sähkösiirtomäärät. Tummanpunainen katkoviiva merkitsee normilämpötilaa, keltaiset viivat lämpötilan vaihteluvälin ala- ja ylärajoja, ja violetti katkoviiva toteutuneita kuukausilämpötiloja vuodelta 2025.



Kuvio 16. Interpoloitu sähkösiirtomäärä vaihteluvälissä [PJ].

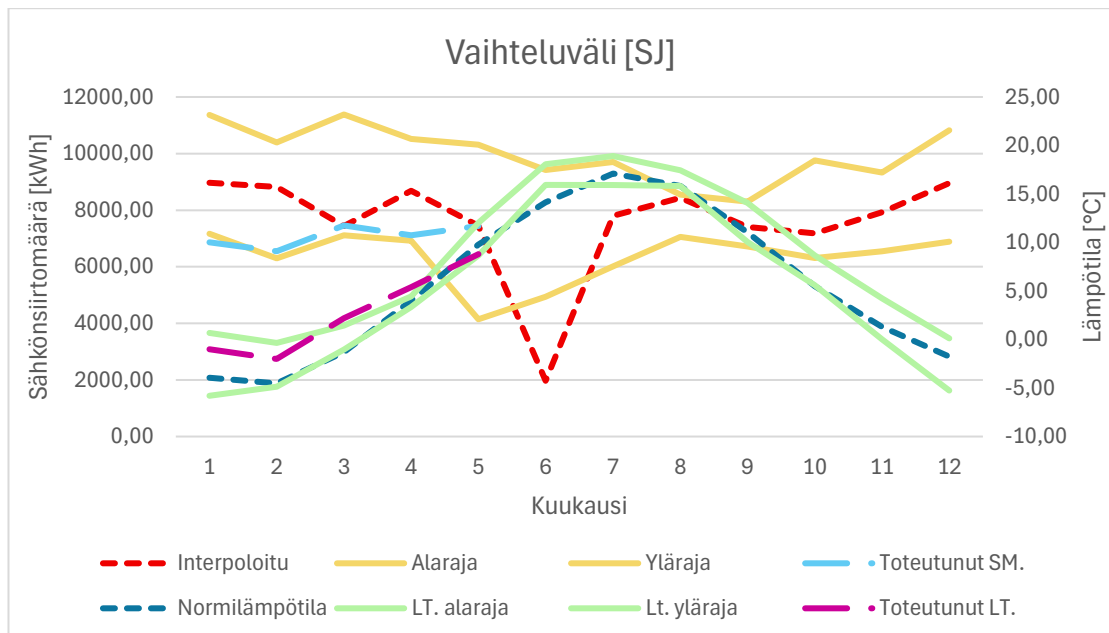
Interpoloitu sähkösiirtomäärä seuraa hyvinkin tarkasti vaihteluvälin ala- ja ylärajoja, vaikka lähellä ylärajaa kulkeekin. Normilämpötilan käyrä oikaisi hieman kesäkuun kohdalta, jolloin normilämpötila oli 14,15 °C, kun alarajana olisi ollut 15,94 °C.

Kuviossa 17 on KJ-verkon normaali sähkösiirtomäärä verrattuna vaihteluvälin ala- ja ylärajoihin. Normaalin sähkösiirtomäärän käyrä nousi ja laski todella paljon, mutta pääosin mahtui ala- ja ylärajojen väliin. Kesäkuussa käyrä ei mahtunut ylärajaan ja ylitti sen noin 1500 kWh:lla. Tuohon vaikutti viimeisen viiden vuoden lämpötilojen ja normilämpötilojen erot. Viime vuosina kuukausilämpötilat ovat olleet tammikuussa matalimmillaan -7 °C ja korkeimmillaan 2,6 °C. Interpoloitu siirtomäärä on laskettu normilämpötilan, eli -3,93 °C mukaan.



Kuvio 17. Interpoloitu sähkösiirtomäärä vaihteluvälissä [KJ].

SJ-verkon siirtomäärät muuttuvat paljon kuviossa 18. Kesäkuussa interpoloidut sähkösiirtomäärät ja lämpötilat eivät mahdu vaihteluvälin rajoihin, vaan molemmat käyrät alittavat alarajan. Muutoin interpoloitu sähkösiirtomäärä pysyy noin puolessavälissä vaihteluvälin ala- ja ylärajoja.

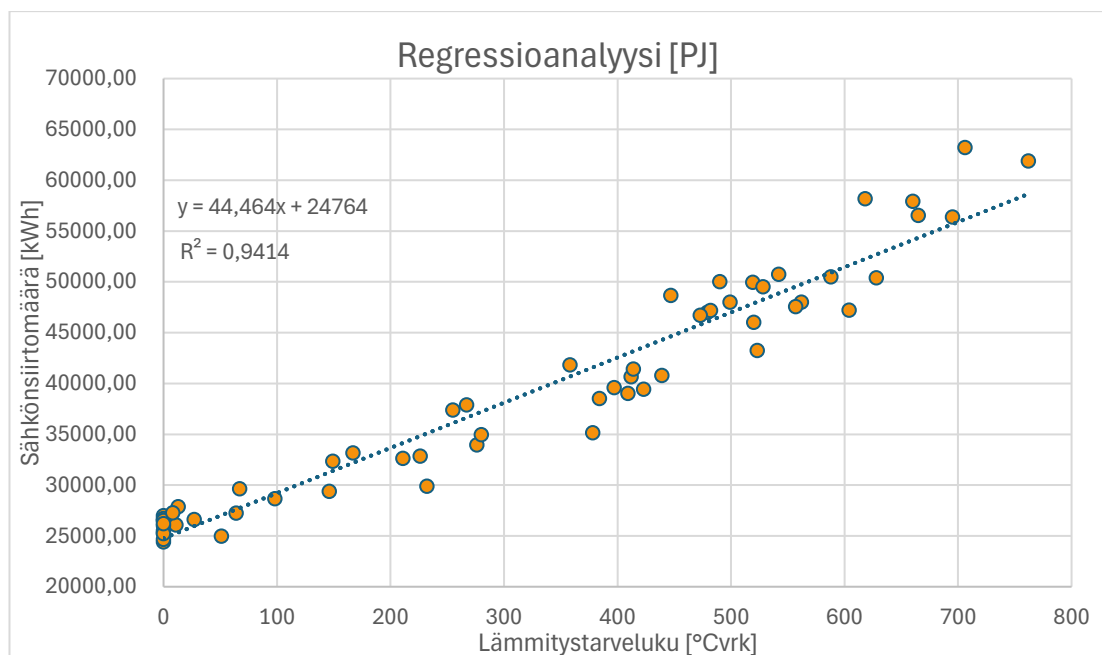


Kuvio 18. Interpoloitu sähkösiirtomäärä vaihteluvälissä [SJ].

5 REGRESSIOANALYYSI

Normaalin sähkösiirtomäärän pohjakulutus laskettiin lineaarisen regressioanalyysin kaavan (2) avulla. Kuvioon syötettiin vuosien 2020–2024 kuukausittaiset sähkösiirtomäärät ja lämmitystarveluvut, joista tehtiin pistekuvaaja lineaarisella suuntaviivalla. Lämmityskausien kokonaissähkösiirtomäärät saatiin, kun pohjakulutuksen päälle lisättiin lämmitystarveluvulla määritetty lämmitystarve.

Kuviossa 19 on pistekuvaaja, jossa sähkösiirtomäärien ja lämmitystarvelukujen arvot näkyvät x- ja y-akseleilla. Sähkösiirron pohjakulutus saatiin suuntaviivan ensimmäisestä pisteestä, joka sijoittuu y-akselilla 24 764 pisteelle ja x-akselilla 0 pisteelle. Regressioanalyysiin sopii ainoastaan lineaarinen suuntaviiva, koska tässä oletetaan, että annettu data muuttuu lineaarisesti. (KvanttiMOTV, 2008)



Kuvio 19. Regressioanalyysi [PJ].

Regressioanalyysistä saatiin tulokseksi kaava (3):

$$y = 44,464x + 24764 \quad (3)$$

Tämä tarkoittaa, että 1 °Cvirk vastaa 44,464 kWh. 24 764 puolestaan kuvastaa siirtomäärän pohjakulutusta. Determinaatiokerroimeksi saatiin $R^2 = 0,9414$. R^2 esittää, kuinka hyvin lineaarinen suora ”soveltuu” annettuihin arvoihin, eli kuinka hyvin muuttujat korreloivat keskenään.

Regressioanalyysi tehtiin myös KJ- ja SJ-verkoille, mutta jännitetasojen sähkönsiirtomäärät eivät kasva lineaarisesti lämmitystarveluvun suhteen, joten regressioanalyysi ei ollut toimiva vaihtoehto, jonka vuoksi nämä jätettiin opinnäytetyöstä pois.

KJ-verkon regressioanalyysin tulokseksi saatiin:

$$y = 10,419x + 27661 \quad (4)$$

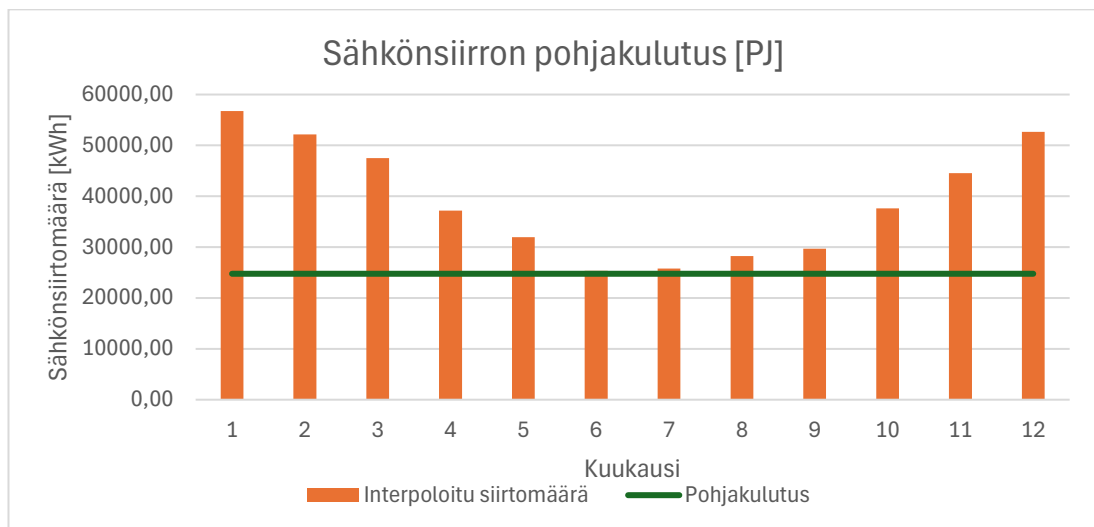
Determinaatiokerroin oli 0,4513, eli vain 45 % tuloksista oli lineaarisesti pääteltävissä kaavan (4) avulla.

SJ-verkon regressioanalyysin tulos oli:

$$y = 2,0361x + 7531,6 \quad (5)$$

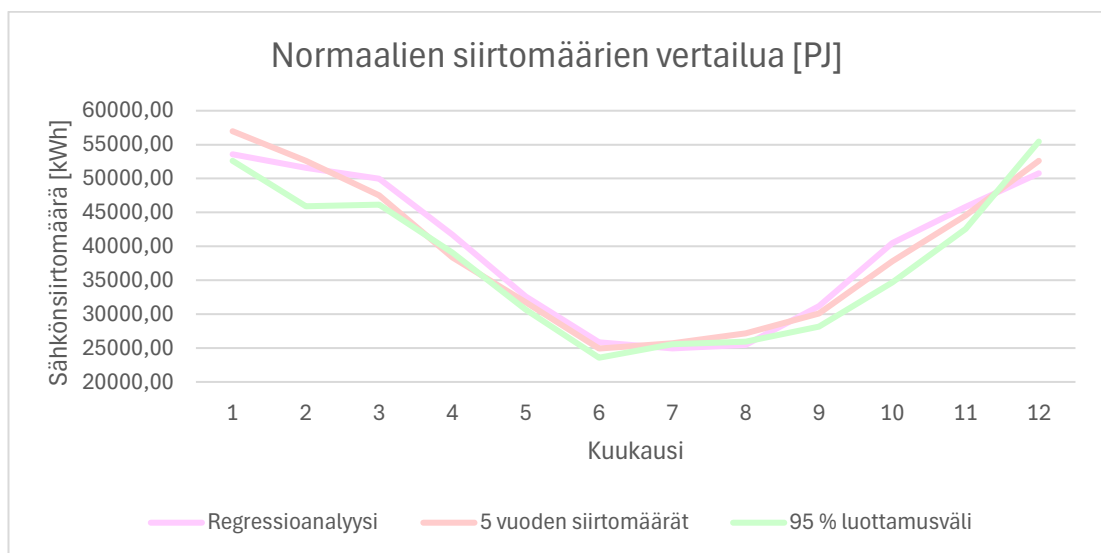
Determinaatiokerroin oli 0,0554; vain 5,4 % arvoista toteutuu kaavalla. Determinaatiolukujen suuruudesta voi myös päätellä, kuinka vähän lämpötilalla on vaikutusta kyseisten jännitetasojen sähkönsiirtomääriin.

Kuviossa 20 on vielä hahmotelma PJ-verkon sähkönsiirron pohjakulutuksesta. Vihreällä näkyy suora viiva pohjakulutuksena. Kaikki vihreän viivan yläpuolella on lämmitykseen kuluvaa sähköä. Oranssit pylväät kuvastavat tässä tapauksessa taulukon 2 lämmitystarveluvuilla interpoloitua sähkönsiirtomäärää. Kuviossa 20 normaalit sähkönsiirtomäärät saatiin interpoloimalla viiden vuoden kuukausittaiset siirtomäärät ja lämmitystarveluvut normaalivuoden lämmitystarvelukujen suhteen. Laskutapa oli sama kuin luvun 4.4 interpoloinnissa, mutta lämpötilat korvattiin lämmitystarveluvuilla.



Kuvio 20. Sähkösiirron pohja-arvot [PJ].

Kuvioon 21 on koottu edellä lasketut normaalit sähkösiirtomäärät samaan kuvioon. Eli violetti viiva kuvastaa regressioanalyysin kaavalla (3) laskettua ennustetta sähkösiirtomäärille. Oranssi viiva esittää siirtomäärää, jotka interpoloitiin viiden vuoden kuukausittaisista siirtomääristä ja lämpötiloista luvun 4.4 kuviossa 13. Vihreä viiva kuvastaa 95 % luottamusvälin vaihteluvälin ala- ja ylärajojen arvojen suhteen interpoloitua sähkösiirtomäärää kaavalla (6).



Kuvio 21. Normaalit sähkösiirtomäärät [PJ].

kaavalla (6) laskettiin normaali sähkösiirtomäärä siirtomäärien vaihteluvälin ala- ja ylärajoista:

$$Y = y_1 + (x - x_1) \times (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \quad (6)$$

Kaavassa (x_1, y_1) ja (x_2, y_2) kuvaavat olemassa olevaa dataa, eli tässä tapauksessa lämpötiloja ja siirtomääriä. Y merkitsee interpoloitua tulosta. X on arvo, jota vastaava Y :n arvo halutaan selvittää. Y_1 ja X_1 kuvaavat yhden datapisteen vähimmäis- ja enimmäisarvoja. Y -arvot merkitään sähkönsiirtomäärinä ja X -arvot puolestaan lämpötiloina. Selvitettävä X merkitään normilämpötilana. Tämä toimii, jos on kaksi tunnettua pistettä, esimerkiksi vaihteluvälillä ala- ja yläraja. Näin ollen ala- ja ylärajojen väliltä saadaan laskettua normilämpötilaa vastaava sähkönsiirtomäärä. (Indeed Editorial Team, 2025, kohta How to perform linear interpolation in Excel with the mathematic formula)

Kuvioissa 13, 14 ja 15 normaalit sähkönsiirtomäärät laskettiin interpoloimalla viiden vuoden siirtomääristä. Laskeminen eroaa edellä olevasta kaavasta. Kaavaa (6) ei pysty käyttämään, jos tutkittavia datapisteitä on useampi, vaan viiden vuoden siirtomäärien interpolointiin käytettiin Excel-ohjelman työkalua.

Kuviosta 21 nähdään, että eniten vaihtelua oli tammikuu-maaliskuu ja syyskuu-joulukuu-väleillä. Huhtikuusta lokakuuhun siirtomäärät olivat lähellä toisiinsa. Regressioanalyysin kaavalla (3) lasketut siirtomäärien ennusteet ovat korkeampia, kuin muiden tapojen avulla määritetyt maaliskuusta kesäkuuhun ja syyskuusta marraskuuhun. Tähän todennäköisesti vaikuttaa lämmityskauden vaihtelut ja lämmitystarveluvut, jotka regressioanalyysissä otettiin huomioon.

Luottamusvälillä lasketut siirtomäärät vaihtelevat eniten tammikuusta maaliskuuhun ja syyskuusta marraskuuhun, jolloin ne ovat matalampia, kuin muilla tavoilla lasketut. Luottamusvälillä on leveät vaihteluvälit siirtomäärille, varsinkin talvikausille, joten ne vaihtelevat paljon.

Viiden vuoden siirtomääristä interpoloitu sähkönsiirtomäärä on lineaarisin kaikista käyristä, koska siinä on enemmän vertailuarvoa, kuin luottamusvälillä

lasketulla tavalla. Se ei myöskään ota huomioon lämmitystarvelukua, joka lisäisi varmuudella siihen lasketun lämmitysenergian määrän.

6 PÄÄTELMÄT

Kuvioista 2–6 voidaan päätellä, että lämpötilalla oli eniten vaikutusta PJ-verkon sähkönsiirtomääriin. Siirtomäärät vaihtelivat suuresti talvikautena. Keväällä ja syksyllä oli lineaarista laskua ja nousua, kesällä puolestaan siirtomäärät pysyivät tasaisena. KJ- ja SJ-verkkojen siirtomäärät pysyivät keskimäärin tasaisina koko vuoden; pientä notkahtelua esiintyi kesällä ja talvella.

Talvikaudella sähkönsiirtomäärissä oli paljon eroja jännitetasojen välillä. Varsinkin joulukuussa PJ-verkon sähkönsiirtomäärä oli korkea. Kuvioissa 2, 3 ja 5 PJ-verkon sähkönsiirtomäärät olivat olleet joulukuussa korkeimmillaan, mutta silloin keskilämpötila oli ollut -5 °C , joka vaikutti myös suureen sähkönkulutukseen.

KJ- ja SJ-verkkojen sähkönsiirtomäärät vaihtelevat paljon, koska niihin vaikuttavat asiakkaiden määrä. Kyseisten verkkojen alueelle kuuluvat isot kerrostalot ja liikerakennukset, sekä tehtaat ja muut teollisuuden toimijat. Mikäli KJ- ja SJ-verkkojen alueella tapahtuu muutoksia asiakasmäärän suhteen, se näkyy selkeästi siirtomäärissä.

6.1 Johtopäätökset

Normaalille sähkönsiirtomäärälle oli hankala laskea täysin oikeaa tulosta, koska sähkönkulutukseen on monta vaikuttavaa tekijää. Sähkönsiirtomääriä ei ole mahdollista ennustaa täydellisesti, vaan tulokset ovat vain arvioita. Ennusteet ovat suuntaa antavia lukuja, joissa tulee muistaa pieni virhemarginaali. Tässä työssä laskelmat onnistuivat hyvin ja ennusteet ovat verrattavissa tämän vuoden (2025) toteutuneisiin sähkönsiirtomääriin (katso: luku 4.4).

Tarkasteluissa tulee huomata, että normilämpötilat ovat olleet matalampia, kuin viimeisten vuosien keskilämpötilat (vertaa: kuvioiden 2–6 lämpötilat ja taulukon 3 normilämpötilat).

Tässä työssä normaali sähkönsiirtomäärä laskettiin 95 % luottamusvälinä, jolloin saatiin siirtomäärille ala- ja ylärajat. Kuvioissa 7, 8 ja 9 kaikkien jännitetasojen siirtomäärien vaihteluvälit ovat ala- ja ylärajoilla. Tulosten osalta oletetaan, että 95 % todennäköisyydellä sähkönsiirtomäärät mahtuvat vaihteluvälin rajoihin. Tarkempi ennuste sähkönsiirtomääristä saatiin regressioanalyysillä kuviossa 19.

Regressioanalyysin tulokseksi saatiin taulukossa 3 olevat arvot; normilämpötilat, normaalivuoden lämmitystarveluvut ja lämmitystarveluville lasketut ennusteet sähkönkulutuksesta. Näin ollen lämmitysenergia on noin 50 % koko PJ-verkon sähkönsiirtomääristä lämmityskausilla, kuten kuvio 20 esittää. Vastaavat osuudet lämmitysenergialle KJ-verkossa ovat noin 15 % ja SJ-verkossa 10 %. Kaavoista (4) ja (5) pystytään päättelemään, ettei lämpötilalla ole merkittävää vaikutusta KJ- ja SJ-verkkojen sähkönsiirtomääriin.

Taulukko 3. Sähkönsiirtomäärien ennusteet [PJ].

Kuukausi	Normilämpötila (°C)	Lämmitystarveluku (°Cvrk)	Ennuste (kWh)
Tammikuu	-3,9	648	53 577
Helmikuu	-4,5	603	51 576
Maaliskuu	-1,3	567	49 975
Huhtikuu	4,0	381	41 705
Toukokuu	9,8	176	32 590
Kesäkuu	14,1	24	25 831
Heinäkuu	17,1	4	24 942
Elokuu	15,8	16	25 475
Syyskuu	11,1	144	31 167
Lokakuu	5,5	354	40 504
Marraskuu	1,3	474	45 840
Joulukuu	-1,7	585	50 775

Tulevaisuudessa sähkönsiirron pohjakulutusta ja regressioanalyysistä saatua kaavaa (3) voidaan käyttää lämmitysenergian laskemiseen. Kaavan (2) mukaan voidaan laskea ennusteet eri lämmitystarveluvuille, kun arvot k ja b ovat tiedossa. Interpoloituja tuloksia voi tulevaisuudessa laskea uudestaan kaavalla (6) eri vuosien sähkönsiirtomäärien vaihteluvälien ala- ja yläarvoilla.

Kuvioissa 7, 8 ja 9 vaihteluvälin leveys kertoo, kuinka paljon lämpötila vaikuttaa kunkin jännitetason siirtomääriin. PJ-verkolla on pieni vaihteluväli, eli lämpötila ja sähkönsiirtomäärä muuttuvat lineaarisesti. KJ-verkolla vaihteluvälin pituus suurenee, koska asiakasmäärällä on enemmän vaikutusta kuin ulkolämpötilalla. SJ-verkolla on todella leveät vaihteluvälit, koska asiakasmäärällä on suuri vaikutus sähkönsiirtomäärään.

6.2 Tulosten vertailu

Normaali sähkönsiirtomäärä laskettiin kolmella eri tavalla: tilastollisella 95 % luottamusvälinä, interpoloinnilla ja regressioanalyysillä. Normaali sähkönsiirtomäärä saatiin interpoloimalla normilämpötilat viiden vuoden ajalta kuukausien kokonaissiirtomäärillä ja vaihteluvälin ala- ja ylärajoilla. Regressioanalyysi tehtiin ainoastaan PJ-verkon sähkönsiirtomääristä.

Vertaamalla normilämpötiloja edellisen viiden vuoden sähkönsiirtomääriin ja niitä vastaavien kuukausien keskilämpötiloihin saatiin interpoloitua jokaiselle jännitetasolle kuukausittainen normaali sähkönsiirtomäärä. Toinen tapa laskea normaali sähkönsiirtomäärä oli interpoloimalla siirtomäärät pelkästään vaihteluvälin ala- ja ylärajoina kaavalla (6). Nämä luvut eivät muuttuneet merkittävästi viiden vuoden siirtomäärien interpoloinnista, kuten kuviosta 21 näkyy. Vähäinen muutos johtuu oletettavasti otoskoon eroavaisuudesta, koska vaihteluvälillä oli vain kaksi datapistettä ja viiden vuoden siirtomäärissä viisi datapistettä. Kahden datapisteen interpoloinnissa oletetaan, että datapisteet muuttuvat lineaarisesti. Interpoloimalla useammalla datapisteellä

sähkönsiirtomääriin otettiin huomioon myös datapisteet (lämpötila-siirtomäärä), jotka eivät muutu lineaarisesti; tällöin arvot tulee arvioida.

Kolmas tapa laskea normaali sähkönsiirtomäärä oli regressioanalyysi. Kuviossa 19 PJ-verkon sähkönsiirtomääriä verrattiin lämmitystarvelukuihin ja niistä tehtiin regressiosuora. Tällä tavalla saatiin myös ennusteet sähkönsiirtomäärille (katso: taulukko 3). Regressioanalyysillä laskettiin erikseen lämmitystarvelukujen mukainen lämmitysenergianmäärä pohjakulutuksen päälle, jonka takia tulokset eroavat lämmityskausien osalta muihin tapoihin nähden.

Luvun 4.4 tuloksiin interpoloiduista siirtomääristä on vaikuttanut normilämpötilojen ja viimeisen viiden vuoden keskilämpötilojen eroavaisuudet. Poikkeukselliset lukemat, kuten kuvioissa 5 ja 15 olevat kesä- ja heinäkuun matalat sähkönsiirtomäärät ja normilämpötilat, vaikuttivat interpoloinnin tuloksiin. Kuvion 15 kesäkuun matala sähkönsiirtomäärä johtuu matalasta normilämpötilasta. Silloin normilämpötila oli 14,15 °C, kun vuosien 2020–2024 kesäkuiden yhteenlaskettu keskilämpötila oli 17,00 °C.

6.3 Maailmanlaajuisten trendien vaikutus

Viimeisen viiteen vuoteen on mahtunut paljon globaaleja kriisejä. Vuoden 2019 lopulla Covid-19 levisi Kiinan Wuhanista ja ylti pandemiaksi. Vuonna 2022 Venäjä hyökkäsi Ukrainaan, mikä nosti sähkönhintoja Suomessa huomattavasti vuosina 2022–2024. (Sallinen, 2023)

Kaksi vuotta sitten ongelmana oli sähkön korkea hinta, joten sähköä säästettiin. Sähkön hinta vaikutti enimmäkseen henkilöasiakkaiden sähkönkulutukseen. Vuosien 2022–2023 välisen talven sähkönsiirtomäärät olivatkin laskeutuneet reilusti vuoden 2021 talvesta. Joulukuussa 2021 sähkönsiirtomäärä oli noin 63 000 kWh ja joulukuussa 2022 vain 50 000 kWh, eli sähkönkulutus tippui yli 10 000 kWh. Tammikuun 2023 siirtomäärä oli pudonnut 10 000 kWh edellisestä 2022 tammikuun 58 000 kWh:n siirtomäärästä. Maaliskuussa 2023 sähkönkulutus alkoi hiljalleen palaamaan entisiin lukemiinsa. (Sallinen, 2023)

Koronapandemian vaikutukset eivät selvästi näkyneet kuvioissa 2 ja 3. Vuonna 2020 tammikuun keskilämpötila oli poikkeuksellisen korkea ja talvi jatkui leutona, joten lämmitystarve oli vähäinen. Lämmitystarpeen ollessa vähäinen, lämmitysenergiaa ei kulunut yhtä paljon kuin esimerkiksi vuoden 2021 tammikuussa, jolloin keskilämpötila oli $-4,1$ °C. Matalan sähkönsiirtomäärän yhteydessä on vaikea erotella, mikä osa sähkönsiirtomäärän putoamisesta on ulkolämpötilan ja koronapandemian aiheuttamaa. Pandemia vaikutti varsinkin palvelualojen toimintaan, joten jonkinlaista sähkönkulutuksen laskua olisi voinut mahdollisesti olla huomattavissa. (PAM, 2024)

6.3.1 Sähköntuotanto ja -kulutus tulevaisuudessa

Sähkönkulutus tulee nousemaan tulevaisuudessa. Fingridin ennusteiden mukaan sähkönkulutus voi jopa kaksinkertaistua seuraavan 10 vuoden sisällä. Teollisuuden toiminnot ja kaukolämmitys sähköistyvät nopeasti, lisäksi asuin- talot ja esimerkiksi sähköautojen lisääntyminen nostavat sähkönkulutusta. Aurinko- ja tuulivoimaloita rakennetaan paljon, mikä parantaa Suomen huoltovarmuutta. (Pantzar, 2024)

Esimerkiksi Porin Tahkoluodossa laajennetaan merituulipuistoa 40 voimalalla, ja valmiina sen kokonaisteho tulee olemaan 600–800 MW. Merituulipuiston laajennuksen rakennusaika on 2027–2029, joten ei ole tietoa tuleeko laajennus koskemaan Pori Energia Sähköverkot Oy:n jakeluverkonaluetta. Porin alueelle ollaan myös rakentamassa 8 MW:n aurinkopuisto Oomi Solarin toimesta. Aurinkovoimalan rakentamisaikataulu on 2025–2026. (Oomi Solar, n.d.; Tahkoluoto Offshore Oy, n.d.)

Tulevaisuudessa energiankulutukseen tulee vaikuttamaan esimerkiksi EU:n Fit for 55-valmiuspaketti. 55-valmiuspaketti on osa eurooppalaista ilmastolakia ja siten on oikeudellinen velvoite. ”Ilmastotavoitteen mukaan EU:n päästöjä on vähennettävä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä” (Eurooppa-neuvosto, Euroopan unionin neuvosto, 2025, kohta 55-valmiuspaketti).

Valmiuspaketilla taataan vihreä siirtyminen vuoteen 2030 mennessä. 55-valmiuspaketti tulee vaikuttamaan osaksi teollisuuteen ja sen toimintaan. Valmiuspaketti koostuu:

-- joukosta toisiinsa liittyviä ehdotuksia, joilla pyritään samaan tavoitteeseen eli oikeudenmukaisen, kilpailukykyisen ja vihreän siirtymän varmistamiseen vuoteen 2030 mennessä ja sen jälkeen. Voimassa olevasta lainsäädännöstä tehdään mahdollisuuksien mukaan kunnianhimoisempaa ja lisäksi esitetään uusia ehdotuksia. Paketilla vahvistetaan kaikkiaan kahdeksaa nykyistä säädöstä ja esitetään neljää uutta aloitetta politiikan ja talouden eri aloilla, kuten ilmasto, energia ja polttoaineet, liikenne, rakennukset, maankäyttö ja metsätalous. (Komission tiedonanto, 2021, kohta Fit for 55-valmiuspaketti lyhyesti)

EU:n päästökauppajärjestelmästä tehdään kunnianhimoisempi ja uusiin säädöksiin sisällytetään esimerkiksi ”modernisaatiorahastoa ja innovaatorahastosta saatavilla olevan rahoituksen lisääminen”. (Eurooppa-neuvosto & Euroopan unionin neuvosto, 2025, kohta 55-valmiuspaketti).

Pori Energia Sähköverkot Oy:n jakeluverkon alueelle oleellimmat osiot 55-valmiuspaketista ovat henkilö- ja pakettiautojen päästönormit, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuri, sekä eri uusiutuvaan energiaan ja energiatehokkuuteen liittyvät asetukset.

Henkilö- ja pakettiautojen päästöjen vähentäminen tulee aiheuttamaan autojen sähköistymistä tulevaisuudessa, mikä puolestaan vaikuttaa asuintalojen sähkölatausasemiin ja liikerakennusten sähkölatausasemien lisääntymiseen. Voidaan olettaa, että suuret määrät sähkölatausasemia kuormittavat sähköverkkoa, mikä lisää osaltaan sähkönsiirtomäärää.

Suomen sähköverkkoja on kehitettävä, jotta ne pysyvät energiantuotannon kehityksen mukana. Jatkuvasti kehittyvä energiantuotanto tarvitsee toimitusvarman sähköverkon. Tämän vuoksi sähköverkkojen toimitusvarmuudesta on vuonna 2013 säädetty, että sähkönjakeluverkkoa tulee rakentaa ja huoltaa niin, ettei asemakaava-alueella tapahdu yli 6 tunnin mittaisia sähkökatkoksia.

Sähköverkkoyhtiöillä on aikaa toteuttaa tämä vuoteen 2036 asti. (Energiateollisuus, n.d.)

Tulevaisuudessa normaalia sähkönsiirtomäärää laskiessa tulee ottaa huomioon asiakkaiden omat sähköntuotantojärjestelmät. Riippuen, millä muuttujilla siirtomääriä analysoidaan; asiakkaiden oma sähköntuotanto saattaa vääristää asiakkaille siirrettyä sähkönmäärää, koska silloin kyseinen sähkönsiirtomäärä ei kata kaikkia asiakkaita. Tällöin voi olla haastavaa määrittellä sähkönsiirtomäärät asiakkaita kohden. Lämpötilojen kohdalla on myös havaittavissa kasvua viimeisiltä vuosilta (katso: kuvio 16), joten on mahdollista, että tulevaisuudessa normilämpötilat eivät päde enää, ja niiden vertailuvuodet tulee päivittämään; tämä aiheuttaa muutoksia esimerkiksi kaavaan (6).

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä laskettiin sähköverkkoyhtiön normaalia sähkönsiirtomäärää, jonka selvittämiseksi toimeksiantajalla oli tarve. Normaalia sähkönsiirtomäärää arvioitiin käyttäen erilaisia menetelmiä, joita lopuksi vertailtiin keskenään.

Lopputulokseksi saatiin sähkönsiirtomäärien vaihteluvälit kuvioista 7, 8 ja 9. Vaihteluvälit olivat leveät ja näyttäisi olevan todennäköistä, että sähkönsiirtomäärät mahtuvat rajoihin. PJ-verkon sähkönsiirtomäärille laskettiin tarkemmat ennusteet regressioanalyysillä. Lasketut ennusteet mahtuvat vaihteluvälin alaja ylärajoihin, joten tulokset ovat onnistuneita. Interpoloiduista sähkönkulutusmääristä saatiin tulokset normilämpötilan sähkönsiirtomääriin.

Sähkönkulutukseen ja -siirtomäärään vaikuttaa asiakkaiden tottumukset, sähkön hinta, sekä asiakkaiden ja käyttöpaikkojen määrä, mutta ne poissuljettiin tarkasteluista, koska opinnäytetyön pääkohtana oli normaalin sähkönsiirtomäärän määrittäminen

Työn menetelmäksi valikoitui tilastollinen analyysi. Kuvioita kertyi paljon työhön, ja niiden määrä auttoi havainnollistamaan sähkönkulutus- ja siirtomääriä. Opinnäytetyö eteni projektisuunnitelman mukaisesti suunnitellussa aikataulussa. Haasteena oli normaalien sähkönsiirtomäärien määrittäminen, koska sähkönkulutukseen ja -siirtomääriin vaikuttaa monta eri asiaa, ja tässä työssä tutkittiin niitä vain ulkolämpötilan muutosten perusteella. Tilastolliset menetelmät olivat myös hankalia, ja asiaa piti opiskella. Kuvioiden tekeminen edellytti paljon eri lähteiden tutkimista ja aikaisemman osaamisen hyödyntämistä.

LÄHTEET

Ellonen, N & Kaakinen, M. (n.d.). Regressioanalyysi. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Haettu 10.7.2025 osoitteesta

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/regressio/analyysi/>

Elovaara, J & Haarla, L. (2011). Sähköverkot I. Otatieto.

Energiateollisuus. (n.d.). Sähköjakelun luotettavuus. Haettu 25.7.2025 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/sahkonjakelun-luotettavuus/>

Eurooppa-neuvosto & Euroopan unionin neuvosto. (17.3.2025). 55-valmiuspaketti. Haettu osoitteesta <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/fit-for-55/>

Fingrid. (n.d.). Karttapalaute. Haettu 15.7.2025 osoitteesta <https://karttapalaute.fingrid.fi/?link=hDzo>

Fortum. (7.1.2019). Sähkönkulutus yksiössä, kaksiossa ja omakotitalossa. Haettu osoitteesta <https://yhdedssa.fortum.fi/sahkonkulutus>

Ilmatieteen laitos. (n.d.). Havaintojen lataus. Haettu 2.7.2025 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Ilmatieteen laitos. (n.d.). Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Haettu 11.6.2025 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Indeed Editorial Team. (6.7.2025) How to Perform Linear Interpolation in Microsoft Excel. Indeed. Haettu osoitteesta <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/how-to-interpolate-in-excel>

Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle Valmiina 55:een: Vuoden 2030 ilmastotavoitteesta totta matkalla kohti ilmastoneutraaliutta. (14.7.2021). EUR-Lex. Haettu osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550>

KvantiMOTV. (16.12.2008). Regressioanalyysi. Haettu osoitteesta <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html>

Mannila, L & Seppänen, R. (2013). MAOL-taulukot. Otava

Motiva. (6.3.2025). Lämmöntuottotavat. Haettu osoitteesta https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energiatehokas_ taloyhtio/lammitys/lammontuottotavat

Oomi Solar. (n.d.). Kehitysvaiheessa: Aurinkopuisto, Pori 8 MW. Haettu 26.6.2025 osoitteesta <https://oomisolar.fi/referenssit/kehitysvaiheessa-aurinkopuisto-pori-8-mw/>

PAM. (24.6.2024). Tuore tutkielma: Koronapandemia aiheutti sitkeitä ja vakavia ongelmia palvelualojen työmarkkinoille. Haettu osoitteesta <https://www.pam.fi/artikkelit/tuore-tutkielma-korona-pandemia-aiheutti-sitkeitä-ja-vakavia-ongelmia-palvelualojen-tyomarkkinoille/>

Pantzar, M. (26.12.2024). Sähkön kulutus hurjassa kasvussa – Fingrid: ”Kaksinkertaistuu 10 vuodessa”. Yle. Haettu osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20130045>

Sallinen, P. (4.12.2023). Mitä energiakriisi opetti? Energiauutiset. Haettu osoitteesta <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/mita-energiakriisi-opetti.html>

Taanila, A. (25.4.2019). Prosenttiosuuden luottamusväli. Akin menetelmäblogi. Haettu osoitteesta <https://tilastoapu.wordpress.com/2013/02/02/prosenttiosuuden-luottamusvali/>

Tahkoluoto Offshore Oy. (n.d.). Laajennushanke. Haettu 26.6.2025 osoitteesta <https://tahkoluoto-offshore.fi/hankkeet/laajennushanke/>

Tietoarkisto. (n.d.). Tilastollinen päättely. Haettu 7.7.2025 osoitteesta <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/metelmaopetus/kvanti/paattely/paattely/>

Tilastokeskus. (n.d.). Kuntien avainluvut. Stat. Haettu 11.6.2025 osoitteesta <https://stat.fi/tup/alue/kuntienavainluvut.html#?active1=SSS&year=2025>