



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Topi Mattila

Joustopalveluiden mahdollisuudet Seiverkot Oy:n sähkönjakeluverkossa

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Sähkötekniikan diplomityö
Sähkö- ja energiatekniikka, DI

Vaasa 2025

VAASAN YLIOPISTO
Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö

Tekijä:	Topi Mattila		
Tutkielman nimi:	Joustopalveluiden mahdollisuudet Seiverkot Oy:n sähkönjakeluverkossa		
Tutkinto:	Diplomi-insinööri		
Oppiaine:	Sähkötekniikka		
Työn valvoja:	Hannu Laaksonen		
Työn ohjaajat:	Marja Lotta Syrjälä ja Janne Paavola		
Työn tarkastaja:	Kimmo Kauhaniemi		
Valmistumisvuosi:	2025	Sivumäärä:	100

TIIVISTELMÄ:

Energiamurroksen myötä sähköntuotanto muuttuu yhä enemmän sääriippuvaisemmaksi ja hajautuu yhä enemmän myös kuluttajille pientuotannon muodossa. Tuotantorakenteen muutokset yhdessä yhteiskunnan sähköistymisen kanssa voivat aiheuttaa jakeluverkkoihin paikallisia pullonkaulatilanteita ja vaikuttaa sähkön toimitusvarmuuteen sekä laatuun. Jakeluverkkoyhtiöille keskeiseksi ratkaisuksi ovat nousseet markkinaehtoiset päätösten hallintaan suunnatut joustopalvelut. Sähkömarkkinalaki velvoittaa jakeluverkonhaltijoita huomioimaan joustopalvelut vaihtoehtona perinteisille verkkoinvestoinneille.

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia ja tuottaa tietoa erilaisista joustopalveluista, joita Seiverkot Oy voisi hyödyntää jakeluverkossaan toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustoina. Tutkimuksen näkökulma on rajattu pien- ja keskijänniteverkon tarpeisiin. Työn alussa tehdään kirjallisuuskatsaus, jossa käsitellään energiamurrosta, sähkömarkkinoiden toimintaa ja rakennetta, Sähkömarkkinalakia ja sen velvoitteita joustoon, Energiaviraston määräyksiä joustoon liittyen, erilaisia joustoresursseja, suomalaisia ja kansainvälisiä joustohankkeita sekä kuormanohjauksia. Kirjallisuuskatsauksen lisäksi tutkitaan Seiverkot Oy:n asiakkaiden kulutuskäyttäytymistä, laskemalla valituille kohteille Spearmanin korrelaatiokertoimet sähkön kulutuksen sekä pörssisähkön hinnan ja ulkolämpötilan välille. Aineistona verkkokohtaisessa tutkimuksessa käytettiin Seiverkkojen tuntimittausdataa 12 kuukauden aikaväliltä, jota verrattiin vastaavan ajanjakson Nord Poolin pörssisähkön tuntihintoihin sekä Ilmatieteen laitoksen mittaamiin tuntilämpötiloihin Seinäjoen alueelta.

Verkkokohtaisessa tutkimuksessa havaittiin, että suurin osa Seiverkkojen keski- ja pienjänniteverkon asiakkaista on tällä hetkellä lämpötilariippuvaisia kuluttajia. Tämä tarkoittaa, että verkon alueen asiakkaat eivät reagoi pörssisähkön hintasignaaleihin, jolloin implisiittistä joustoa on vähän Seiverkkojen jakeluverkossa. Tulos viittaa myös siihen, että asiakkaat eivät äkillisesti lisää kulutustaan halpojen pörssisähkön hintojen aikana, mikä osittain vähentää lyhyen aikavälin jouston tarvetta. Vähäisen implisiittisen jouston takia Seiverkot Oy:n tulisi jatkossa keskittyä eksplisiittisten joustojen käyttöönottoon, toteuttamalla niitä yhteistyöhankkeina muiden yritysten kanssa, jotta saadaan kerrallaan suuri määrä eksplisiittistä joustoa jakeluverkon alueelle.

Tulevaisuudessa joustojen käyttöönottoa auttaa Joustohubin kautta toteutuva kuormanohjauksirajapinta, jonka kautta voidaan luoda markkinaehtoista skaalattavaa joustoa. Joustopalveluiden tarpeiden kartoitusta varten tulee Seiverkkojen arvioida myös paikallisia joustotarpeita osana EU-tason joustotarpeiden arviointi prosessia.

AVAINSANAT: Jakeluverkko, joustopalvelut, energiamurros, kysyntäjousto, kuormanohjaus, energiavarastot

Sisälllys

1	Johdanto	9
1.1	Työn tavoitteet, menetelmät ja tutkimuskysymykset	10
1.2	Seiverkot Oy	11
2	Sähköjärjestelmän muutos ja jouston tarve	13
2.1	Sähkömarkkinat	15
2.2	Lainsäädäntö ja viranomaisohjaus	19
3	Sähköverkon joustomahdollisuudet	24
3.1	Kysyntäjousto	25
3.2	Energiavarastot	27
3.3	Sähköautot	33
3.4	Lämmitys	37
3.5	Energiayhteisöt ja mikroverkot	42
3.6	Sähkön hinnoittelu	45
4	Katsaus suomalaisiin ja kansainvälisiin joustohankkeisiin	50
4.1	OneNet	50
4.2	FinFlex	52
4.3	Kurun akkupilotointi	57
4.4	LEMENE-energiayhteisö	59
5	Kuormanohjausrajpinta joustojen hyödyntämiselle	61
5.1	Joustohub	61
5.2	Toiminnallisuus	62
5.3	Osapuolten roolit ja vastuut	64
5.4	Hyödyt ja haasteet	65
6	Kulutuskäyttäytyminen Seiverkkojen keski- ja pienjänniteverkossa	67
6.1	Lähtötiedot ja menetelmät	68
6.2	Keskijänniteverkon asiakkaiden kulutuskäyttäytyminen	71
6.3	Pienjänniteverkon asiakkaiden kulutuskäyttäytyminen	78

6.4 Tulokset	85
7 Toimintasuunnitelma	88
8 Yhteenveto	91
Lähteet	93

Kuvat

Kuva 1. Seiverkot Oy:n jakeluverkkoalue.	11
Kuva 2. Sähkön tuotanto ja kulutus vuosilta 1990–2024 (Tilastokeskus, 2025b).	13
Kuva 3. Valvontamenetelmät vuosille 2024–2027 ja 2028–2031 (Energiavirasto, 2023b).	22
Kuva 4. Erilaisia kysyntäjouston menetelmiä (Rinne, 2023).	26
Kuva 5. Energiavarojen tehoalueet ja purkaustehon kesto (Sprake ja muut, 2017).	30
Kuva 6. Litiumioniakustojen hinnan kehitys vuosilta 2013–2024 (BloombergNEF, 2024).	31
Kuva 7. FTM- ja BTM-akkuvarastojen käytännön ero (NREL, 2021).	32
Kuva 8. Ohjaamattoman latauksen muodostama tehohuippu (Tikka ja muut, 2021).	36
Kuva 9. Älylatauksen muodostama tehohuippu (Tikka ja muut, 2021).	36
Kuva 10. Kaukolämmön ja sähkön kulutuksen huippukuormitukset vuonna 2024 (Energiateollisuus, 2025).	38
Kuva 11. Vuosittainen asumisen energiankulutus käyttökohteittain (Tilastokeskus, 2024).	39
Kuva 12. Lämpöpumppujen kappalemäärän kehitys vuosittain Suomessa (Sulpu, 2024).	40
Kuva 13. Lämmityksen älyohjaus (Väre, 2025).	42
Kuva 14. Tavallinen kerrostalo verrattuna energiayhteisö kerrostaloon (Koskela, 2024).	43
Kuva 15. Verkon erilaisia saareke mahdollisuuksia (Repo ja muut, 2023).	45
Kuva 16. Asiakkaiden halukkuus ajoittaa lataustapahtumat riippuen siirtosopimuksesta (Raassina ja muut, 2023).	47
Kuva 17. Digitaalinen palvelu liittymän kapasiteetin seuraamiseen (Ollila & Raassina, 2024).	48
Kuva 18. Suomen verkossa simuloitu pullonkaulatilanne (OneNet, 2024).	51
Kuva 19. Nodes-kaupankäyntialustalle tehty kapasiteettitarjous (Nodes, 2025b).	57
Kuva 20. Akun sijoittelu Elenian keskijänniteverkossa (Alaperä ja muut, 2019).	58

Kuva 21. LEMENE-energiayhteisön energiaresurssien muodostama kokonaisuus (Lempäälän Energia, 2021).	60
Kuva 22. Kuormanohjausprosessin tiedonvaihto eri järjestelmien välillä (Afry, 2024).	62
Kuva 23. Välittömän ohjauksen prosessikaavio (Afry, 2024).	64
Kuva 24. Käyttöpaikan 5 pörssisähkön hinnan ja kulutuksen normaalijakauma	69
Kuva 25. Käyttöpaikan 5 ulkolämpötilan ja kulutuksen normaalijakauma.	69
Kuva 26. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimien vaihtelut pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.	72
Kuva 27. Käyttöpaikan 9 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.	73
Kuva 28. Käyttöpaikan 12 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.	73
Kuva 29. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimien vaihtelut ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.	75
Kuva 30. Käyttöpaikan 7 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.	76
Kuva 31. Käyttöpaikan 2 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.	76
Kuva 32. Käyttöpaikan 10 kulutus lajiteltu suurimasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.	77
Kuva 33. Käyttöpaikan 8 kulutus lajiteltu suurimasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.	78
Kuva 34. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokertoimien vaihtelut pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.	79
Kuva 35. M1 muuntopiirin kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.	80
Kuva 36. Muuntopiirin M6-kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.	81
Kuva 37. Muuntopiirin M10 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.	81

Kuva 38. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokertoimien vaihtelut ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.	83
Kuva 39. Muuntopiirin M1 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.	84
Kuva 40. Muuntopiirin M6 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.	84
Kuva 41. Muuntopiirin M10 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.	85

Taulukot

Taulukko 1. Taajuusreservituotteet (Fingrid, 2023).	17
Taulukko 2. Suomen rekisterissä olevat ajoneuvot (Tilastokeskus, 2025a).	34
Taulukko 3. Palveluntarjoajien tekemät joustotarjoukset (OneNet, 2024).	52
Taulukko 4. Kapasiteettituotteelta vaaditut tiedot (Energiavirasto, 2025a).	53
Taulukko 5. Energiatuotteelta vaaditut tiedot (Energiavirasto, 2025a).	55
Taulukko 6. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimet ja P-arvot pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.	71
Taulukko 7. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimet ja P-arvot ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.	74
Taulukko 8. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokertoimet ja P-arvot pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.	79
Taulukko 9. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokertoimet ja P-arvot ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.	82

Lyhenteet ja termit

Aggregaattori	Toimija, joka kokoaa yhteen energiaresursseja ja tarjoaa niiden säätökykyä sähkömarkkinoille joustona
AMR 2.0	Toisen sukupolven etäluettavat mittarit (engl. Automatic meter reading)

BTM-varasto	Sähkövarasto, joka sijoitettu asiakkaan sähkömittarin taakse. Käytetään ensisijaisesti asiakkaan omavaraisuuden kasvattamiseen (engl. Behind the Meter)
FTM-varasto	Sähkövarasto, joka on kytketty suoraan sähköverkkoon. Käytetään ensisijaisesti sähköverkon kulutuksen ja tuotannon tasapainottamiseen (engl. Front of the meter)
Joustopalvelu	Palvelu, jossa sähkön tuotantoa tai kulutusta muutetaan (ylös- tai alaspäin) tietoisesti vastauksena markkinasignaaliin tai sovittuun joustotarjoukseen perustuen. Näitä jakeluverkonhaltijat ostavat markkinaehtoisesti verkon pätoetehon hallintaa varten.
Joustopaikka	Markkinapaikka, josta jakeluverkkoyhtiöt pystyvät ostamaan joustopalveluita
KJ	Keskijännite 20 kV
P2G	Sähkön muuntaminen kaasuksi (engl. Power-to-G)
P2X	Sähkön muuntaminen polttoaineeksi (engl. Power-to-X)
PJ	Pienjännite 0,4 kV
SAIDI	Keskimääräinen vuosittainen sähkönjakelun keskeytysaika asiakasta kohden (engl. System average interruption duration index)
SAIFI	Keskimääräinen vuosittainen sähkönjakelun keskeytyskertojen määrä asiakasta kohden (engl. System average interruption frequency index)
V2G	Kaksisuuntainen sähkönsyöttö sähköajoneuvosta sähköverkkoon (engl. Vehicle-to-Grid).
V2H	Sähkönsyöttö sähköajoneuvosta kiinteistöön (engl. Vehicle-to-Home)
Varttimittaus	Sähkön kulutus mitataan 15 minuutin välein
Virtuaalivoimala	Useista hajautetuista energiaressursseista koostuva kokonaisuus, jonka tehokapasiteettia tarjotaan markkinoille yhtenä yksikkönä (engl. Virtual Power Plant)

1 Johdanto

Jakeluverkkojen perinteinen toimintamalli on perustunut yksisuuntaiseen sähkön siirtoon voimalaitoksilta kuluttajille, mutta energiamurroksen myötä sähköntuotanto muuttuu vaihtelevammaksi ja hajautuu yhä enemmän myös kuluttajille pientuotannon muodossa. Tuotantorakenteen muutosten lisäksi verkon kuormitusta kasvattavat sähköistyvä liikenne ja lämmitys sekä uudet datakeskukset (Honkapuro ja muut, 2020). Verkon rakenteesta riippuen nämä muutokset voivat johtaa paikallisiin pullonkaulatilanteisiin. Pahimmassa tapauksessa ongelmatilanteet voivat ylikuormittaa ja vaurioittaa verkon komponentteja sekä vaikuttaa sähkön laatuun etenkin heikoissa pienjänniteverkoissa (Haakana ja muut, 2021). Jakeluverkoilta nämä muutokset vaativat perinteisten verkkoinvestointien ohella myös verkon joustavuuden tehostamista, jotta asiakkaiden sähkön toimitusvarmuus pystytään turvaamaan entistä haastavammassa toimintaympäristössä.

Sähköverkon joustolla tarkoitetaan sähkön tuotannon tai kulutuksen tietoista muuttamista vastauksena markkinasignaaliin tai perustuen sovittuun joustotarjoukseen (Sähkömarkkinalaki 588/2013). Jouston tavoitteena on siis tasapainottaa sähköverkkoa lisäämällä tai vähentämällä hetkellisesti sähkön tuotantoa tai kulutusta. Jakeluverkkojen joustojen osalta keskeisemmäksi keinoksi ovat nousseet ostopalveluiden kautta hankittavat joustopalvelut (Repo ja muut, 2023). Sähkömarkkinalaissa (588/2013) sanotaan, että jakeluverkonhaltijan on verkon kehittämissuunnitelmassaan arvioitava ja suunniteltava joustopalveluiden käyttöä vaihtoehtona perinteisille verkkoinvestoinneille. Jakeluverkon tulee hyväksyttää joustopalveluiden hankintaehdot Energiavirastolta ja täydentää niitä tarpeen vaatiessa. Lain mukaan Energiavirasto voi myös myöntää jakeluverkonhaltijalle toistaiseksi voimassa olevan poikkeusluvan joustopalveluiden markkinaehtoisesta hankinnasta poikkeamiseen, mikäli joustopalvelujen hankinta ei ole taloudellisesti tehokasta tai se johtaisi vakaviin markkinan vääristymiin.

1.1 Työn tavoitteet, menetelmät ja tutkimuskysymykset

Diplomityön tavoitteena on tutkia ja tuottaa tietoa siitä, mitä joustopalveluita voitaisiin hyödyntää Seiverkot Oy:n jakeluverkossa toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustoina. Työn taustana on Energiaviraston määräys, joka velvoittaa jakeluverkkoyhtiöitä ottamaan huomioon joustopalvelut osana jakeluverkon toimintaa. Diplomityössä tarkastelun kohteena on keski- ja pienjänniteverkko. Diplomityö on rajattu jakeluverkon paikallisiin joustotarpeisiin, mutta huomioi tarvittaessa kantaverkon kanssa tapahtuvan vuorovaikutuksen.

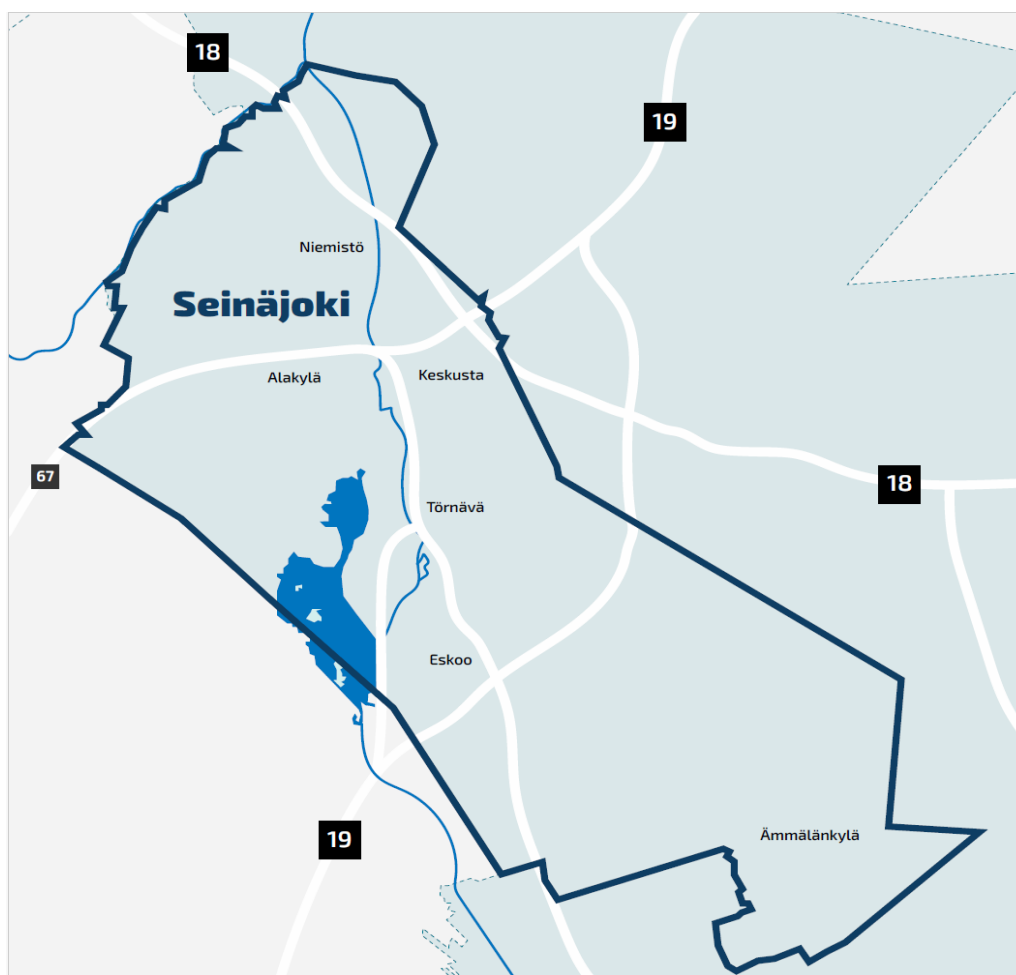
Diplomityö sisältää aluksi kirjallisuuskatsauksen, jossa perehdytään energiamurrokseen, sähkömarkkinoihin, Sähkömarkkinalakiin, Energiaviraston määräyksiin, erilaisiin joustoresursseihin, suomalaisiin ja kansainvälisiin joustohankkeisiin sekä kuormanohjausraja-pintaan. Kirjallisuuskatsauksen lisäksi tutkitaan Seiverkkojen asiakkaiden kulutuskäyttäytymistä. Tavoitteena on myös selvittää, riippuuko asiakkaiden sähkön kulutus mahdollisesti enemmän pörssisähkön hinnasta vai ulkolämpötilasta. Tulosten avulla pyritään arvioimaan nykyisen kulutuksen joustopotentiaalia pätötehon ohjattavuuden osalta sekä pohtia jakeluverkon mahdollisuutta ohjata kulutusta sähkönsiirron hinnoittelun kautta. Työn lopussa pohditaan, miten Seiverkot Oy voi jatkaa eteenpäin joustojen käyttöönotossa ja esitellään keskeiset johtopäätökset.

Diplomityön keskeisiä tutkimuskysymyksiä ovat:

1. Mitä Energiavirasto on vaatinut jakeluverkkoyhtiöiltä joustopalveluihin liittyen?
2. Millaisia joustoratkaisuja voidaan hyödyntää Seiverkot Oy:n verkkoalueella?
3. Miten kuormanohjausraja-pinta voi tukea joustojen käyttöönottoa?
4. Onko Seiverkkojen asiakkaiden kulutus riippuvainen pörssisähkön hinnasta tai ulkolämpötilasta?
5. Millainen toimintasuunnitelma tukisi Seiverkot Oy:tä kohti pilotointia ja käyttöönottoa?

1.2 Seiverkot Oy

Seiverkot Oy (2024) kuuluu Seinäjoen Energia -konserniin ja vastaa sähkönjakelusta Seinäjoen kuvassa 1 esitetyllä alueella. Yhtiön toimintaan kuuluvat sähköverkon suunnittelu, rakentaminen, kehittäminen, kunnossapito, sähkön kulutuksen mittaaminen ja vikojen korjaaminen. Yrityksen tavoitteena on taata luotettava, toimitusvarma ja kustannustehokas sähkönjakelu, joka täyttää Sähkömarkkinalain vaatimukset. Koko konsernin liikevaihto vuonna 2024 oli 120,4 miljoonaa euroa, josta liikevoittoa tehtiin 23,1 miljoonaa euroa ja vastaavasti Seiverkkojen liikevaihto oli 15,2 miljoonaa euroa ja liikevoitto 2,8 miljoonaa euroa (Seinäjoen Energia, 2024).

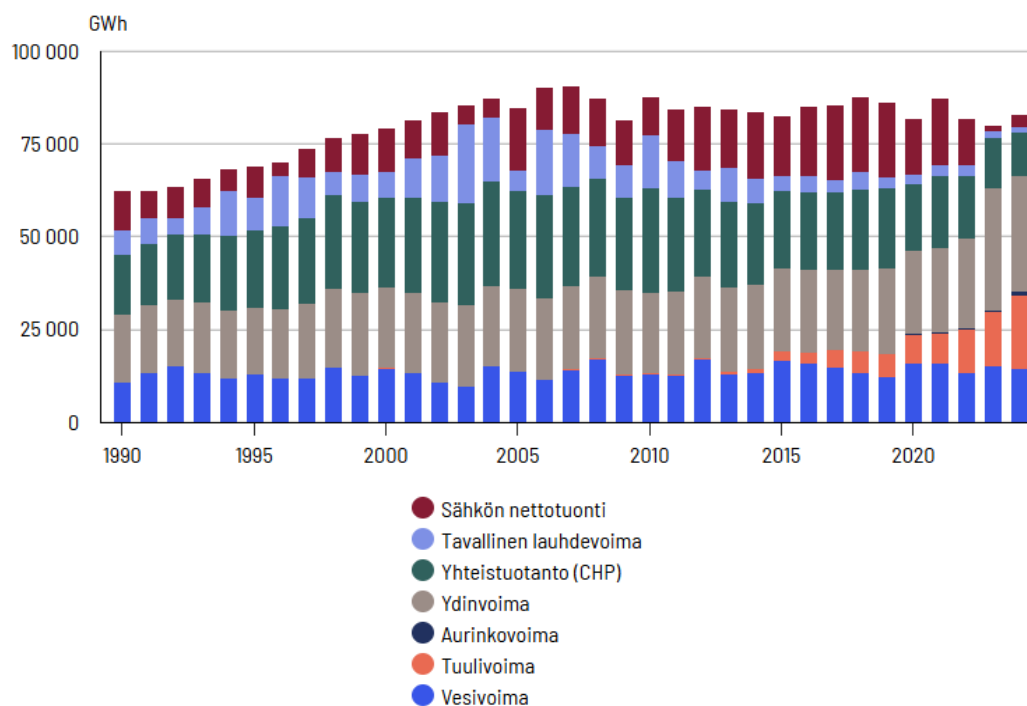


Kuva 1. Seiverkot Oy:n jakeluverkkoalue.

Seiverkot Oy:n vastuualueella on 28 044 asiakasta ja yhtiön siirtämä sähköenergian määrä vuonna 2024 oli yhteensä 456 GWh. Seiverkot omistaa 869 km 0,4 kV pienjännite (PJ)-verkkoa ja sen maakaapelointiaste on 93,7 %. Yhtiön omistuksessa on myös 310 km 20 kV keskijännite (KJ)-verkkoa, jonka maakaapelointiaste on 70,5 %. Seiverkon jakeluverkko on rakenteeltaan rengasmainen, jota käytetään normaalitoiminnassa säteittäisesti. Verkon rakenne mahdollistaa vikojen nopean paikantamisen ja rajaamisen, mikä vähentää häiriöiden laajuutta ja kestoja. Vuonna 2024 SAIDI oli 5 minuuttia ja SAIFI 1 kpl. Seiverkot on panostanut merkittävästi viime vuosina jakeluverkon kehittämiseen, kuten maakaapelointiin, sähköasemien saneeraukseen ja automaation lisäämiseen. Vuoden 2024 aikana valmistuneiden investointien määrä oli 2,3 miljoonaa euroa ja keskeneräisiä investointeja oli yhteensä 0,6 miljoonaa euroa. Uusiutuvan energian kasvun ja liikenteen sähköistymisen asettamat uudet haasteet huomioidaan verkon suunnittelussa. Jakeluverkon alueella aurinkosähkön määrä on kasvanut viimeisen kolmen vuoden aikana 130 %. Vuonna 2024 PJ-verkossa oli 377 aurinkosähköä tuottavaa asiakasta, joiden yhteenlaskettu nimellisteho oli noin 3,55 MW. Kehittämissuunnitelmassaan Seiverkot Oy (2024) mainitsee, miten vuoden 2023 uusista henkilöautoista 34 % oli täyssähköautoja ja 15 % lataushybridejä. Suunnitelmassa kerrotaan myös, miten verkon alueella on tällä hetkellä 34 julkista latauskenttää ja on arvioitu liikenteen sähkön kulutuksen olevan jopa 15 GWh vuonna 2033. Jakeluverkon alueella on tarkasteltu pätötehon ohjaukseen perustuvien joustopalveluiden saatavuutta, mutta joustopalveluntarjontaa ei verkkoalueella ole ollut. Paikallisten joustomarkkinoiden ja joustopalveluntarjoajien puuttumisen vuoksi Seiverkot on hakenut Energiavirastolta toistaiseksi voimassa olevaa lupaa joustopalveluiden markkinaehtoisesta hankinnasta poikkeamiseen.

2 Sähköjärjestelmän muutos ja jouston tarve

Kuvan 2 pylväsdiagrammi esittää Suomen sähköjärjestelmän sähkön tuotannon ja kulutuksen vuosittaista kehitystä. Vaikka Suomen sähköenergian kokonaiskulutus on pysynyt yleisesti tasaisena, viime vuosikymmenen aikana tuotantorakenne on muuttunut uusiutuvien energialähteiden kasvun myötä.



Kuva 2. Sähkön tuotanto ja kulutus vuosilta 1990–2024 (Tilastokeskus, 2025b).

Tilastokeskuksen (2025b) tietojen mukaan Suomen sähköenergian kokonaiskulutus vuonna 2024 oli 82,7 TWh, josta ydinvoimalla tuotettiin suurin osuus eli noin 31,1 TWh. Sähkönenergiasta vesivoimalla tuotettiin noin 14,1 TWh. Vesivoiman tuotannossa ei ole tapahtunut merkittävää kasvua, sillä sen laajennusmahdollisuudet ovat Suomessa hyvin rajalliset (Honkapuro ja muut, 2020). Tilastokeskus (2025b) kertoo, että tuulivoiman osuus Suomen sähköenergian tuotannosta on kasvanut huomattavasti viimeisen kymmenen vuoden aikana ja edellisvuoteen verrattuna sen osuus kasvoi 37 %. Tuulivoiman osuus oli toiseksi suurin kaikista tuotantomuodoista ja sillä tuotettiin sähköenergiaa noin 19,9 TWh. Aurinkovoiman tuotanto kasvoi 61 % edellisvuodesta saavuttaen 1,2 TWh:n

tuotannon. Aurinkovoiman suhteellinen kasvu oli kaikista sähkön tuotantomuodoista suurin. Yhdessä nämä neljä tuotantomuotoa vastasivat 80 % koko Suomen sähkön tuotannosta.

Sääriippuvaisen tuotannon aiheuttamat vaihtelut yhdessä yhteiskunnan sähköistymisen kanssa, asettavat haasteita sähköverkon toimitusvarmuudelle ja suunnitteluperiaatteille. Haapaniemen ja muiden (2021) tutkimusraportissa mainitaan, miten verkon mitoituksen kannalta nämä muutokset vaikuttavat erityisesti verkon huipputehoihin, siirtokapasiteettiin sekä kuormien risteilyyn. Raportissa tuodaan ilmi, miten kuormien risteilyn perusteella on voitu olettaa asiakkaiden kuormien käyttäytyvän toisistaan riippumattomasti, eivätkä kaikki asiakkaat käytä maksimitehoaan samanaikaisesti. Oletus on ollut siis keskeinen osa verkon suunnittelua ja mahdollistanut verkon maltillisemmän ja taloudellisemmän mitoituksen. Liikenteen sähköistyessä älylatauksen lisääntyminen vähentää kuormien risteilyä, koska monet lataustapahtumat ajoittuvat samoille edullisille pörsisähkön tunneille (Haakana ja muut, 2024).

Sähköautojen latauksen ohella toinen kuorman risteilyä pienentävä ja kuormitusta kasvattava tekijä on lämmityksen sähköistyminen. Järventausta ja muut (2015) DR-poolin loppuraportissa sanovat, miten lämpöpumput tulevat korvaamaan yhä enemmän kiinteistöjen vanhoja lämmitysjärjestelmiä pää- ja lisälämmityksen muotona. Kun sähköautojen latausta usein synkronoi sähkön hinta, lämmityskuormien voimakkain samanaikaisesti tekijä on ulkolämpötila. Kylmien pakkasten aikaan sähköautoja joudutaan lataamaan yhä useammin, mikä lisää sähkön kulutusta entisestään. Samanaikaisesti asiakkaiden lämmitystarpeet myös kasvavat ja ne aiheuttavat jakeluverkoille suuria tehonsiirtotarpeita. Lämpöpumppujen hyötysuhde laskee kovilla pakkasilla, jolloin järjestelmä kytkkee automaattisesti päälle sähköisen lisävastuksen ylläpitämään lämmitystä, mikä nostattaa kiinteistön tehontarvetta (Järventausta ja muut, 2015). Tämän tehon lisäyksen tapahtuessa monissa kiinteistöissä samanaikaisesti ne aiheuttavat paikallisesti suuria kuormitushuippuja jakelumuuntamoille ja verkon johtolähdöille. Olennaista on huomioida, että Suomen jakeluverkot ovat mitoitettu kestämään talven huippukuormia ja

tehonsiirtotarpeita (Haakana ja muut, 2021). Pakkasilma myös jähdyttää verkon komponentteja, kuten muuntajia ja kaapeleita, minkä vuoksi ne pystyvät kestävänsä nimellistehoaan suuremman kuormituksen kylminä vuodenaikoina (Järventausta ja muut, 2015).

Haakanan ja muiden (2021) tutkimusraportissa tuodaan esille, miten näiden kuormien ja tuotantomuotojen lisäykset voivat johtaa verkon komponenttien ylikuormittumiseen, toimitusvarmuuden sekä sähkön laadun heikkenemiseen. Raportissa mainitaan, miten näistä yleensä ensimmäisenä tuleekin vastaan sähkön laadulliset ongelmat ja rajoitteet. Jännitteen laatuun liittyvät vaatimukset on määritelty standardissa SFS-EN 50160. Normaaleissa käyttöolosuhteissa jännitteen poikkeama nimellisjännitteestä saa standardin mukaan olla enintään $\pm 10\%$ (Haakana ja muut, 2021). Tavallinen ratkaisu näihin kapasiteettirajoitteisiin on ollut verkon vahvistamiseen tehtävät investoinnit, kuten muuntajien vaihtaminen nimellisteholtaan suurempiin tai siirtokaapeleiden uusiminen. Vaikka tavalliset verkkoinvestoinnit toimivat kapasiteettiongelmiin ratkaisuun, niiden toteuttaminen on hidasta ja kallista. Siksi aktiivisen verkonhallinnan ja joustopalveluiden kaltaiset keinot ovat yhä tärkeämpiä kapasiteettiongelmiin sekä tuotannon ja kulutuksen hallinnassa (Repo ja muut, 2023).

2.1 Sähkömarkkinat

Koskela ja muut (2024) tutkimusraportissaan käyvät läpi sähkömarkkinoiden rakennetta. Raportissa kerrotaan, miten Suomessa ja muissa Pohjoismaissa sähkökauppaa käydään Nord Poolin ylläpitämällä vuorokausi- ja päivänsisäisillä markkinoilla. Vuorokausimarkkinoilla määritetään sähkön hinta ja toimitusmäärät seuraavan päivän jokaiselle tunnille huutokauppaperiaatteella. Hinta perustuu marginaalihinnoitteluun (engl. Pay-as-clear) eli se määräytyy kysynnän ja tarjonnan leikkauskohdan mukaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kallein hyväksyty tarjous määrittää hinnan kaikille kyseisen tunnin myyntitarjouksille. Raportin mukaan sähkön tuottajat kilpailevat keskenään siitä, kuka kykenee tuottamaan sähköä edullisimmin. Säariippuvaisen tuotannon voimakas vaihtelu vaikuttaa suoraan sähkön markkinahintaan. Ylituotannon aikana hinnat voivat mennä

todella alhaisiksi tai negatiivisiksi, kun tarjonnan puutteessa hinnat voivat nousta hyvin korkealle.

Nordic Energy Researchin (2021) julkaisussa kerrotaan, miten päivänsisäisillä markkinoilla sähkökauppaa käydään jatkuvasti vuorokausimarkkinoiden sulkeutumisen jälkeen aina lähelle toimitushetkeä asti. Päivänsisäisillä markkinoilla jokaiselle hyväksytylle tarjoukselle maksetaan tarjouksessa ilmoitettu hinta (engl. Pay-as-bid). Nämä markkinat auttavat tasapainottamaan päivän aikana tapahtuvia tuotannon ja kulutuksen vaihteluita.

Suomessa otettiin käyttöön 15 minuutin taseselvitysjakso toukokuussa 2023, jonka myötä päivänsisäisillä markkinoilla on voitu käydä kauppaa 15 minuutin tuotteilla (Fingrid, 2025a). Vuorokausimarkkinoiden siirtyminen varttimittaukseen tapahtui lokakuussa 2025 (Caruna, 2025). Fingridin (2025a) mukaan muutoksen tavoitteena on harmonisoida markkinoiden toimintaa ja mahdollistaa nopeampi reagointi sähköjärjestelmän tuotannon ja kulutuksen muutostilanteisiin. Jakeluverkkoyhtiöiden tulee päivittää asiakkaiden mittausjärjestelmät vuoden 2028 loppuun mennessä varttimittausta tukeviin etämittauslaitteistoihin.

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid (2023) vastaa sähköjärjestelmän tehotasapainosta eli siitä, että tuotanto ja kulutus ovat jatkuvasti yhtä suuria. Tasapainoa tarkkaillaan seuraamalla sähköjärjestelmän taajuutta, joka normaali toimintatilanteessa on 49,9–50,1 Hz välillä. Järjestelmän tasapainon ylläpitoa varten Fingrid ostaa ohjattavia resursseja (reservejä) taajuudensäätöön reservimarkkinoilta, jossa eri tuotantokohteet tarjoavat tehonsäätökykyään järjestelmän tasapainottamiseen. Taajuudensäädön reservimarkkinoille voivat osallistua monet eri kohteet, kuten voimalaitokset, teollisuuslaitokset, energiavarastot sekä aggregaattoreiden kokoamat pienet kulutuskohteet. Taajuusreservejä Fingrid ostaa vuoden jokaiselle tunnille sähköjärjestelmän tuotannon ja kulutuksen sekä häiriötilanteista syntyvän taajuuden vaihtelun tasapainottamiseen. Nämä reservit

jaetaan käyttötarkoituksen ja reagointinopeuden perusteella eri reservituotteisiin, kuten taulukossa 1 on esitetty.

Taulukko 1. Taajuusreservituotteet (Fingrid, 2023).

Reservituote	Vaadittu aktivointinopeus	Aktivointitapa	Käyttötarkoitus	Taajuuden säätösuunta	Minimitarjouskoko (pätöteho)
Nopea taajuusreservi (FFR)	1,3 s / 49,7 Hz, 1,0 s / 49,6 Hz ja 0,7 s / 49,5 Hz	Taajuuteen perustuva automaattinen aktivointi	Käytetään pienen inertian tilanteissa suurien taajuuspoikkeamien hallintaan	Ylössäätö	1 MW
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	86 % tehosta 7,5 sekunnissa	Taajuuteen perustuva automaattinen aktivointi	Käytetään suurissa taajuuden muutoksissa nopeaan lineaariseen hallintaan	Ylössäätö (49,5–49,9 Hz) ja alassäätö (50,1–50,5 Hz)	1 MW
Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	63 % tehosta 1 min ja 95 % tehosta 3 min	Taajuuteen perustuva automaattinen aktivointi	Säätää taajuutta jatkuvasti 49,9–50,1 Hz:n alueella	Ylös- ja alassäätö	0,1 MW
Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR)	5 minuuttia	Fingridin lähettämään aktivointisignaaliin perustuva automaattinen aktivointi	Säätää jatkuvasti tuotanto- ja kulutuskohteiden tehoa	Ylös- ja alassäätö	1 MW
Manuaalinen taajuuden palautusreservi (mFRR)	15 min	Fingridin lähettämään aktivointipyyntöön perustuva manuaalinen aktivointi	Suurempien ja pidempikestoisten taajuuspoikkeamien korjaaminen	Ylös- ja alassäätö	5 MW (jaettavissa 1 MW eriin)

Taajuusreservimarkkinoilla osallistuville toimittajille maksetaan kapasiteettikorvausta säätötehon valmiuden ylläpitämisestä sekä energiakorvausta mikäli reservi joudutaan aktivoimaan (Fingrid, 2025b). Reservimarkkinoilla on käytössä marginaalihinnoittelu, kuten vuorokausimarkkinoilla, mutta tästä hinnoittelusta poikkeavat tietyt erikoissäädöt ja viiveellä aktivoidut reservit, joiden korvaus voidaan maksaa tarjouskohtaisesti (Fingrid, 2025b)

Joustomarkkinoiden päätarkoitus on tarjota jakeluverkkoyhtiölle keinoja paikalliseen te-honhallintaan ja toimitusvarmuuden ylläpitämiseen hyödyntämällä verkon paikallisia tuotanto- ja kulutuskohteita (Helen, 2025). Koska jakeluverkon tarpeet ovat verkkokoh-taisia, onnistunut kaupankäynti edellyttää tehokasta tiedonvaihtoa joustomarkkinoiden toimijoiden välillä. Nordic Energy Research (2021) tuo ilmi, miten joustopalveluntarjoajat tietävät omien joustoresurssien sijainnin, mutta eivät verkon pullonkauloja, kun taas ja-keluverkonhaltijat tietävät pullonkaulojen sijainnin, mutta eivät välttämättä tiedä yksit-täisten joustoresurssien sijaintia. Joustomarkkinoilla tarjolla olevat joustoresurssit voi-daan sijainnin perusteella kohdentaa niin, että ne voivat täyttää verkkoyhtiön paikalliset joustotarpeet.

Energiaviraston (2025a) vahvistamassa joustopalveluiden hankintaehdoissa mainitaan, miten joustomarkkinoille osallistuville maksetaan korvausta samalla tavalla, kuin reser-vimarkkinoilla eli kapasiteettikorvauksella valmiudessa olosta ja energiakorvauksella jouston aktivoinnista. Kun reservimarkkinoilla käytettiin marginaalihinnoittelua, jousto-markkinoilla on käytössä tarjouskohtainen hinnoittelu. Repon ja muiden (2023) mukaan, jotta joustomarkkinat voisivat toimia luotettavasti ja tehokkaasti, täytyy tarjouksia olla riittävästi jakeluverkon tarpeeseen nähden eli täytyy olla markkinalikviditeettiä. Mikäli likviditeetti on heikko, eli tarjouksia on vähän tai yksi toimija omistaa suuren osan tar-jouksista, jakeluverkonhaltija ei voi luottaa saavansa tarvitsemaansa joustoa kilpailuky-yiseen hintaan. Vähäinen kilpailu voi myös nostattaa joustotarjouksien hintoja ja tehdä joustopalvelun ostamisesta epätaloudellista jakeluverkoille. Tämän vuoksi tulevien jous-tomarkkinoiden kehityksen kannalta tärkeää on luoda toimintamallit ja säännöt, jotka houkuttelevat mukaan riittävästi eri joustontarjoajia ja varmistavat näin markkinan luo-tettavan toiminnan.

Markkinoiden houkuttelevuutta voidaan parantaa esimerkiksi mahdollistamalla jousto-tuotteen osallistumisen useammalle eri markkinalle, mutta tällöin täytyy varmistaa, että samaa tuotetta ei myydä useammalle eri toimijalle samanaikaiseen käyttöön (Energiavi-rasto, 2025a). Vaikka tuotteen päällekkäinen myynti saataisiin estettyä, voi eri

markkinatoimijoiden koordinoimattomat säätötoimet aiheuttaa ongelmia toisille osapuolille. Honkapuron ja muiden (2020) mukaan tämä ongelma korostuu erityisesti kantaverkkoyhtiön toimenpiteiden vaikutuksissa paikallisissa jakeluverkoissa. Esimerkiksi aggregaattori on voinut myydä reservimarkkinoille jakeluverkon alueelta suuren määrän joustotehoa sähköjärjestelmän tasapainottamista varten. Kun Fingrid aktivoi nämä reservit, voi aiheutua suuri ja äkillinen kuormituksen muutos jakeluverkon alueella. Kantaverkon näkökulmasta tilanne on hallinnassa, mutta jakeluverkonhaltijalle toimenpide on voinut aiheuttaa pullonkaulatilanteen. Tällaisessa tilanteessa jakeluverkonhaltija saattaa joutua ostamaan joustomarkkinoilta vastakkaissuuntaista joustotehoa korjatakseen kantaverkon toimenpiteen aiheuttaman ongelmatilanteen. Tällainen koordinoimaton jouston käyttö korostaa tarvetta toimijoiden väliseen yhteistyöhön ja tiedonvaihtoon.

2.2 Lainsäädäntö ja viranomaisohjaus

Suomen sähkömarkkinoiden toimintaa ohjaavan Sähkömarkkinalain (588/2013) keskeisenä tavoitteena on varmistaa sähkön loppukäyttäjille korkea toimitusvarmuus, kilpailukykyiset hinnat ja reilut palveluperiaatteet. Tavoitteiden saavuttamiseksi pyritään edistämään tervettä ja taloudellista kilpailua sähkön tuotannosta ja myynnistä sekä sääntelemään jakeluverkkoyhtiöiden toimintaa. Koska kullakin maantieteellisellä alueella voi toimia vain yksi jakeluverkonhaltija, toiminta on tarkasti valvottua ja edellyttää Energiaviraston myöntämää sähköverkkolupaa. Lain mukaan jakeluverkkoyhtiöiden on julkaistava kehittämissuunnitelma kahden vuoden välein.

Energiaviraston (2023a) määräyksen mukaan kehittämissuunnitelmassa pitää tulla ilmi verkon nykytilanne sekä arvioidut verkon kehittämistarpeet tulevan kymmenen vuoden ajalle. Suunnitelman on eriteltävä investoinnit siirtokapasiteetin kasvattamiselle, uuden tuotannon ja kulutuksen liittämiseksi sekä arvioitava ilmastonmuutoksen vaikutuksia verkon toimintaan. Suunnitelmassa jakeluverkonhaltijan on jaettava vastuualueensa kehittämisvyöhykkeisiin eli asemakaava-alueeseen ja asemakaavan ulkopuoliseen alueeseen. Verkonhaltija voi tehdä jaottelun verkon sijainnin, rakenteen tai muiden verkkoon liittyvien ominaisuuksien mukaisesti. Jokainen verkonosa voi kuulua vain yhteen

kehittämisyöhykkeeseen. Jaottelun avulla verkonhaltija suunnittelee vyöhykkeille tarvittavat toimenpiteet toimitusvarmuuden ja laadullisten vaatimusten täyttämiseksi. Sähkömarkkinalain (588/2013) 51 § määrittelee jakeluverkon toimitusvarmuuden laadulliset vaatimukset kehittämisyöhykkeille. Asemakaava-alueella sähkönjakelussa ei saa tapahtua asiakkaille yli 6 tunnin kestävästä keskeytystä. Vastaavasti asemakaava-alueen ulkopuolisen alueen asiakkaille ei saa tapahtua yli 36 tunnin kestävästä keskeytystä. Kehittämissuunnitelmassa on myös otettava huomioon joustopalvelut ja arvioitava niiden mahdollista käyttöä vaihtoehtona siirtokapasiteetin kasvattamiselle (Energiavirasto, 2023a). Sähkömarkkinalain (588/2013) 52 a § edellyttää joustopalveluiden hyödyntämistä vaihtoehtona tavallisille verkkoinvestoinneille seuraavasti:

Jakeluverkonhaltijan on mahdollisuuksien mukaan hyödynnettävä joustopalveluja jakeluverkkonsa käytön ja kehittämisen tehostamiseksi sekä siirtorajoitusten hallitsemiseksi vastuualueellaan tai vastuualueensa rajojen yli tapahtuvissa siirroissa. Jakeluverkonhaltijan on hankittava joustopalvelut avointen, syrjimättömien ja markkinapohjaisten menettelyjen mukaisesti. Joustopalvelujen hankintaehtojen on oltava tasapuolisia ja syrjimättömiä joustopalvelujen tuottajille eikä niissä saa olla perusteettomia tai kilpailua ilmeisesti rajoittavia ehtoja. Joustopalvelujen hankintaehtojen on edistettävä energiatehokkuustoimenpiteiden toteuttamista ja kustannustehokkuutta. Ehdot on julkaistava.

Jakeluverkonhaltijan tulee julkaista riittävät tiedot jouston tarpeesta sekä hankitusta ja aktivoidusta joustokapasiteetin määrästä.

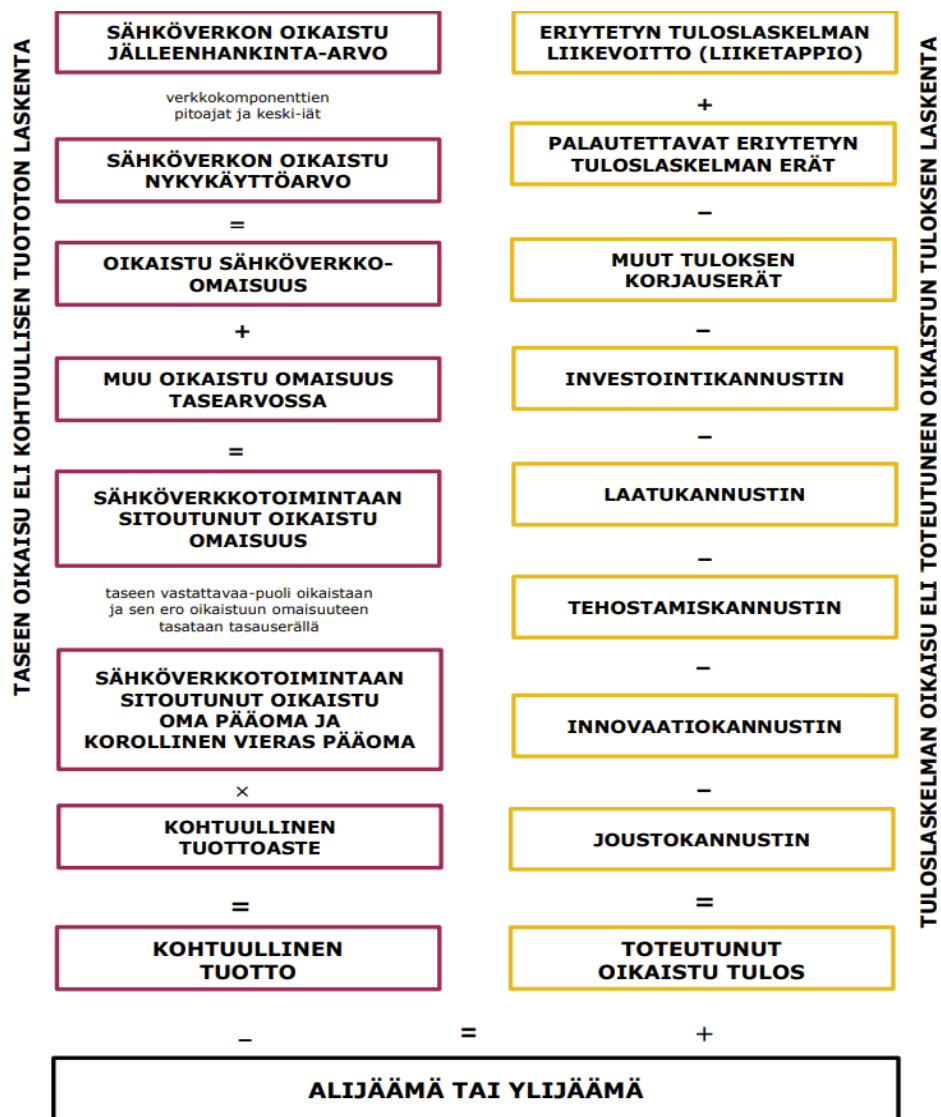
Energiavirasto voi hakemuksesta myöntää jakeluverkonhaltijalle poikkeuksen 1 momentissa tarkoitettua hankintavelvollisuudesta, mikäli joustopalvelujen markkinapohjainen hankinta ei ole taloudellisesti tehokasta, tai jos se johtaisi vakaviin markkinoiden vääristymiin tai lisäisi siirtorajoituksia.

Sähkömarkkinalaki on keskeisessä roolissa joustomarkkinoiden kehityksessä, sillä se luo puitteet niiden toiminnalle ja reilulle kilpailulle. Laki edistää markkinoiden syntyä asettamalla verkonhaltijoille velvoitteita hyödyntää joustoa sekä sääntelee tarkasti niiden roolia joustomarkkinoiden toiminnassa. Sähkömarkkinalain (588/2013) 29 b § esimerkiksi kieltää jakeluverkonhaltijaa itse harjoittamasta energiavarastoliiketoimintaa paitsi lain sallimissa poikkeustilanteissa. Laki kuitenkin sallii energiavarastojen hyödyntämisen jakeluverkon toiminnan kehittämiseksi, mutta energiavarasto täytyy olla toisen

osapuolen omistuksissa. Pykälän tavoitteena on siis varmistaa, että jakeluverkonhaltijat hyödyntävät ensisijaisesti joustomarkkinoilta saatavia ratkaisuja.

Sähkömarkkinalain (588/2013) 65 a § antaa kuluttajalla oikeuden tarjota kulutusjousto sähkömarkkinoille, joko omatoimisesti tai aggregaattorin välityksellä. Tähän liittyen lisättiin vuonna 2025 kuluttajan kuormanohjaukseen liittyvä uudistus 65 b §. Uudistuksen mukaan kuluttajat saavat oikeuttaa haluamansa palveluntarjoajan toteuttamaan kuormanohjausreleeseen kytkettyjen sähkölaitteiden ohjausta. Palveluntarjoajan toteuttamaan kuormanohjaukseen ei tarvita sähkön myyjän, jakeluverkkoyhtiön tai muun markkinaosapuolen lupaa. Lisäys velvoittaa jakeluverkonhaltijan tarjoamaan ohjausta toteutettavalle osapuolelle pääsy asiakkaan mittarin kuormanohjausrajapintaan keskitetyn tiedonvaihtopalvelun kautta sekä mahdollistamaan asiakkaiden kuormien kytkentä kuormanohjausreleeseen. Uudistus tekee kulutusjoustosta kilpailullisen toiminnan, jota jakeluverkonhaltijat pystyvät hyödyntämään verkon tehonhallinnassa ostopalveluna. Vaikka pykälä antaa asiakkaalle vapauden erillisen palveluntarjoajan toteuttamaan kuormanohjaukseen, jakeluverkonhaltijalla on silti oikeus puuttua ohjaukseen häiriö- ja vikatilanteiden sattuessa. Kuormanohjaukseen liittyvien säännösten on tarkoitus tulla voimaan 1.9.2026. Pykälän toteuttamista varten yksityiskohtaisemmat tekniset vaatimukset uuden sukupolven etäluettaville mittareille (engl. Automatic meter reading, AMR 2.0) ja kuormanohjaukselle on määritelty valtioneuvoston mittausasetuksessa 767/2021.

Haakana ja muut (2022) tutkimusraportissaan mainitsevat, miten jakeluverkot toimivat luonnollisina monopoleina, minkä vuoksi Energiavirasto sääntelee niiden toimintaa varmistakseen niiden tehokkuuden, toimitusvarmuuden ja kohtuullisen hinnoittelun. Energiavirasto ohjaa ja valvoo jakeluverkkotoimintaa EU- ja kansallisen lainsäädännön pohjalta asettamallaan määräyksillä sekä kehittämillään valvontamenetelmillä. Nämä valvontamenetelmät määrittävät neljän vuoden mittaisille valvontajaksoille ja ohjaavat jakeluverkkoa investointien suunnittelussa. Kuvassa 3 on esitetty kuudennen ja seitsemännen valvontajakson valvontamenetelmät.



Kuva 3. Valvontamenetelmät vuosille 2024–2027 ja 2028–2031 (Energiavirasto, 2023b).

Energiaviraston (2023b) valvontamallin perusideana on selvittää, onko jakeluverkkoyhtiö tehnyt yli- vai alijäämää vähentämällä toteutuneesta tuloksesta kohtuullinen tuotto. Tuloksen ollessa positiivinen on tehty ylijäämää ja negatiivinen tulos tarkoittaa alijäämää. Tulos ei jää verkkoyhtiön lopulliseksi voitoksi tai tappioksi vaan se siirretään seuraavalle valvontajaksolle tasoitettavaksi. Ylijäämä on palautettava asiakkaille tulevan neljän vuoden aikana esimerkiksi siirtomaksuja alentamalla. Vastaavasti alijäämä voidaan kerätä asiakkaiden siirtohintoja korottamalla. Mikäli ylijäämä on valvontajakson aikana ylittänyt kohtuullisen tuoton vähintään viidellä prosentilla, verkkoyhtiö joutuu maksamaan ylijäämälle korkoa. Mallissa käytetään erilaisia kannustimia, jotka vaikuttavat yhtiön tulokseen

positiivisesti tai negatiivisesti. Uusimpana kannustimena on kehitetty joustokannustin, jonka tarkoituksena on ohjata verkkoyhtiöitä aktiivisesti kehittämään ja hyödyntämään joustoratkaisuja verkon rakentamisen vaihtoehtona. Verkonhaltija voi vähentää joustokannustimen avulla toteutuneesta oikaistusta tuloksestaan joustoratkaisujen käyttöönottoon liittyviä kustannuksia. Hyväksytyjen kustannusten enimmäismäärä kuudennella valvontajaksolla on 1 % verkkoyhtiön liikevaihdosta. Seitsemännellä valvontajaksolla joustoista syntyneet kustannukset voidaan toteuttaa läpilaskutuseränä ja niiden enimmäismäärä on 2 % jakeluverkkoyhtiöin liikevaihdosta.

Energiavirasto on kehittänyt uutta valvontamallia edistämään joustopalveluiden käyttöönottoa, mutta sen rakenne ohjaa jakeluverkkoyhtiöitä ensisijaisesti investoimaan fyysiseen verkkoon. Jakeluverkkoyhtiö on tarkasti säännelty toimija, jonka tavoitteena on toimia taloudellisesti kannattavasti valvontamallin puitteissa. Verkkoyhtiön sallittu kohtuullinen tuotto kasvaa, mitä enemmän pääomaa on investoitu jakeluverkon fyysiseen rakenteeseen. Tehdyt verkkoinvestoinnit myös parantavat verkon toimitusvarmuutta ja kasvattaa kannustimien kautta saatavien bonuksien määrää. Joustopalveluiden ostaminen markkinoilta on jakeluverkoille operatiivinen kulu, eikä suoraan kasvata verkon arvoa. Tästä syntyy ristiriita verkkoinvestointien ja joustopalveluiden ostamisen välille. Uusi joustokannustin auttaa ristiriidan ratkaisussa, mutta sen taloudellinen vaikutus jää pieneksi verrattuna verkon rakentamisesta saatavaan pitkän aikavälin tuottoon. Esimerkiksi tilanteessa, jossa muuntaja on ylikuormittumassa, jakeluverkkoyhtiö voi ratkaista ongelman investoimalla nimellisteholtaan suurempaan muuntajaan. Muuntajan uusiminen on pidemmällä aikavälillä taloudellisesti kannattava ja turvallinen ratkaisu. Vaihtoehtoisesti voidaan ostaa paikallisilta kuluttajilta joustopalveluita pienentämään muuntajan kuormitusta, jolloin muuntajainvestointia ei tarvitse välittömästi toteuttaa. Lyhyellä aikavälillä joustopalvelut ovat kustannustehokkaampi ratkaisu, mutta ne voivat tuntua jakeluverkkoyhtiöille epävarmemmalta ratkaisulta, kuin perinteiset verkkoinvestoinnit. Valvontamallin sisäinen ristiriita hidastaa joustomarkkinoiden ja joustopalveluiden kehittymistä ja käyttöönottoa.

3 Sähköverkon joustomahdollisuudet

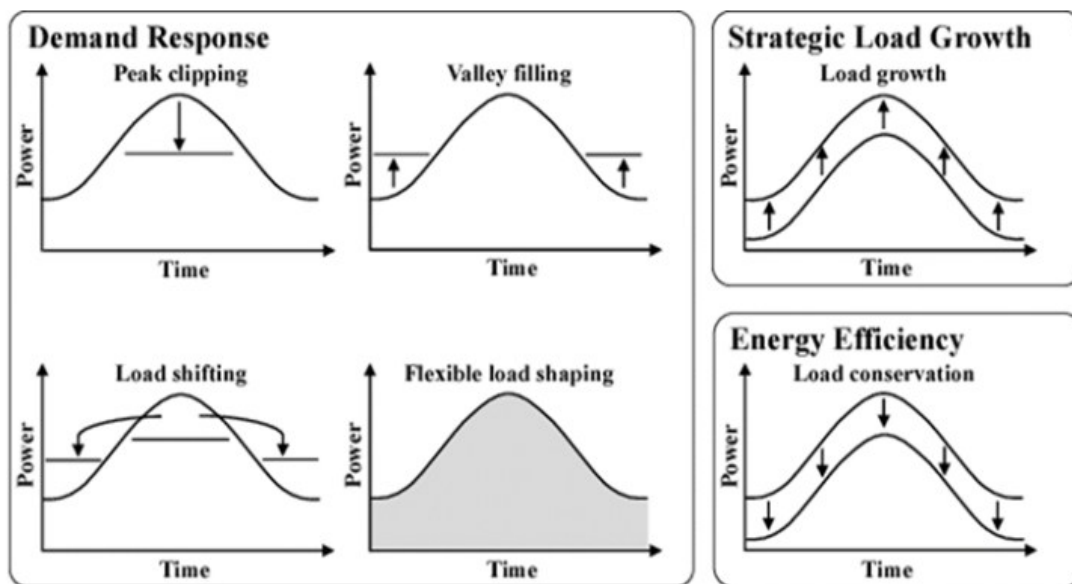
Nordic Energy Research (2021) jaottelee julkaisussaan jakeluverkon joustot implisiittiseen ja eksplisiittiseen joustoon. Implisiittinen eli epäsuora jousto perustuu hintasignaaleihin, jotka kannustavat asiakkaita ajoittamaan kulutustaan markkinoiden hintojen mukaisesti. Implisiittisessä joustossa asiakkaiden kulutuksen muutoksen motiivina on siitä saatava rahallinen säästö, eikä varsinaisen jouston tarjoaminen. Julkaisussa mainitaan, että jakeluverkon lyhyen aikavälin toimitusvarmuuden ja kapasiteetin hallinnan näkökulmasta implisiittinen jousto ei ole riittävän luotettava, koska jouston määrä on täysin riippuvainen kuluttajista ja siitä reagoivatko he hintasignaaleihin. Eksplisiittisessä eli suorassa joustossa asiakas tarjoaa joustoa aktiivisesti verkkoyhtiölle tai muulle markkinatoimijalle korvausta vastaan. Julkaisun mukaan tämä tekee siitä luotettavamman keinon jakeluverkon lyhyen aikavälin tehonhallintaan, koska sen käyttöä voidaan ohjata ja hyödynnettävissä olevan jouston määrä on tiedossa. Jakeluverkkoyhtiöt voivat hankkia eksplisiittistä joustoa esimerkiksi ostamalla sitä suoraan joustomarkkinoilta, hankkimalla joustoa aggregaattorin välityksellä tai toteuttamalla joustojen hankinta yhteistyössä toisen yrityksen kanssa. Yritysten välisestä yhteistyömallista konkreettinen esimerkki on Elenian ja Fortumin akkuhanke, jossa Fortum omistaa akun ja myy sen kapasiteettia palvelumuodossa Elenialle (Alaperä ja muut, 2019). Molemmat näistä joustoista ovat jakeluverkon toiminnan kannalta tärkeitä ja ne täydentävät toisiaan. Eksplisiittinen jousto auttaa lyhyen aikavälin tehopiikkien ja vikatilanteiden hallinnassa. Implisiittinen jousto on suunnattu jakeluverkon pidemmän aikavälin kulutuksen hallintaan. Sen avulla tasoitetaan asiakkaiden kuormitusprofiileja, mikä parantaa verkon kapasiteetin käyttöä sekä vähentää tarvetta tulevaisuuden vahvistusinvestoinneille.

Repo ja muut (2023) jaottelevat joustot vielä käyttötarkoituksen mukaan toimitusvarmuus-, kapasiteetti- ja järjestelmätason joustoon. Toimitusvarmuusjousto takaa sähkönsiirron jatkuvuuden vika- ja kunnossapitotilanteissa. Toimitusvarmuusjoustoina voidaan hyödyntää esimerkiksi mikroverkkoja, joilla on kyvykyys irtautua jakeluverkosta vian yhteydessä ja ylläpitää sähkönsaataavuutta energiavarastojen, pientuotannon sekä varavoimajärjestelmien avulla. Kapasiteettijousto puolestaan keskittyy jakeluverkon olemassa

olevan kapasiteetin tehokkaampaan hyödyntämiseen ilman suuria lisäinvestointeja verk-
korakenteeseen. Kapasiteettijoustoa voidaan toteuttaa esimerkiksi hinnoittelun keinoilla,
kuten tehopohjaisilla siirtotariffeilla ja joustavilla liittymäsopimuksilla tai hyödyntämällä
joustoja paikallisilta joustomarkkinoilta. Järjestelmätason jousto tukee koko sähköjärjes-
telmän tehotasapainoa. Tähän kuuluvat reservimarkkinoilta saatavat reservituotteet, joi-
hin pystyvät osallistumaan myös jakeluverkkotasolle kytkeytyvät joustoressit.

3.1 Kysyntäjousto

Kysyntäjoustolla eli kulutusjoustolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joiden avulla voidaan vä-
hentää, lisätä tai siirtää kulutusta myöhempään ajankohtaan sähköjärjestelmän tarpei-
den mukaisesti (Nordic Energy Research, 2017). Järventaustan ja muiden (2015) raportin
mukaan Suomessa suurimman yksittäisen jouston lähteen muodostavat erilaiset lämmi-
tysjärjestelmät. Lämmityksen lisäksi muita merkittäviä joustoressseja, joita raportissa
mainitaan, ovat suuret sähkönkäyttökohteet, sähköautot, energiavarastot, toimitilojen
ja julkisten rakennusten ilmanvaihto-, jäähdytys- ja valaistusjärjestelmät. Koska monet
näistä resursseista ovat yksittäisinä kohteina teholtaan pieniä ja maantieteellisesti hajal-
laan, niiden hyödyntäminen jakeluverkon joustona edellyttää aggregointia. Kysyntäjous-
toa voidaan hyödyntää jakeluverkossa kuvan 4 esittämiä menetelmiä käyttäen ja näistä
tehoaiippujen leikkausta, laaksojen täyttöö ja kuormansiirtoa voidaan ajatella jakeluver-
kon lyhyen aikavälin tehonhallinnan menetelminä.



Kuva 4. Erilaisia kysyntäjouston menetelmiä (Rinne, 2023).

Kulutushuippujen leikkauksen (engl. Peak clipping or shaving) tavoitteena on pienentää järjestelmän kulutusta tunneilta, jolloin verkon kuormitus on suurimmillaan. Kulutushuippuja voidaan pienentää käyttämällä implisiittisen jouston ja eksplisiittisen jouston keinoja (Nordic Energy Research, 2017). Kuormitushuippujen leikkauksen avulla vältytään pullonkaulatilanteiden muodostumisesta verkkoon ja ennaltaehkäistään verkon komponenttien ylikuormittumista, mikä pidentää niiden käyttöikä.

Kulutushuippujen leikkaamisen vastakohtana on laaksojen täyttö (engl. Valley filling). Menetelmän tavoitteena on lisätä kulutusta niille ajankohdille, jolloin sähkön kulutus verkossa on vähäistä. Toimenpide on hyödyllinen sähköjärjestelmissä, joissa on paljon vaikeasti säädettävää perusvoimaa tai sääriippuvaista energiantuotantoa (Nordic Energy Research, 2017). Yöllä esimerkiksi nämä voimalat voivat tuottaa enemmän sähköä kulutukseen nähden, mikä näkyy alhaisina pörssisähkön hintoina. Tällaisessa tilanteessa asiakas saa taloudellisen kannusteen kulutuksen lisäämiseen. Tyypilliset kuormat, joita kannattaa ohjata tällöin, ovat sähköautot, energiavarastot, lämminvesivaraajat ja sähkölämmitysjärjestelmät (Nordic Energy Research, 2017).

Kuormansiirto (engl. Load shifting) on käytännössä kulutushuippujen leikkauksen ja laaksojen täyttämisen yhdistelmä. Tavoitteena ei ole lisätä tai vähentää kokonaisenergian kulutusta vaan ajallisesti siirtää sitä huippuhotunneilta vähäisen kulutuksen tunneille (Rinne, 2023). Samat joustavat kuormat ja menetelmät pätevät kuormansiirrossa, kuin aikaisemmissa menetelmissä. Kuormansiirron vaikutus näkyy kuormituskäyrän tasoittumisena, joka parantaa verkon käyttöastetta.

Pitkän aikavälin menetelminä voidaan pitää kuorman kasvua (engl. Load growth), energiatehokkuutta (engl. Energy efficiency) ja joustavaa kuorman muotoutumista (engl. flexible load shaping). Kuorman kasvu ja energiatehokkuus eivät ole suoria ohjaustoimia, vaan hitaita sähkön kulutuksen muutoksia, jotka jakeluverkonhaltijan on huomioitava verkon pidemmän aikavälin kehityksessä. Joustava kuorman muotoutuminen on kehittynyt kysyntäjouston muoto, jossa kulutus dynaamisesti mukautuu verkon tarpeiden mukaisesti (Nordic Energy Research, 2017). Tämän jouston toteutuminen edellyttää suuria investointeja jakeluverkon automaatioon, mittausinfrastruktuuriin ja tiedonvaihtoon, joiden toteuttamisessa menee useita vuosia.

3.2 Energiavarastot

Energiavarastot ovat yksi sähköjärjestelmän keskeisimmistä ja monipuolisimmista joustoresursseista. Niiden avulla voidaan varastoida sähköenergiaa myöhempää käyttöä varten, mikä parantaa etenkin uusiutuvan energiantuotannon käyttöastetta. Khajeh (2024) mukaan jakeluverkkotasolla energiavarastoja voidaan käyttää pätö- ja loistehon säätöön, kuormansiirtoon, kulutushuippujen leikkaukseen sekä mikroverkko toiminnallisuuden mahdollistamiseen. Nämä toimenpiteet parantavat verkkoinfrastruktuurin käyttöä, toimitusvarmuutta sekä pienentävät tarvetta kalliimmille verkkoinvestoinneille. Energiavarastot voidaan jakaa niiden varastointiperiaatteiden mukaisesti mekaanisiin-, termisiin- ja sähkökemiallisiin varastoihin (Khajeh, 2024).

Mekaanisessa energianvarastoinnissa sähköenergia muunnetaan potentiaali- tai liikeenergiaksi. Mekaanisia varastoja ovat esimerkiksi pumppuvoimalaitokset ja vauhtipyörät

(Honkapuro ja muut, 2020). Pumppuvoimalaitoksissa sähköenergian varastointi ja purkaus perustuu vesialtaiden korkeuseroon. Vettä pumpataan halvan sähkön aikana alhaalla sijaitsevasta vesialtaasta korkeammalla sijaitsevaan vesialtaaseen ja varastoitu vesi muunnetaan myöhemmin takaisin sähköenergiaksi juoksuttamalla sitä turbiinin lävitse (European Energy Research Alliance, 2016). Vauhtipyörä muuntaa sähköenergian pyörivän kappaleen liike-energiaksi kiihdyttämällä sitä sähkömoottorilla ja varastoitu energia voidaan myöhemmin muuntaa takaisin sähköksi generaattorin välityksellä (Kha-jeh, 2024).

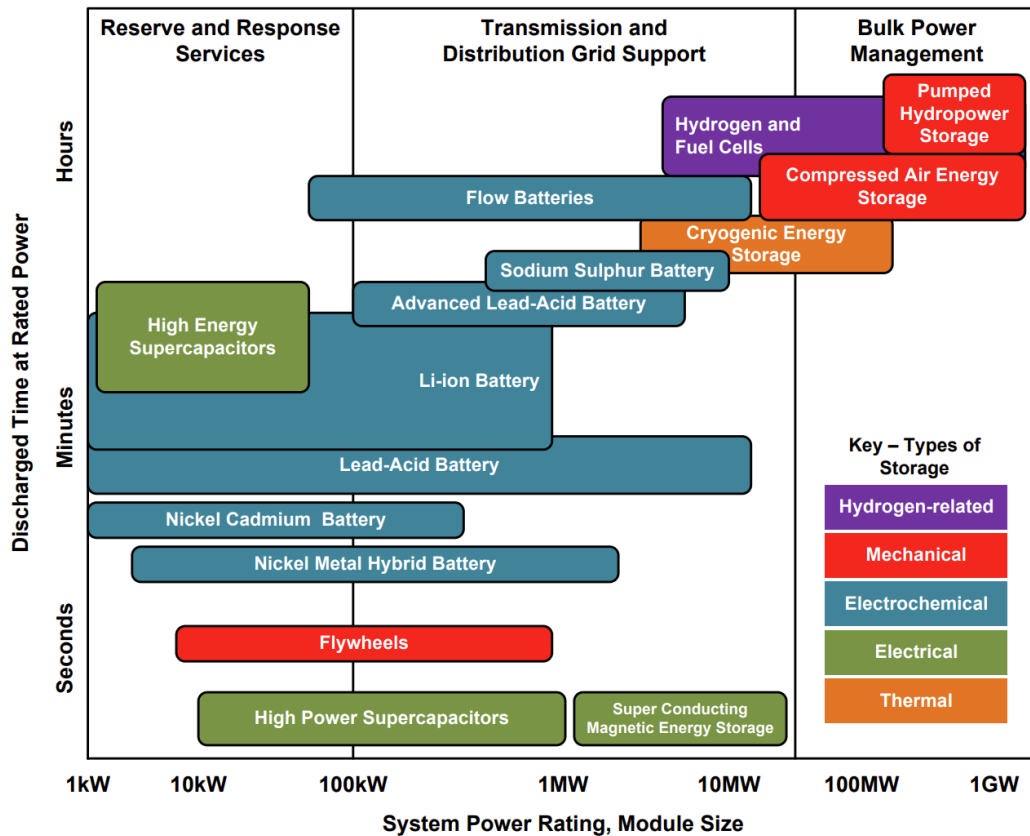
Honkapuron ja muiden (2020) mukaan termisellä varastoinnilla tarkoitetaan sähköenergian muuntamista lämpöenergiaksi ja sen varastoimista. Kotitalouksien tasolla termistä varastointia voidaan toteuttaa lämminvesivaraajilla ja varaavilla sähkölämmitysjärjestelmillä. Suuremmissa mittakaavassa termistä varastointia voidaan toteuttaa kaukolämpö-, kylmä- ja maalämpövarastoiden muodossa. Lämmityksen joustopotentialia tarkastellaan myöhemmin kappaleessa 3.4.

Kolmas sähköenergian varastoinninmuoto on kemiallinen varastointi eli sähköenergia muutetaan kemialliseksi energiaksi. Lempäälän Lämmön (2021) loppuraportissa mainitaan, miten kemiallisiin varastoihin kuuluvat akkuvarastot ja synteettiset polttoaineet. Synteettisen polttoaineen valmistamista sähköenergiasta kutsutaan P2X-tekniologiaksi (engl. Power-to-X, P2X). Raportissa kerrotaan, miten P2X-tekniologian avulla voidaan valmistaa esimerkiksi vetyä vedestä elektrolyysillä, jolloin vety- ja happiatomit erotetaan toisistaan. Kun tässä prosessissa käytetään uusiutuvilla energialähteillä tuotettua sähköä, puhutaan vihreän vedyn valmistuksesta. Prosessissa tuotettu vety voidaan varastoida ja myöhemmin muuntaa takaisin sähköenergiaksi esimerkiksi polttokennolla tai vetykäytöllä polttomoottorivoimalaitoksella, jolloin sähköenergian lisäksi sivutuotteena syntyy vettä. Tuotetusta vedystä voidaan myös valmistaa synteettistä metaania lisäämällä siihen hiilidioksidia ja tätä kutsutaan P2G-menetelmäksi (engl. Power-to-gas, P2G). Synteettistä metaania voidaan hyödyntää sellaisenaan esimerkiksi syöttämällä sitä maakaasuverkkoon tai jatkojalostamalla sitä nesteeksi helpompaa varastointia varten.

Vetyvarastointi soveltuu pitkäaikaiseen energianvarastointiin. Vaikka vety on raportin mukaan keskeinen tulevaisuuden energiavarasto, tällä hetkellä kaupallisesti merkittävämpiä kemiallisia varastoja ovat akkuenergiavarastot.

Akkuenergiavarastot (engl. Battery energy storage system, BESS), kuten lyijy-, litiumioni-, virtaus- ja sulasuola-akut, ovat Lempäälän Lämmön (2021) mukaan nousseet keskeiseen rooliin sähköjärjestelmän joustavuuden lisäämisessä. Akut pystyvät varastoimaan sähköenergiaa kemiallisessa muodossa ja purkamaan sen myöhemmin takaisin sähköksi. Khajeh (2024) väitöskirjassaan kertoo, miten akut toimivat tasasähköllä, joten niiden liittäminen vaihtosähköverkkoon vaatii invertterin. Invertteri muuntaa verkon vaihtosähkön akuille sopivaksi tasasähköksi latauksen aikana ja vastaavasti muuntaa akkujen tasasähkön takaisin vaihtosähköksi purkuvaiheessa. Invertterin rooli ei kuitenkaan rajoitu pelkästään sähkön muuntamiseen. Invertterin ohjauksen avulla akkuvarasto pystyy syöttämään ja ottamaan verkosta pätötehon lisäksi myös loistehoa. Nämä ominaisuudet tekevät akkuenergiavarastoista monipuolisen joustoresurssin, joka sähkön varastoinnin lisäksi mahdollistaa jännitteenhallinnan jakeluverkoissa.

Näiden eri varastointimenetelmien tehokäyttöalueita ja purkausaikoja on havainnollistettu kuvassa 5. Jakeluverkon toiminnan tukemiseen soveltuva tehoalue on tyypillisesti noin 0,01–10 MW, johon sijoittuu kaikki akkuenergiavarastot. Niiden keskeisiä etuja ovat nopea vasteaika, korkea energiatehokkuus, kapasiteetin laajennusmahdollisuus ja sijoittelun joustavuus. Näiden ominaisuuksien vuoksi akkuvarastot ovat tehokas ratkaisu jakeluverkon tehonhallintaan ja toimitusvarmuuden ylläpitoon.



Kuva 5. Energiavarastojen tehoalueet ja purkaustehon kesto (Sprake ja muut, 2017).

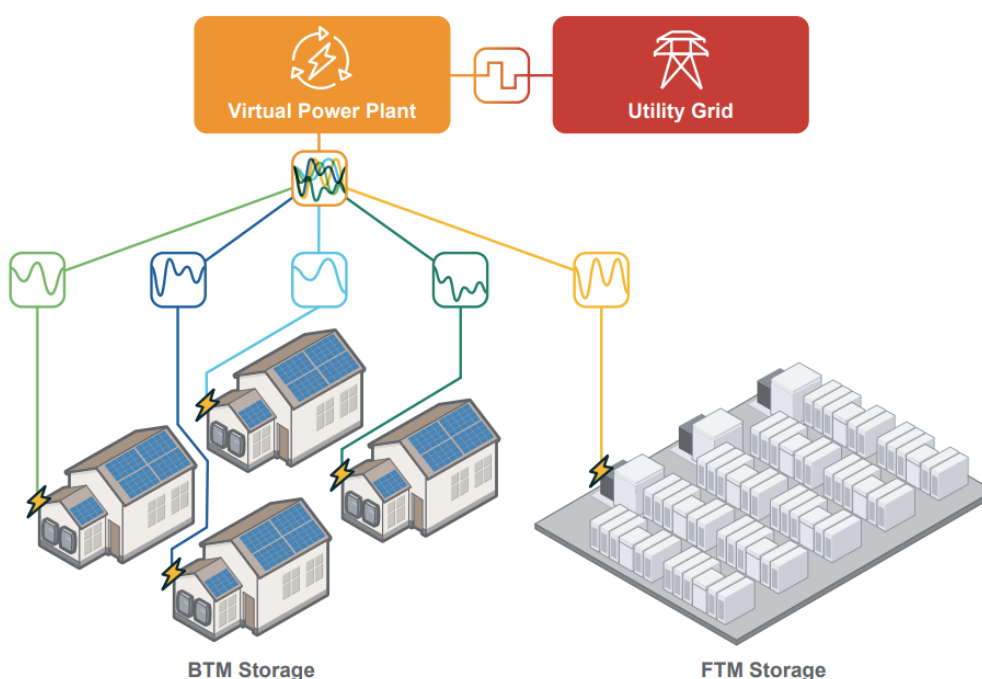
Teknisten ominaisuuksien lisäksi akkuvarastojen taloudellinen kannattavuus on parantunut huomattavasti, mikä on kasvattanut niihin tehtyjen investointien määrää koko sähköjärjestelmän tasolla. Erityisesti litiumioniakkujen hinnat ovat laskeneet voimakkaasti viimeisen vuosikymmenen aikana, kuten kuvasta 6 voidaan huomata. Vuonna 2024 litiumioniakun hinta oli 115 dollaria kilowattitunnilta eli noin 98 euroa. Alentuneiden investointikustannusten ja teknisen kyvykkyyden ansiosta akkuvarastoja voidaan hyödyntää yhä kustannustehokkaammin jakeluverkon kapasiteetti- ja toimitusvarmuusjoustoina sekä koko sähköjärjestelmän joustona.



Kuva 6. Litiumioniakustojen hinnan kehitys vuosilta 2013–2024 (BloombergNEF, 2024).

Akkuvarasto voidaan sijoittaa strategisesti verkon pullonkaulaan, kuten jakelumuuntajan tai kaapelilähdön yhteyteen. Alaperä ja muut (2019) kertovat, miten optimaalisella sijoittelulla saadaan parannettua esimerkiksi yksittäisen haaran toimitusvarmuutta ja siirtokapasiteettia ilman, että jakeluverkon rakennetta tarvitsee merkittävästi muuttaa. Akkuvarastolla voidaan myös hallita kyseisen haaran kulutushuippuja ja näin tasapainottaa verkon kuormitusta. Ongelmatilanteessa voidaan kyseinen haara myös tiputtaa pois verkosta, jolloin se toimii väliaikaisesti saarekkeena ja turvaa sähkön saatavuuden asiakkaille viankorjauksen aikana. Jakeluverkoille akkuenergiavarastojen taloudellinen arvo muodostuu sähkökatkojen määrän ja keston vähentymisen kautta saaduista säästöistä sekä akkuvaraston liittämistä verkkoon saatavista liittymismaksuista. Akkuvaraston optimaalisella sijoittelulla voidaan onnistua kokonaan korvaamaan verkon vahvistusinvestointien tarve, mikä toimii kolmantena taloudellisena kannustimena. Koska jakeluverkonhaltijat eivät lainsäädännön puitteissa saa itse omistaa energiavarastoja, niiden hyödyntäminen edellyttää ulkopuolista palveluntarjoajaa, jolta jakeluverkkoyhtiö ostaa käyttöoikeutta akkuvarastoon. Esimerkkinä tämän tyyppisestä toteutusmallista on Elenian ja Fortumin akkuhanke, jossa akkuvarasto on sijoitettu Elenian omistamaan keskijänniteverkkoon. Fortum ensisijaisesti tarjoaa akkua reservimarkkinoille, mutta vian sattuessa KJ-verkossa, hyödynnetään akkua kyseisen KJ-verkon haaran asiakkaiden sähkön saatavuuden varmistamiseen (Alaperä ja muut, 2019).

Edellä kuvattua Elenian ja Fortumin yhteistyömallin kaltaista akkuvarastoa, joka on liitetty suoraan jakeluverkkoon, kutsutaan FTM-akkuvarastoksi (engl. Front of the Meter, FMT). FTM-akkuvarastot ovat tyypillisesti kapasiteetiltaan suuria ja keskitettyjä järjestelmiä, joita käytetään verkon toimitusvarmuuden ja siirtokapasiteetin parantamiseen (NREL, 2021). FTM-varastojen lisäksi on olemassa pienempiä hajautettuja BTM-akkuvarastoja (engl. Behind the meter, BTM), jotka ovat sijoitettu asiakkaan kiinteistön sähkömittarin taakse. Kuva 7 havainnollistaa näiden kahden varastomallin eroa.



Kuva 7. FTM- ja BTM-akkuvarastojen käytännön ero (NREL, 2021).

BTM-varastot ovat yleensä kytketty osaksi kiinteistön pientuotantoa, mikä parantaa asiakkaiden sähkön omavaraisuutta (NREL, 2021). Kiinteistön akkuvarastoa ladataan aurinkovoimalan ylituotannon aikana ja puretaan kalliiden sähkön hintojen aikana. Varastosta purettua sähköenergiaa voidaan käyttää esimerkiksi asiakkaan sähköauton lataamiseen, kiinteistön lämmitykseen tai varavoimana sähkökatkon aikana. Omavaraisuuden kasvun myötä tarve jakeluverkosta siirretylle sähkölle pienenee ja samalla vähenee tarve syöttää ylituotantoa jakeluverkkoon (NREL, 2021). Yleensä BTM-varastot ovat yksittäisinä kohteina teholtaan liian pieniä, jotta jakeluverkot voisivat hyödyntää niitä sellaisinaan

tehokapasiteetin hallinnassa. Aggregaattorin toimesta näitä BTM-varastoja sekä muita kuormia voidaan yhdistää muodostaen virtuaalivoimalan (engl. Virtual power plant, VPP), jonka joustopotentiaalia voidaan tarjota jakeluverkoille joustopalveluiden muodossa (NREL, 2021).

3.3 Sähköautot

Taulukossa 2 on esitetty Suomen rekisterissä olevat ajoneuvot eri vuosien lopussa. Täyssähköautojen ja ladattavien hybridien määrät ovat kasvaneet huomattavasti vuodesta 2020 vuoteen 2024. Täyssähköautojen määrä on kasvanut yli kymmenkertaiseksi ja ladattavien hybridien määrä on melkein nelinkertaistunut tällä aikavälillä. Mäkinen (2022) mainitsee diplomityössään, miten Suomen valtioneuvosto asetti sähköautojen uudeksi tavoitemääräksi 700 000 kappaletta vuoteen 2030 mennessä aikaisemman 250 000 kappalemäärän tilalle. Yhteensä sähköautoja oli vuonna 2024 noin 294 000 kappaletta, joten sähköautokannan tulisi kasvaa yli kaksinkertaisesti muutaman vuoden sisällä, jotta tavoite saavutettaisiin.

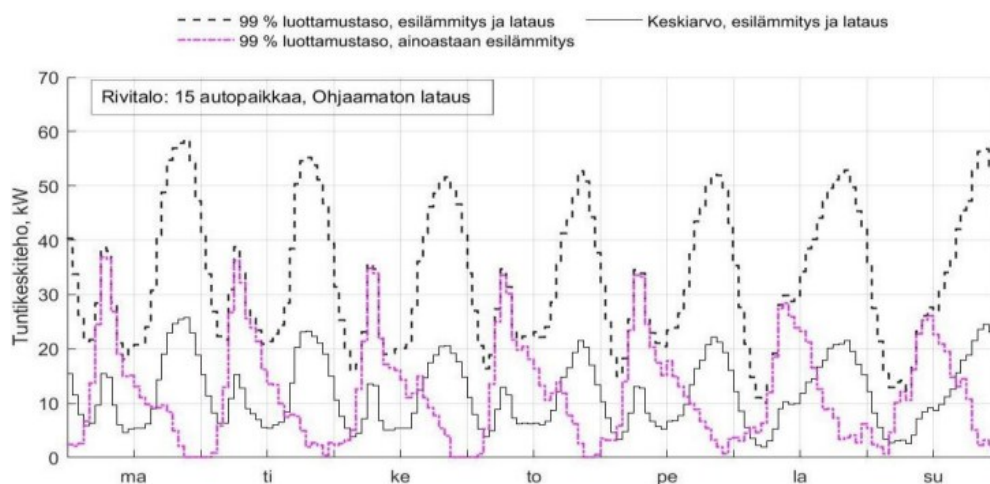
Taulukko 2. Suomen rekisterissä olevat ajoneuvot (Tilastokeskus, 2025a).

	2000	2010 ¹⁾	2020 ¹⁾	2024 ¹⁾
Henkilöautot	2 134 728	2 877 484	3 632 851	3 782 427
- tuhatta asukasta kohti	412	535	656	671
- täyssähköautot ²⁾	4	34	9 959	121 539
- ladattavat hybridit ²⁾	46 538	172 487
Pakettiautot	239 095	347 258	502 047	540 659
Kuorma-autot	65 223	117 150	166 760	180 176
Linja-autot	9 852	13 650	19 282	19 859
Erikoisautot	16 924	12 646	10 759	9 917
Kaikki autot	2 465 822	3 368 188	4 331 699	4 533 038
Moottoripyörät	90 877	226 877	283 214	300 382
Mopot	102 545	259 889	353 243	370 805
Traktorit	332 584	376 807	466 551	513 625
Moottorikelkat ²⁾	90 511	121 976	163 318	180 741
Kaikki ajoneuvot	3 697 037	5 331 582	6 926 137	7 337 934

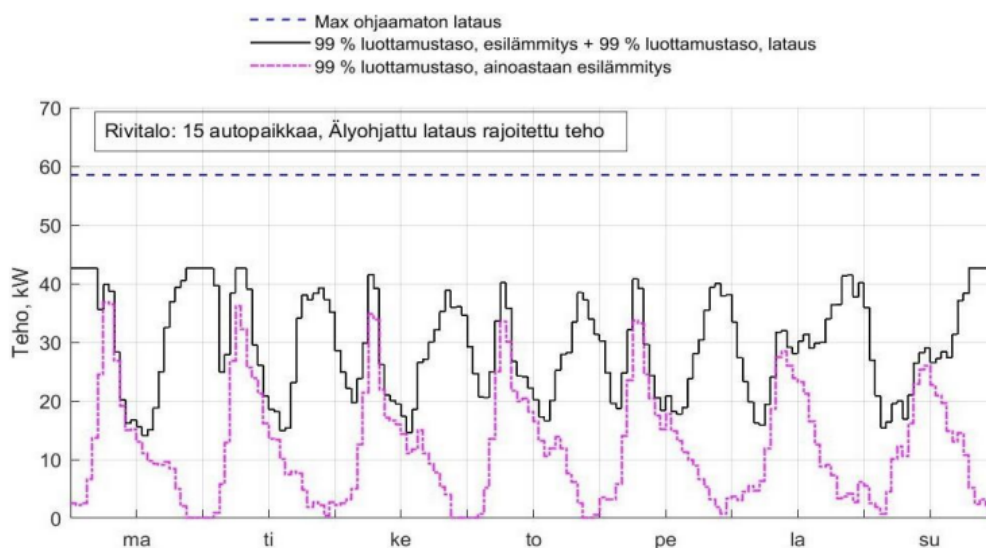
Sähköautot ja niiden lataustapahtumat lisäävät jakeluverkkojen kokonaiskuormitusta. Hallitsematon kuorman kasvu voi johtaa pullonkaulatilanteisiin, jotka lisäävät kriittisten komponenttien ylikuormittumisen riskiä ja voi paikallisesti heikentää verkon jännitteen laatua. Mäkisen (2022) diplomityössä tarkasteltiin sähköajoneuvojen latauksen vaikutuksia Seiverkot Oy:n PJ-verkkoon. Diplomityön keskeinen havainto oli, että kaikissa tarkastelluissa muuntopiireissä jakelumuuntajan kuormitettavuus muodostui yhteiseksi rajoittavaksi tekijäksi. Tämä korostui erityisesti 315 kVA:n ja tätä pienemmissä muuntajissa. Vaikka pienemmillä 3,0 kW ja 3,7 kW lataustehoilla samanaikainen lataus oli laajalti mahdollista, suuremmilla 7,55 kW ja 11 kW tehoilla samanaikaisesti ladattavien autojen määrä oli huomattavasti pienempi valituissa muuntopiireissä. Verkon kuormitettavuuteen vaikutti lataustehon lisäksi myös verkon ikä, alueen asumistyyppi sekä kiinteistöjen lämmitysmuoto.

Sähköautojen joustopotentialia on ensisijaisesti hyödynnetty älylatauksen avulla, jolloin lataustapahtumaa optimoidaan automaattisesti perustuen esimerkiksi pörssisähkön hintaan (Haakana ja muut, 2021). Käytännössä tämä tarkoittaa, että lataus siirretään iltapäivän kalliilta huipputunneilta yöaikaan, jolloin verkon kokonaiskuormitus on pienempi ja sähkö edullisempaa. Haakana ja muut (2021) tuovat esille tutkimusraportissaan, miten älylataus itsessään luo riskin synkronoitujen kuormituspiikkien syntymiselle, mutta riskin haittavaikutuksia pienentää yöajan vähäinen verkon kuormitus.

Älylatauksesta saatavat hyödyt ovat suuremmat verrattuna täysin ohjaamattomaan lataukseen. Ohjaamattomassa latauksessa auto kytketään lataukseen heti kotiin saavuttaessa, mikä pahentaa jo olemassa olevaa alkuillan kulutushuippua, joka on verkon kannalta kaikkein haitallisin tilanne (Nordic Energy Research, 2017). Kuvat 8 ja 9 havainnollistavat älykkään ja ohjaamattoman latauksen vaikutuksia rivitalon latauspisteiden huiputehoihin -20 °C ulkolämpötilassa (Tikka ja muut, 2021). Kuvassa 8 näkee, miten ohjaamattomassa latauksessa sähköautojen lataus aiheuttaa selkeän tehohuipun, kun kuvassa 9 älylataus optimoi lataustapahtumia, jonka takia kuormitus on tasaisempaa. Kun tilannetta skaalataan koko jakeluverkon alueelle, ohjaamattomasta latauksesta muodostavat tehohuiput voivat johtaa ylikuormitustilanteisiin ja täten verkon vahvistusinvestointien toteuttamiseen. Verkon kuormituksen hallitsemiseksi ja investointien välttämiseksi onkin keskeistä kannustaa asiakkaita hyödyntämään älykkäitä latausratkaisuja ja aktiivista kuormanohjausta.



Kuva 8. Ohjaamattoman latauksen muodostama tehuippu (Tikka ja muut, 2021).



Kuva 9. Älylatauksen muodostama tehuippu (Tikka ja muut, 2021).

Kaksisuuntainen lataus (engl. Vehicle-to-Grid, V2G) on älykästä latausta edistyneempi sähköauton jouston muoto. V2G-tekniikka mahdollistaa sähköautojen älykkään lataamisen lisäksi myös niiden akkuihin varastoituneen energian syöttämisen takaisin sähköverkkoon (Mojumder ja muut, 2022). Tällöin sähköautot toimivat hajautettuina energia-varastoina, joita voidaan hyödyntää samalla tavalla jakeluverkkojen kapasiteetti- ja toimitusvarmuusjoustoina, kuin kiinteistöjen BTM-akkuvarastoja. V2G-tekniikan avulla jakeluverkot voivat tasapainottaa verkon kuormitusta ja estää pullonkaulojen

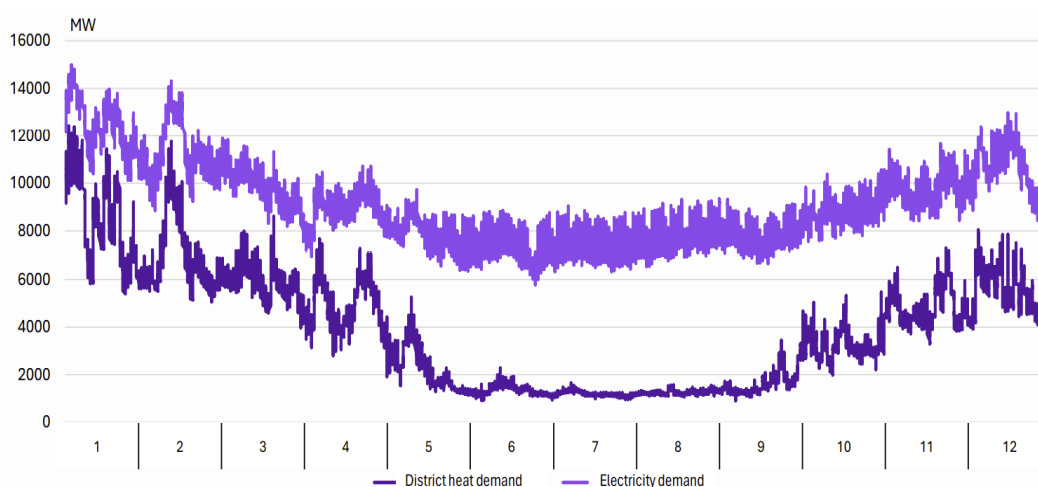
muodostumista verkkoon. Sähköautoja voidaan myös hyödyntää pätö- ja loistehon hallinnassa ohjaamalla invertterin toimintaa, jolloin niitä voidaan käyttää useissa verkon tukipalveluissa (Mojumder ja muut, 2022). Sähköautoja voidaan myös käyttää kiinteistön varavoiman lähteenä (engl. Vehicle-to-Home, V2H) esimerkiksi sähkökatkon aikana (Honkapuro ja muut, 2020).

Vaikka V2G-tekniikan tarjoama joustopotentialiaali on suuri sen laajamittaista käyttöönottoa hidastavat tietyt tekniset ja taloudelliset haasteet. Yksi keskeinen hidaste on V2G:tä tukevien standardien hidas käyttöönotto. Esimerkiksi ISO 15118, joka määrittelee edellytykset V2G toiminnallisuudelle ei ole vielä laajamittaisesti käytössä (Go-E, 2025). Standardien hidas implementointi on yksi syy siihen, miksi V2G yhteensopivia latauspisteitä ja sähköautoja on markkinoilla vielä vähän (Go-E, 2025). Kuluttajien näkökulmasta V2G-tekniikan käyttöönottoa hidastavat taloudelliset haasteet. Keskeinen huolenaihe on, miten akun jatkuva lataaminen ja purkaminen palveluntarjoajan toimesta vaikuttavat sen käyttöikänsä ja kattaako toiminnasta saatu taloudellinen hyöty nopeutuneesta kulumisesta aiheutuvia kustannuksia (Nordic Energy Research, 2017). Näiden tekijöiden vuoksi joustopalveluihin liittyviä liiketoimintamalleja V2G:n osalta ei ole markkinoille vielä vakiintunut, mutta pilotointeja on toteutettu. Näiden haasteiden ratkaiseminen vaatii selkeämpää lainsäädäntöä sekä liiketoimintamalleja, jotka palvelevat kaikkia osapuolia V2G-tekniikan käyttöönotossa.

3.4 Lämmitys

Suomessa lämmitys on yksi suurimmista verkon kuormitettavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Kovilla pakkasilla lämmityksen tarve on suurimmillaan, mikä johtaa sähkön kulutushuippujen muodostumiseen jakeluverkoissa (Järventausta ja muut, 2015). Lämpiminä vuodenaikoina vastaavaa lämmitystarvetta ei ole, jolloin sähkön kokonaiskulutus ja verkon kuormitettavuus ovat pienemmät. Kuva 10 havainnollistaa, miten kaukolämmön tarve ajoittuu samoihin ajankohtiin kuin sähkön kulutuksen huipputehot. Vaikka kuvassa esitetään kaukolämmön riippuvuutta sähkön kulutukseen, sama ilmiö koskee muitakin lämmityksen muotoja. Vuonna 2024 suurin sähkön kulutushuippu ajoittui tammikuulle

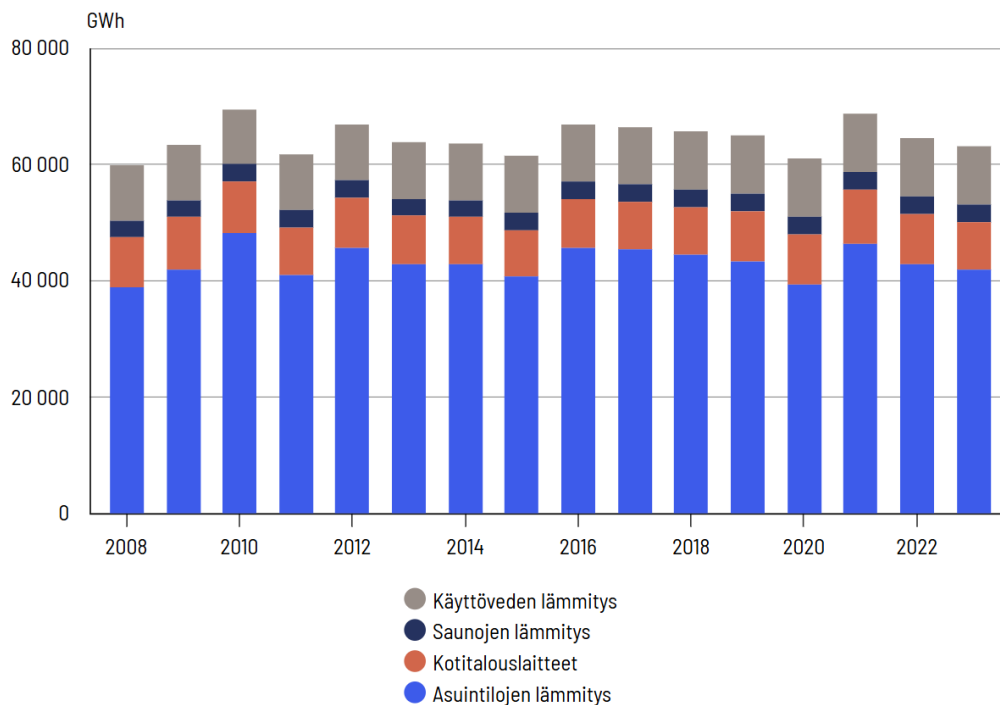
ja oli suuruudeltaan noin 15 000 MW, kun vastaavasti kesällä huipputehot olivat suurimmillaan 9 000 MW ja pienimmillään vain 6 000 MW. Jakeluverkkoyhtiöille lämmityksen kausiriippuvaisuus tekee haasteelliseksi verkon optimaalisen mitoittamisen ja tehonhallinnan (Haapaniemi ja muut, 2021). Verkko täytyy rakentaa kestämään talviajan huipputehot, jotta toimitusvarmuus ja laadulliset vaatimukset saadaan täytettyä. Ongelmallista tässä on, että kesällä verkon siirtokapasiteetti jää suurimmaksi osaksi hyödyntämättä. Verkon suunnittelun ja rakentamisen kannalta liiallinen ylimitoitus verkon siirtokapasiteetille ei ole tehokasta eikä taloudellisesti kannattavaa (Haapaniemi ja muut, 2021).



Kuva 10. Kaukolämmön ja sähkön kulutuksen huippukuormitukset vuonna 2024 (Energiateollisuus, 2025).

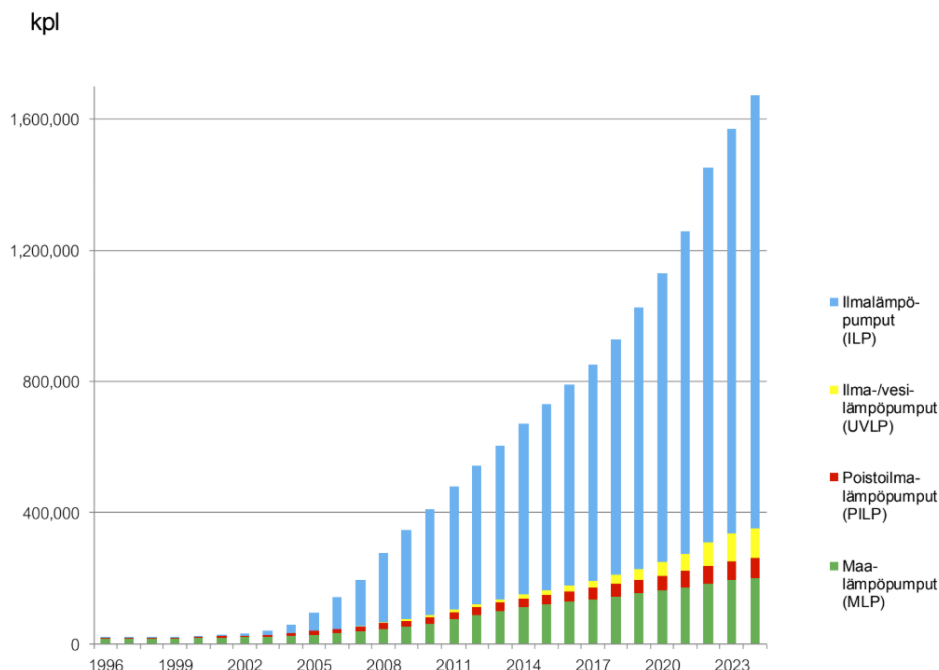
Asumisen energiankulutuksesta suurin osa käytetään kiinteistön lämmitykseen, kuten kuvasta 11 nähdään. Tilastokeskuksen (2024) tietojen mukaan Suomessa vuoden 2023 asumisen kokonaisenergian kulutus oli yhteensä 63 TWh. Kokonaisenergian kulutuksesta 42 TWh käytettiin asuintilojen lämmitykseen, 10 TWh käyttöveden lämmitykseen, 8 TWh kotitalouslaitteisiin ja 3 TWh saunojen lämmitykseen. Koko asumisen energiankulutuksesta 35 % (22 TWh) katettiin sähköllä, mukaan lukien lämpöpumppujen kuluttama sähköenergia. Erityisesti kiinteistöjen sähköpohjaiset lämmitysjärjestelmät tarjoavat suuren kysyntäjoustopotentialin, jota jakeluverkot voivat hyödyntää kapasiteettijoustona. Vuonna 2015 Järventausta ja muut (2015) arvioivat pelkästään perinteisten sähkölämmitysten ja lämminvesivaraajien ohjattavaksi joustotehoksi yhteensä noin 3 000 MW.

Näiden perinteisten sähköjärjestelmien lisäksi lämpöpumppujen määrä on kasvanut viimeisen kymmenen vuoden aikana ja lisännyt tarvetta jakeluverkon joustoille entisestään.



Kuva 11. Vuosittainen asumisen energiankulutus käyttökohteittain (Tilastokeskus, 2024).

Kuvassa 12 on esitetty lämpöpumppujen kappalemäärän kehitys Suomessa vuosittain. Sinisellä merkitty osuus kuvaa ilmalämpöpumppujen määrää ja se muodostaa selvästi suurimman osan lämpöpumppujen kokonaismäärästä. Vuonna 2024 asennettiin yhteensä 84 732 kappaletta uusia ilmalämpöpumppuja, joista noin 93 % olivat 0–6 kilowattisia pumppuja (Sulpu, 2024). Järventausta ja muut (2015) arvioivat, että Suomessa oli vuonna 2015 noin 500 000 ilmalämpöpumppua, joiden yhteenlaskettu asennusteho oli 400 MW. Lisäksi niiden lisälämmitysvastusten tehoksi arvioitiin myös toiset 400 MW. Kuvan perusteella vuonna 2024 ilmalämpöpumppujen määrä on kasvanut noin 1,2 miljoonaan kappaleeseen ja voidaan arvioida, että niiden nykyinen tehokapasiteetti voi olla kaksinkertainen vuonna 2015 tehtyyn arvioon.



Kuva 12. Lämpöpumppujen kappalemäärän kehitys vuosittain Suomessa (Sulpu, 2024).

Kiinteistöjen ohella myös kaukolämmön tuotanto sähköistyy sähkökattiloiden muodossa. Energiategollisuuden (2025) mukaan sähkökattiloiden energiantuotanto oli vuonna 2024 noin 1 540 GWh, mikä oli lähes kaksinkertainen edellisvuoden määrään verrattuna. Kasvu on ollut hyvinkin nopeaa, sillä vuonna 2021 sähkökattiloilla tuotettiin vain 16 GWh energiaa. Jakeluverkoille sähkökattilat toimivat yhtenä jouston lähteenä. Lempäälän Lämpö (2021) mainitsee, miten sähkökattilat mahdollistavat uusiutuvan energiantuotannon tehokkaamman integroimisen verkon alueelle, kun niillä voidaan tuottaa lämpöenergiaa ylituotannon aikana, mikä pienentää tarvetta siirtää ylijäämä sähköä jakeluverkkoon. Tämän lisäksi sähkökattilaan voidaan kytkeä myös kaukolämpöakku, mikä lämmön tuotannon lisäksi mahdollistaa sen varastoinnin, parantaen järjestelmän joustavuutta entisestään.

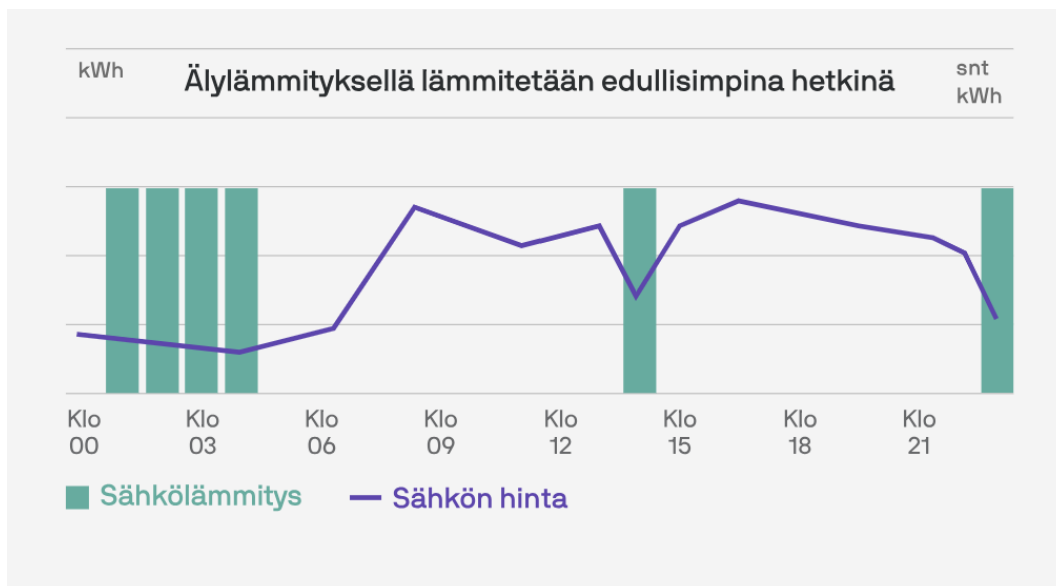
Lämmityksestä saatavan jouston suurin etu jakeluverkoille on sen kyky auttaa talvikausien tehohippujen hallinnassa. Kylmien pakkaspäivien kulutushippujen aikana sähkölämmityksiä voidaan hetkellisesti kytkeä pois päältä, säätää niiden lämmitystehoa tai siirtää käyttöä toiseen ajankohtaan. Lämmityksen tehohipun leikkauksella varmistetaan,

että jakeluverkkoon ei muodostu pullonkaulatilanteita ja tarve verkon ylimitoittamiselle pienenee (Repo ja muut, 2023). Nämä toimet ennaltaehkäisevät verkon komponenttien ylikuormittumista ja pienentävät paikallisten sähkökatkojen riskiä, kun verkon lämmitys-kuormia voidaan aktiivisesti hallita. Haasteena jouston saamisessa on kuluttajien halukkuus tarjota sitä, sillä aktivoitu jousto vaikuttaa heidän asumismukavuuteensa (Repo ja muut, 2023).

Kesäisin lämmityksen sijaan voidaan joustoa saada kiinteistön viilennyslaitteista. Ilmalämpöpumppujen ja ilmastointilaitteiden käyttöä voidaan ohjata vastaavalla tavalla kuin lämmitystäkin. Viilennyksestä saatavan jouston määrä on kuitenkin huomattavasti pienempi verrattuna talven lämmityskuormiin (Nordic Energy Research, 2017). Energiategolisuuden (2025) arvion mukaan viilennyksen kokonaisenergian kulutus Suomessa vuonna 2024 oli noin 402 GWh, josta lämpöpumpuilla tuotettiin 67 %. Vaikka viilennyksen joustopotentiaali ei ole yhtä suuri kuin lämmityksen, täytyy huomioida myös kesän alhaisempi sähkön kulutus ja verkon kuormitettavuus. Tämän vuoksi pienemmälläkin jouston määrällä voi olla suuri merkitys jakeluverkkojen paikallisten pullonkaulojen hallinnassa kesäaikoina.

Lämmitys- ja viilennyslaitteiden ohjausta on myös kehitetty viime vuosina. Aikaisemmin jakeluverkkoyhtiöt ovat toteuttaneet lämmityksen ohjausta pääasiassa yöaikaohjauksella, jossa esimerkiksi lämminvesivaraajien käyttöä on ajoitettu yöaikoihin, jolloin verkon kuormitus ja hinta ovat alhaisemmat. Yöaikaohjaus ei kuitenkaan enää riitä nykyisten tehotarpeiden hallintaan, kun uusiutuvan energiantuotannon vaihtelut ja sähköautojen lataukset aiheuttavat tehopiikkejä pitkin päivää (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2018). Tämän vuoksi on siirrytty jakeluverkkoyhtiöiden toteuttamasta kuormanohjauksesta markkinaehtoiseen ja kilpailtuun palveluntarjoajien toteuttamaan kuormanohjaukseen. Tähän liittyen on olemassa eri palveluntarjoajien toteuttamia älyohjauspalveluita, jotka optimoivat lämmitys- ja viilennysjärjestelmien käyttöä pitkin päivää ja pienentävät näin kuluttajien sähkölaskujen suuruutta sekä parantavat verkon joustavuutta. Kuvassa 13 on esimerkkinä Värean (2025) toteuttama älylämmitys, joka huomioi pörssisähkön hinnan

lisäksi kodin lämmönvarauskyvyn, sään vaikutuksen sisälämpötilaan sekä kuluttajien asumistottumukset hyödyntäen tekoälyä.

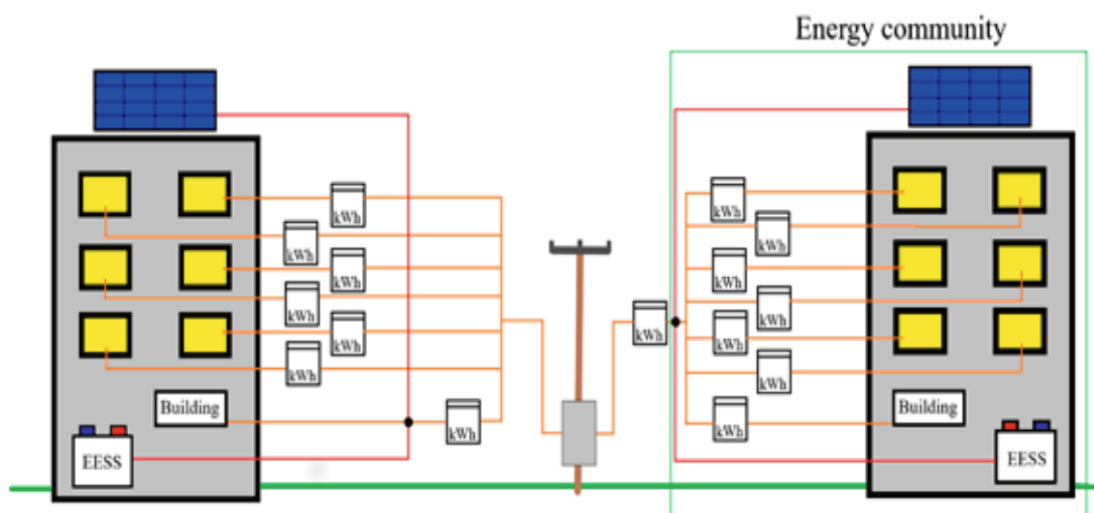


Kuva 13. Lämmityksen älyohjaus (Väre, 2025).

3.5 Energiayhteisöt ja mikroverkot

Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (2021/767) määrittelee paikallisen energiayhteisön oikeushenkilönä, jonka jäseniä voivat olla luonnolliset henkilöt, kunnat tai pienet ja keskiuuret yritykset. Yhteisön tavoitteena on tuottaa jäsenilleen ympäristöllisiä, taloudellisia ja sosiaalisia hyötyjä tarjoamalla monipuolisia energiapalveluja, kuten sähkön tuotantoa, varastointia, kulutuksen ohjausta, aggregointia ja sähköajoneuvojen latauspalveluita. Paikallisten energiayhteisöjen toiminnan edellytyksenä on, että yhteisön jäsenten sähkökäyttöpaikat, tuotantolaitteistot ja energiavarastot sijaitsevat samalla kiinteistöllä tai kiinteistöryhmällä ja ne ovat kytketty jakeluverkkoon yhden yhteisen liittymän kautta. Yhteisön tulee myös rekisteröityä jakeluverkkoyhtiölle ja ilmoitettava kaikki yhteisöön kuuluvat jäsenet. Näiden lisäksi yhteisön jakeluverkonhaltijalle on ilmoitettava periaatteet, joiden mukaan tuotetun energian hyödyt jaetaan jäsenten kesken hyvityslaskennassa.

Energiayhteisöt madaltavat kynnystä investoida energiaressseihin, jotka olisivat yksittäisille toimijoille liian kalliita tai teknisesti mahdottomia (Koskela ja muut, 2023). Kuva 14 havainnollistaa, miten kerrostalon muodostama kiinteistön sisäinen energiayhteisö eroaa normaalista kerrostalosta. Tavallisessa kerrostalossa jokainen huoneisto on oma erillinen sähkökäyttöpaikkansa ja kiinteistön energiaressseja käytetään ainoastaan kerrostalon yleistilojen sähkön kulutukseen. Energiayhteisössä kaikki resurssit ovat yhteisessä käytössä ja ne ovat käyttöpaikkojen lisäksi kytketty jakeluverkkoon yhden liittymän kautta. Tällöin energiayhteisöllä on vain yksi yhteinen siirtosopimus jakeluverkon kanssa (Koskela ja muut, 2023). Koska energiayhteisön pientuotannolla tuotettu sähkö kulutetaan yhteisön sisäisessä verkossa, siitä ei peritä sähköveroä eikä siirtomaksua (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2018).



Kuva 14. Tavallinen kerrostalo verrattuna energiayhteisö kerrostaloon (Koskela, 2024).

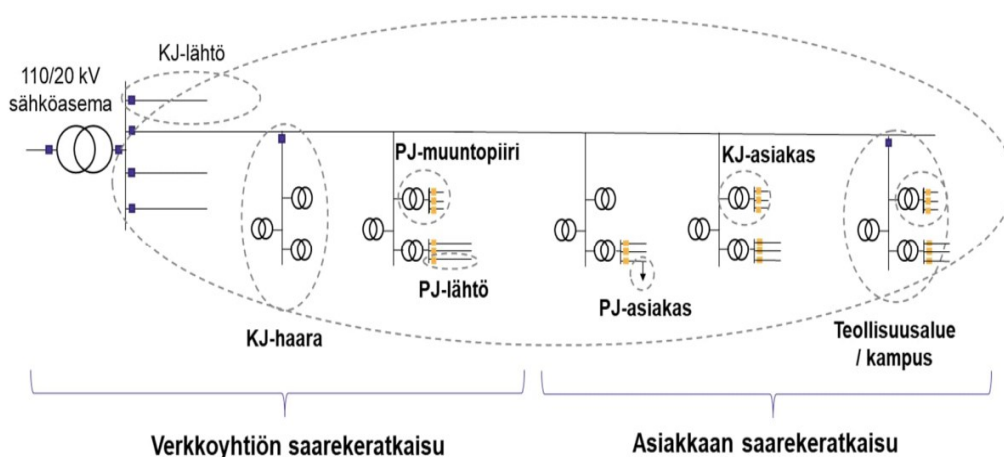
Työ- ja elinkeinoministeriön (2018) loppuraportissa mainitaan myös kiinteistörajojen ylittävät energiayhteisöt sekä hajautetut energiayhteisöt. Hajautetut energiayhteisöt koostuvat maantieteellisesti erillään sijaitsevista jäsenistä, jotka käyttävät jakeluverkkoa yhteisten energiaressseiden sähkön tuotannon siirrossa. Kiinteistörajojen ylittävät energiayhteisöt mahdollistavat esimerkiksi naapuri kiinteistöjen yhteisen investoinnin pientuotantoon. Tällöin tuotanto voidaan sijoittaa kiinteistörajojen ulkopuolelle ja yhdistää kulutuskohteisiin liittymisjohdolla. Sähköverkon rakentaminen kiinteistörajojen yli on

luvanvaraista toimintaa, jota vain jakeluverkkoyhtiöt saavat toteuttaa Energiaviraston myöntämällä sähköverkkoluvalla (Sähkömarkkinalaki 588/2013). Sähkömarkkinalain (588/2013) 13 §:n 2 a kohta kuitenkin sallii pienimuotoisen tuotannon liittämisen kiinteistön tai kiinteistöryhmän verkkoon, mikä periaatteessa mahdollistaa näiden yhteisöjen toiminnan. Näissä yhteisöissä liittymisjohdot eivät saa suoraan yhdistää sähkönkäyttöpaikkoja toisiinsa eivätkä ne saa muodostaa rengasverkkoa jakeluverkon rinnalle (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2018). Mikäli energiayhteisön toiminta laajenee entisestään, se voi edellyttää suljetun jakeluverkon lupaa (Sähkömarkkinalaki 588/2013). Juuri kyseinen sääntelyhaaste tuli vastaan vuonna 2019 valmistuneelle LEMENE-energiayhteisölle, jonka laajamittainen toiminta edellytti suljetun jakeluverkon lupaa, jota Energiavirasto ei hankkeelle myöntänyt vuonna 2021 (Energiavirasto, 2021).

Jakeluverkoille energiayhteisöistä saatavat joustot muodostuvat niiden kahdesta ydinkyykkyydestä eli hajautettujen energiaresurssien aggregoinnista sekä mikroverkko toiminnallisuudesta. Ensisijaisesti energiayhteisön resursseja käytetään jäsenten sähkön omavaraisuuden kasvattamiseen, mikä näkyy jakeluverkossa kokonaiskuormitusta pienentävänä tekijänä. Omavaraisuuden kasvun lisäksi yhteisö voi aggregoida energiaresurssit yhdeksi suureksi virtuaalivoimalaksi, jonka säätökykyä voidaan tarjota paikalliselle jakeluverkkoyhtiölle kapasiteettijoustopa. Virtuaalivoimala voi myös osallistua reservimarkkinoille koko sähköjärjestelmän tehotasapainon hallintaan, mikäli tekniset reunaehdot täyttyvät.

Kapasiteettijoustopa lisäksi energiayhteisön mikroverkkoa voidaan hyödyntää jakeluverkon toimitusvarmuusjoustopa. Energiayhteisöt ovat normaalisti kytkettynä jakeluverkkoon, mutta häiriön tai joustotarpeen aikana voidaan yhteisö irrottaa verkosta omaksi saarekkeeksi (Repo ja muut, 2023). Mikroverkko parantaa paikallisen jakeluverkon toimitusvarmuutta, koska se pienentää asiakkaiden kokemia haittoja vikatilanteiden aikana. Toiminnallisuus edellyttää sähkövarastoa, joka pystyy luomaan tarvittavan jännitteen ja taajuuden mikroverkolle (Lempäälän Lämpö, 2021). Kuva 15 havainnollistaa, kuinka keski-jänniteverkko ja sen haarat voivat muodostaa itsenäisiä saarekkeita. Esimerkiksi

suurjänniteverkon vian sattuessa koko KJ-verkko voidaan siirtää saarekkeeseen, mikä turvaa sähkönjakelun asiakkaille ja pienentää suurjänniteverkon kuormitusta. Vian sattuessakin esimerkiksi teollisuusalueelle johtavaan haaraan, voidaan koko teollisuusalueen haara irrottaa omaksi saarekkeekseen viankorjauksen ajaksi, jolloin alueen asiakkaat välttyvät sähkökatkolta. Useiden tällaisten mikroverkkojen muodostaminen siis tehostaa paikallisen jakeluverkon hallintaa ja turvaa sähkönjakelun mahdollisimman monelle asiakkaalle vikatilanteissa. Mikroverkot toimivat vaihtoehtona tai lisänä tavallisille verkkoinvestoinneille ja niitä voidaan hyödyntää toimitusvarmuuden turvaamisessa verkon kriittisillä tai heikoilla osuuksilla (Repo ja muut, 2023).



Kuva 15. Verkon erilaisia saareke mahdollisuuksia (Repo ja muut, 2023).

3.6 Sähkön hinnoittelu

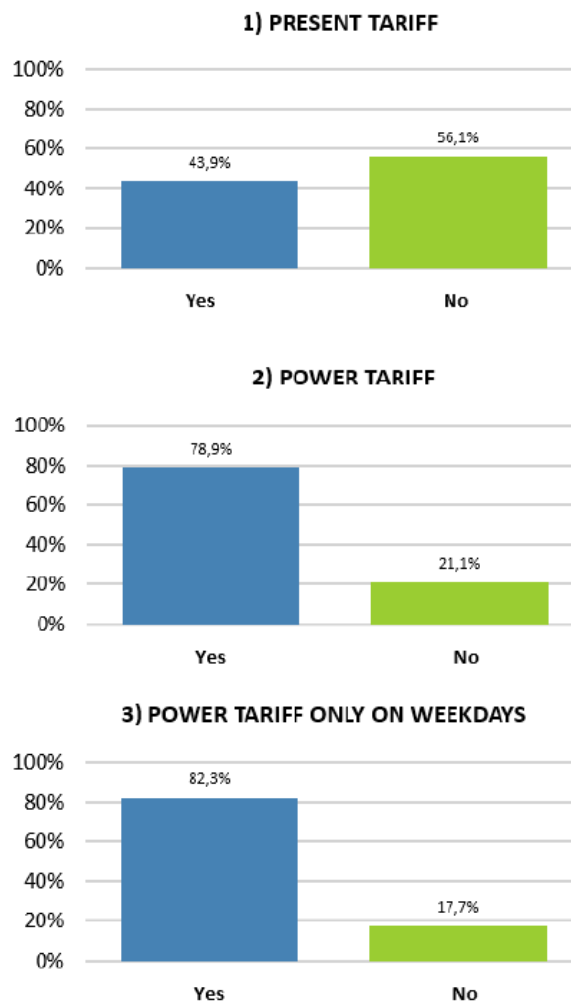
Implisiittinen jousto määriteltiin kuluttajien reagoitina hintasignaaleihin, kuten esimerkiksi pörssisähkön hintaan tai muuhun sähkön hinnoitteluun perustuvaan menetelmään. Haakana ja muut (2024) raportissaan tutkivat pörssisähkön hinnan vaikutusta asiakkaiden sähkön kulutukseen. Asiakkaiden kulutuskäyttäytyminen korostui työssä etenkin vuoden 2024 tammikuun ”Blue Friday” ja vuoden 2023 marraskuun ”Black Friday” skenaariossa. Tammikuun kylmien pakkasten aikoihin sähkön kulutushuippu nousi 15 000 MW:iin. Korkea kulutus näkyi pörssisähkön hinnan nousuna, joka oli korkeimmillaan 2

000 €/MWh. Korkeiden hintojen vuoksi kuluttajat siirsivät vapaaehtoisesti sähkön käytön kalliilta tunneilta halvoille tunneille. Kuluttajien reagointi hintasignaaliin leikkasi kyseisen vuorokauden kulutushuippua noin 1 000 MW:lla, kun sitä verrattiin kahden aikaisemman vuorokauden kulutushuippuihin. Päinvastaisena tilanteena oli vuoden 2023 marraskuussa tapahtunut pörssisähkön hinnoittelussa virhe, jolloin sähkön hinta oli muutamien tuntien ajan lattiahinnassa eli -500 €/MWh. Alhaisen sähkön hinnan vaikutus näkyi Suomessa 1 000 MW:n kulutuksen lisäyksenä. Kyseiset tilanteet havainnollistivat, että kuluttajat kykenevät joustamaan kulutuksestaan molempiin suuntiin, kun taloudellinen kannustin on riittävän suuri ja jousto helposti toteutettavissa. Jouston onnistumiseen näissä tilanteissa vaikutti myös laaja uutisointi ja tiedon levittäminen kuluttajille.

Koska kuluttajat reagoivat suoriin taloudellisiin kannusteisiin, jakeluverkkoyhtiöt pystyvät ohjaamaan heidän kulutustaan siirtotariffien rakenteiden avulla. Tämän vuoksi on kehitetty erilaisia tariffimalleja perinteisen energia- (snt/kWh) ja perusmaksuun (€/kk) pohjautuvaan siirtohinnoittelun lisäksi. Aikaperusteisessa tariffissa siirrettyllä sähköenergialla on eri hinta riippuen vuorokauden- tai vuodenaikasta esimerkiksi päivällä kalliimpi ja yöllä halvempi (Haapaniemi ja muut, 2021). Tariffin tavoitteena on kannustaa asiakkaita siirtämään kulutustaan yöajan edullisille tunneille ja siten pienentää verkon päivän-aikaisia kuormitushuippuja. Vielä tehokkaampi tariffirakenne kulutushuippujen leikkaukseen on tehoerusteinen tariffi. Siinä asiakkaiden siirtohintaan lisätään tehokomponentti (€/kW), jonka suuruus määräytyy esimerkiksi kuukauden suurimman kulutetun tuntitehon tai kolmen suurimman tuntitehon keskiarvon perusteella (Haapaniemi ja muut, 2021). Tehoperusteinen tariffi antaa asiakkaille suoran kannustimen pienentää omia tehohuippujaan ja hajauttaa sähkön kulutustaan tasaisesti vuorokauden eri tunneille.

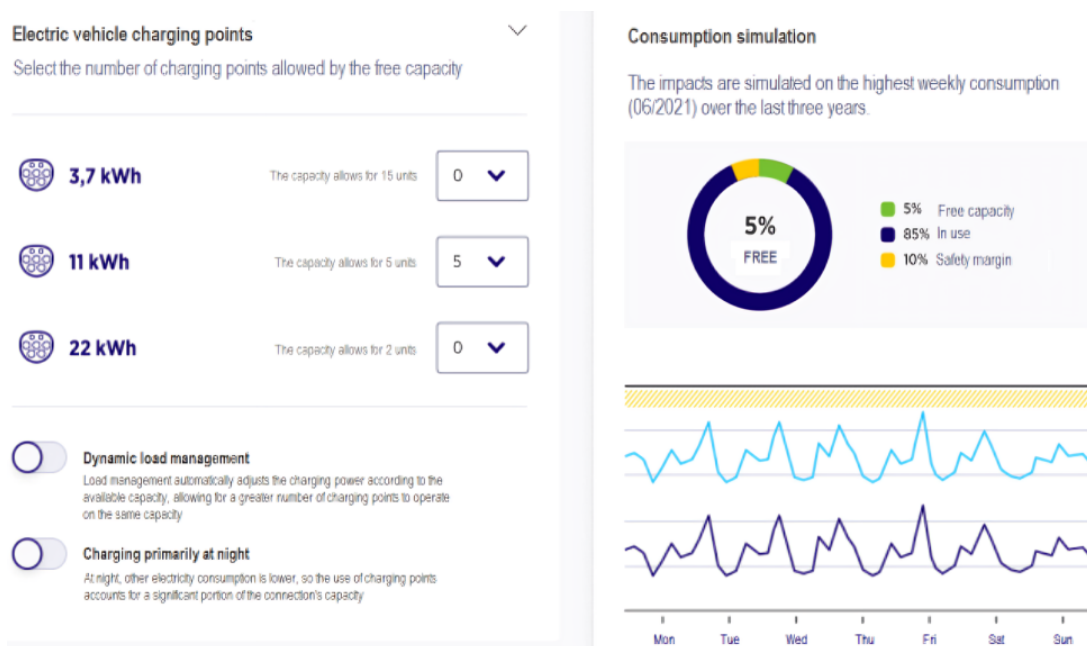
Helen Sähköverkon alueella Raassinan ja muiden (2023) tehdyssä tutkimuksessa tarkasteltiin näiden eri tariffimallien vaikutusta sähköautojen latauskäyttäytymiseen. Tutkimusten tulosten mukaan (Kuva 16) nykyinen perus- ja energiamaksuun perustuva siirtohinnoittelu ei kannusta asiakkaita latauksen ajoittamiseen tai ohjaukseen. Sen sijaan

tariffimalli, johon lisättiin kuukauden suurimpaan tuntitehoon perustuva tehokomponentti, kasvatti asiakkaiden halukkuutta hallita lataustaan. Kaikkein tehokkaimmaksi kannustimeksi osoittautui malli, jossa tehokomponentti oli voimassa vain arkipäivisin, mikä ohjasi siirtämään latausta viikonlopulle. Tutkimuksessa ehdotettiin myös tariffimallia, johon sisältyisi ilmainen tehokäyttöalue (5 kW tai 8 kW), jolloin vain rajan ylittävistä tehosta perittäisiin tehomaksu. Eri malleista huolimatta asiakaskysely osoitti, että aikasähkötariffit saivat eniten kannatusta. Kyselyn mukaan asiakkaat kokivat tehokomponentin vaikeasti ymmärrettäväksi eivätkä olleet varmoja, miten sen avulla voitaisiin pienentää siirtolaskua.



Kuva 16. Asiakkaiden halukkuus ajoittaa lataustapahtumat riippuen siirtosopimuksesta (Raasina ja muut, 2023).

Tehokomponenttiin perustuvien siirtosopimusten käyttöönottoa ja asiakasymmärrystä voitaisiin parantaa tarjoamalla asiakkaille digitaalisia työkaluja, joiden avulla he voivat seurata liittymänsä tehon käyttöä. Ollilan ja Raassinan (2024) julkaisussa on esitetty Helen Sähköverkon kehittämä verkkopalvelu kuvassa 17, joka hyödyntää AMR-mittareiden dataa auttaakseen asiakkaita suunnittelemaan sähköliittymänsä kapasiteetin käyttöä. Palvelussa asiakas näkee graafisesti liittymänsä käytetyn ja vapaana olevan kapasiteetin määrän ja voi simuloida esimerkiksi uusien sähkölaitteiden vaikutusta kapasiteettiin. Palvelun avulla voi myös simuloida eri tehoisten latauspisteiden dynaamisen kuormanohjauksen ja aikaohjauksen vaikutusta. Kuvassa sinisellä merkattu graafi esittää, miten viiden 11 kW:n latauspisteet vaikuttavat liittymän nykyiseen kapasiteettiin. Tällainen palvelu on erityisen hyödyllinen kuluttajille, joilla on tehoerusteisia siirtosopimuksia, sillä sen avulla kuluttajat voivat paremmin suunnitella sähkön käyttöönsä, ettei liiallista tehomaksua muodostuisi.



Kuva 17. Digitaalinen palvelu liittymän kapasiteetin seuraamiseen (Ollila & Raassina, 2024).

Sähkönsiirron hinnoitteluun on tehty lainsäädännöllinen uudistus, jonka tavoitteena on harmonisoida jakeluverkkoyhtiöiden hinnoitteluperiaatteita (Energiavirasto, 2025d). Verkkoyhtiöt ovat toteuttaneet itsenäisesti hinnoittelua, mikä on vaikeuttanut

verkkoyhtiöiden tariffirakenteiden vertailua. Lainsäädäntöön pohjautuen Energiavirasto valmistelee uutta määräystä, jolla pyritään yhtenäistämään verkkoyhtiöiden hinnoitteluperiaatteita ja edistämään tehoperusteisten tariffien laajempaa käyttöönottoa (Energiavirasto, 2025d). Energiavirasto (2025c) julkaisi hinnoitteluun liittyen lokakuussa 2025 ensimmäisen luonnoksensa, mutta se on vasta lausuntokierroksella ja täten määräys ei vielä ole voimassa. Määräyksessä kerrotaan kuitenkin, että enintään 3 x 63 A pääsulakkeellisissa liittymissä tehokomponenttiin sisältyy 5 kW:n maksuton tehoalue, jonka ylitävästä osuudesta peritään tehomaksu. Tehomaksu määräytyy jatkossa kuukauden suurimman mitatun varttitehon perusteella.

Sähkön hinnoittelu on tehokas keino kannustaa kuluttajia osallistumaan kysyntäjousto, mutta sen hyödyntämistä vaikeuttaa sähkön myynti- ja siirtosopimusten välinen ristiriita (Pantsu, 2025). Pörssisähkösopimukset ja palveluntarjoajien optimisointipalvelut ohjaavat asiakkaita keskittämään kulutuksensa pörssisähkön edullisille tunneille, mutta jakeluverkoille syntyy näistä paikallisia tehohippuja, joita pyritään ennaltaehkäisemään tehotariffien avulla. Kuluttaja toimii siis implisiittisen jouston periaatteiden mukaisesti oikein reagoidessaan pörssisähkön hintasignaaliin, mutta samalla tehotariffi antaa vastakaisen signaalin. Ristiriidan vuoksi kuluttajan saama taloudellinen kannustin jää vähäiseksi, mikä aiheuttaa epäselvyyttä siitä, että kumpaan hintasignaaliin tulisi reagoida (Pantsu, 2025). Pahimmassa tapauksessa tämä voi johtaa siihen, että kuluttaja luopuu kysyntäjoudesta, kun saadut taloudelliset hyödyt jäävät epävarmoiksi tai olemattomiksi.

4 Katsaus suomalaisiin ja kansainvälisiin joustohankkeisiin

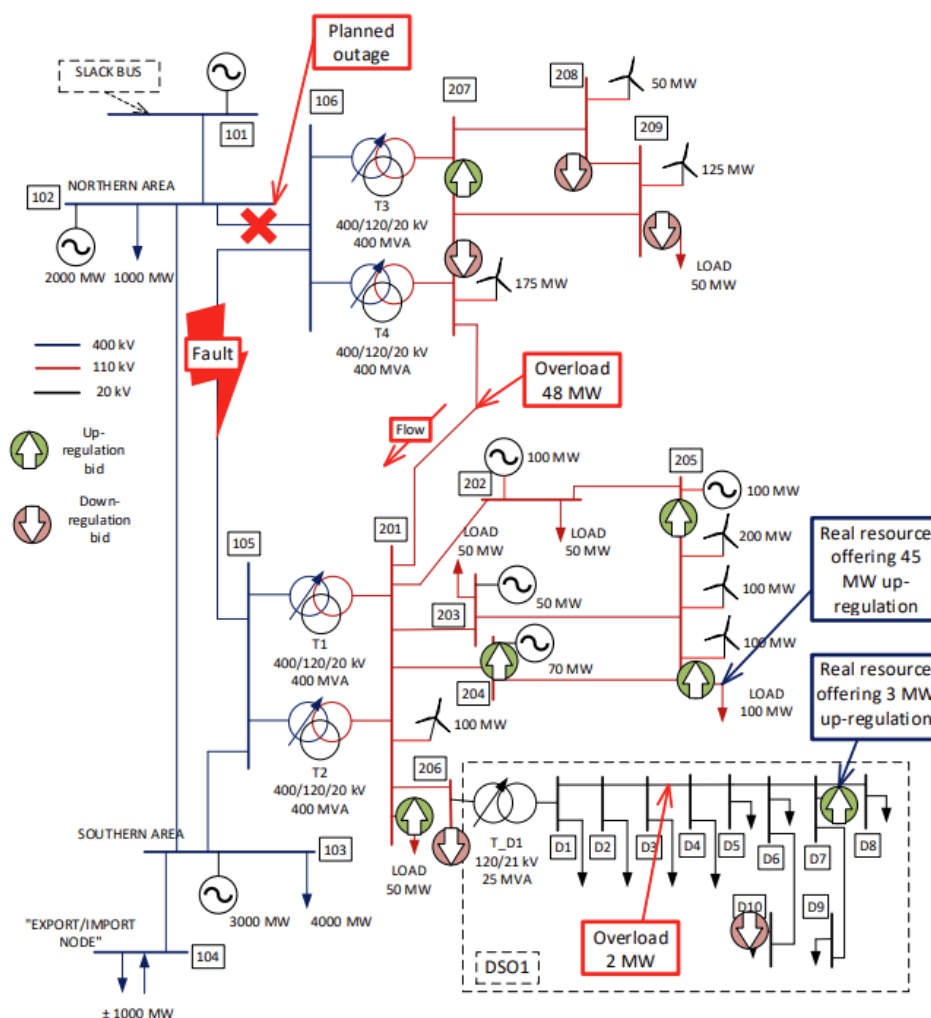
Tässä kappaleessa käydään läpi muutamia suomalaisia ja kansainvälisiä joustohankkeita. Tarkoituksena on antaa konkreettisia esimerkkejä siitä, miten joustopalveluita ja joustomarkkinoita on käytännössä kehitetty ja pilotoitu.

4.1 OneNet

One Network for Europe (OneNet, 2024) oli Euroopan laajuinen tutkimushanke, jonka tavoitteena oli luoda tekniset ja markkinapohjaiset edellytykset yhtenäiselle Euroopan kattavalle joustomarkkinalle. Hankkeessa määriteltiin yhteinen markkinamalli, kehitettiin sille yhtenäinen IT-arkkitehtuuri rajapintoineen ja niiden toimivuutta testattiin maakohtaisissa demonstraatioissa. Käytännössä demonstraatiot toteutettiin simuloimalla realistisia pullonkaulatilanteita hyödyntäen todellisia verkkorakenteita. Demoissa testattiin todellisten joustoresurssien kyvykkyyden lisäksi joustokaupan prosessin kulkua alusta loppuun. Laajamittaisia demonstraatioita toteutettiin neljällä eri maantieteellisellä alueella eli klustereissa ja Suomi kuului pohjoiseen klusteriin.

OneNet (2024) hankkeen pohjoisessa klusterissa näitä periaatteita sovellettiin kehittämällä ja testaamalla alueellista joustomarkkinaa Suomen, Viron, Latvian ja Liettuan kanta- ja jakeluverkkoyhtiöiden välisenä yhteistyönä. Hankkeessa kehitettiin kaksi uutta työkalua joustomarkkinoiden kehitystä varten, jotka olivat joustorekisteri sekä kanta- ja jakeluverkkoyhtiöiden koordinaatioalusta. Joustorekisteri toimi keskitettynä tietovarastona, josta löytyi joustoresurssien ajankohtaisimmat tiedot sekä tekniset ominaisuudet. Rekisterin tavoitteena oli parantaa joustomarkkinoiden läpinäkyvyyttä sekä helpottaa osapuolten välistä tiedonvaihtoa. Koordinaatioalusta vastasi markkinoiden optimoinnista keräämällä verkonhaltijoiden jouston tarpeet ja markkinalle jätetyt joustotarjoukset, minkä pohjalta alustan algoritmi laski kustannustehokkaimman tavan ratkaista verkon pullonkaulat. Algoritmi myös varmisti sen, ettei joustojen aktivointi aiheuta uusia pullonkauloja muualla verkossa.

Kuvassa 18 esitetyllä OneNet (2024) hankkeen verkkomallilla simuloitiin esimerkiksi ti- lannetta, jossa Fingridin kantaverkossa suunniteltu huoltokatko aiheuttaa vikatilanteen, mikä johtaa kahden erillisen pullonkaulan muodostumiseen verkon alueella. Yksi 48 MW ylikuormitus muodostui simulaatiossa Fingridin 110 kV kantaverkkoon. Toinen 2 MW yli- kuormitus muodostui Kymenlaakson Sähköverkon siirtojohdolle. Vika aiheutti pullon- kaulojen lisäksi myös 5 MW:n epätasapainon verkossa. Pullonkaulojen ratkaisemista var- ten molemmat verkkoyhtiöt ilmoittivat yhteisen joustotarpeensa alustalle.



Kuva 18. Suomen verkossa simuloitu pullonkaulatilanne (OneNet, 2024).

Taulukossa 3 on esitetty OneNet (2024) hankkeesta Fingridin ja Kymenlaakson Sähköver- kon simulaatiosta joustopalveluntarjoajien tekemät tarjoukset sekä mitkä tarjoukset

algoritmi valitsi pullonkaulojen ratkaisua varten. Joustojen aktivoinnin myötä verkon pullonkaulat saatiin ratkaistua, mutta verkkoon jäi vielä 9 MW:n tehopoikkeama. Poikkeama kuitenkin pysyi verkkoyhtiöiden ostotarjouksessa määritetyllä ± 15 MW:n tehoalueella, joka järjestelmään sai jäädä pullonkaulojen poiston jälkeen. Samassa demonstraatiossa selvitettiin, miten verkkoyhtiöiden omatoimiset ratkaisut vaikuttaisivat muuhun verkkoon. Pelkästään kantaverkon pullonkaulan ratkaiseminen ei korjannut jakeluverkon alueella olevaa pullonkaulaa. Vastaavasti jos pelkästään jakeluverkon pullonkaula ratkaistaisiin, se kasvatti ja pahensi kantaverkossa olevaa pullonkaulaa samassa suhteessa.

Taulukko 3. Palveluntarjoajien tekemät joustotarjoukset (OneNet, 2024).

System ID	Node ID	Direction	Price offered (€/MWh)	Quantity offered (MW)	Quantity cleared (MW)
FINGRID	207	Upward	200	10	-
FINGRID	201	Upward	195	10	10
FINGRID	204	Upward	180	15	-
KSOY	D7	Upward	100	3	3
FINGRID	205	Upward	98	48	48
FINGRID	207	Upward	35	45	45
KSOY	D10	Downward	25	2	-
FINGRID	208	Downward	50	30	30
FINGRID	206	Downward	60	15	-
FINGRID	209	Downward	70	30	-

4.2 FinFlex

OneNet-hanke osoitti joustomarkkinoiden kyvykkyyttä ratkaista kanta- ja jakeluverkon pullonkaulatilanteita. Suomessa joustomarkkinoiden kehitykseen liittyen, ajankohtaisin hanke on FinFlex, jonka markkinapaikka avattiin kaupankäynnille huhtikuussa 2025 (Nodes, 2025a). Hankkeessa kantaverkkoyhtiö Fingrid ja Helen Sähköverkko Oy pilotoivat yhdessä joustomarkkinoiden toimintaa Nodes (2025b) kaupankäyntialustalla. Pilotoinnin tavoitteena on kerätä käytännön kokemuksia ja dataa markkinan toiminnasta todellisissa siirtohaasteissa sekä luoda pohjaa laajemmalla joustomarkkinalle Suomessa. Pilotoinnissa pyritään löytämään uusia joustoresursseja, jotka eivät välttämättä täytä

reservimarkkinoiden teknisiä vaatimuksia, mutta soveltuvat hyvin jakeluverkon paikallisiin joustotarpeisiin (Nodes, 2025a).

Pilotoinnissa joustojen hankinta perustuu kahteen eri tuotteeseen, eli joustokapasiteettiin sekä joustoenergiaan. Energiaviraston (2025a) vahvistamissa joustojen hankintaehdoissa määritellään, miten siirtojenhallinnan kapasiteettimarkkinoilla verkkoyhtiöt vaaravat etukäteen joustopalveluntarjoajilta tietyn tehokapasiteetin valmiuteen mahdollista joustoa tarvitseville tunneille. Kapasiteettitarjouksen vähimmäiskoko on 0,1 MW ja tarjouksen tulee sisältää taulukossa 4 määritellyt tiedot. Joustopalveluntarjoaja on velvollinen tekemään vastaavan suuruisen energiatarjouksen siirtojenhallinnan energiapilottimarkkinalle, mikäli kapasiteettitarjous hyväksytään. Hyväksytyä kapasiteettitarjousta ei saa myydä kyseiselle ajanjaksolle toiselle markkinaosapuolelle samanaikaiseen käyttöön.

Taulukko 4. Kapasiteettituotteelta vaaditut tiedot (Energiavirasto, 2025a).

Parametri	Selite	Kapasiteettimarkkina
Tarjouksien jättöaika	milloin tarjouksia kapasiteettituotteesta voi jättää	vaihtelee tarpeen mukaan, kuitenkin vähintään 16 tuntia ennen toimitusta
Tarjouskilpailun järjestämisen ajankohta	milloin tarjoukset käsitellään	erikseen tarjouskilpailukohtaisesti ilmoitettu
Tarjouskilpailun toteuttamistapa	tarjousten valintamenetelmä	huutokauppa
Tarjouskilpailun ajanjakso	mille tunneille tarjoukset käsitellään	jokaiselle tunnille erikseen
Sovellettava markkina-aikajakso	ajanjakso, jolle tarjous jätetään	60 minuuttia
Hinta, kapasiteetin varaus	kapasiteettikorvaus	X €/MW, h esim. 123,45 €/MW, h
Hinta, Energiatarjous	energiatarjouksen enimmäisarvo	X €/MWh esim. 123,45 €/MWh
Tarjousvolyymi	markkina-aikajaksolle tarjottavan tehon määrä	X MW esim. 10,1 MW

Energiaviraston (2025a) hankintaehtojen mukaan, verkkoyhtiöt valitsevat kapasiteettitarjoukset verkon joustotarpeen mukaisesti tavoitellen mahdollisimman kustannustehokasta ja toimivaa ratkaisua. Verkkoyhtiön jokaiselle jouston hankinta-alueelle valitaan tarvittava määrä joustokapasiteettia ja valinta tapahtuu pääsääntöisesti hintajärjestyksessä edullisimmasta tarjouksesta alkaen. Tästä voidaan kuitenkin poiketa, mikäli joustonpalveluntarjoaja on asettanut tarjoukselleen jakamattomuusehdon. Tällaisten tarjouksien kanssa verkkoyhtiöiden ei tarvitse valita tarjouksia hintajärjestyksessä vaan voi valita ne tarjoukset, jotka johtavat kustannustehokkaimpaan ratkaisuun. Tarjouksien ollessa ominaisuuksiltaan identtisiä, valitaan kaupankäyntialustalle ensimmäisenä jätetty tarjous. Verkkoyhtiöillä on myös oikeus asettaa tarjouksille kattohinta sekä hylätä tarjoukset, jos hankinta osoittautuisi kokonaisuutena kohtuuttoman kalliiksi.

Varsinainen jouston aktivointi tapahtuu Energiaviraston (2025a) hankintaehtojen mukaan siirtojenhallinnan energiamarkkinalla. Taulukossa 5 on esitetty ne tiedot, jotka energiatuotteelta vaaditaan jätettäessä kaupankäyntialustalle ja tarjouksien vähimmäiskoko on myös 0,1 MW. Ennen vuorokausimarkkinaa järjestettävä huutokauppa on suunnattu Helen Sähköverkon joustoihin ja vuorokausimarkkinan jälkeinen jatkuvan kaupankäynnin malli on suunnattu Fingridin siirtohaasteita varten. Markkinan tasapuolisuuden varmistamiseksi hyväksytyjen kapasiteettituotteiden energiatarjoukset käsitellään yhdessä muiden vapaaehtoisesti jätettyjen energiatarjousten kanssa, jolloin kaikki tarjoukset ovat verkkoyhtiöiden valintaprosessissa yhdenvertaisessa asemassa. Energiatarjousten valintakriteerit ovat samat kuin kapasiteettituotteelle eli verkkoyhtiöt valitsevat tarjoukset eri hankinta-alueille hintajärjestyksessä. Tarjouksien valinnoista voidaan poiketa myös samoilla perusteilla kuin kapasiteettituotteessa.

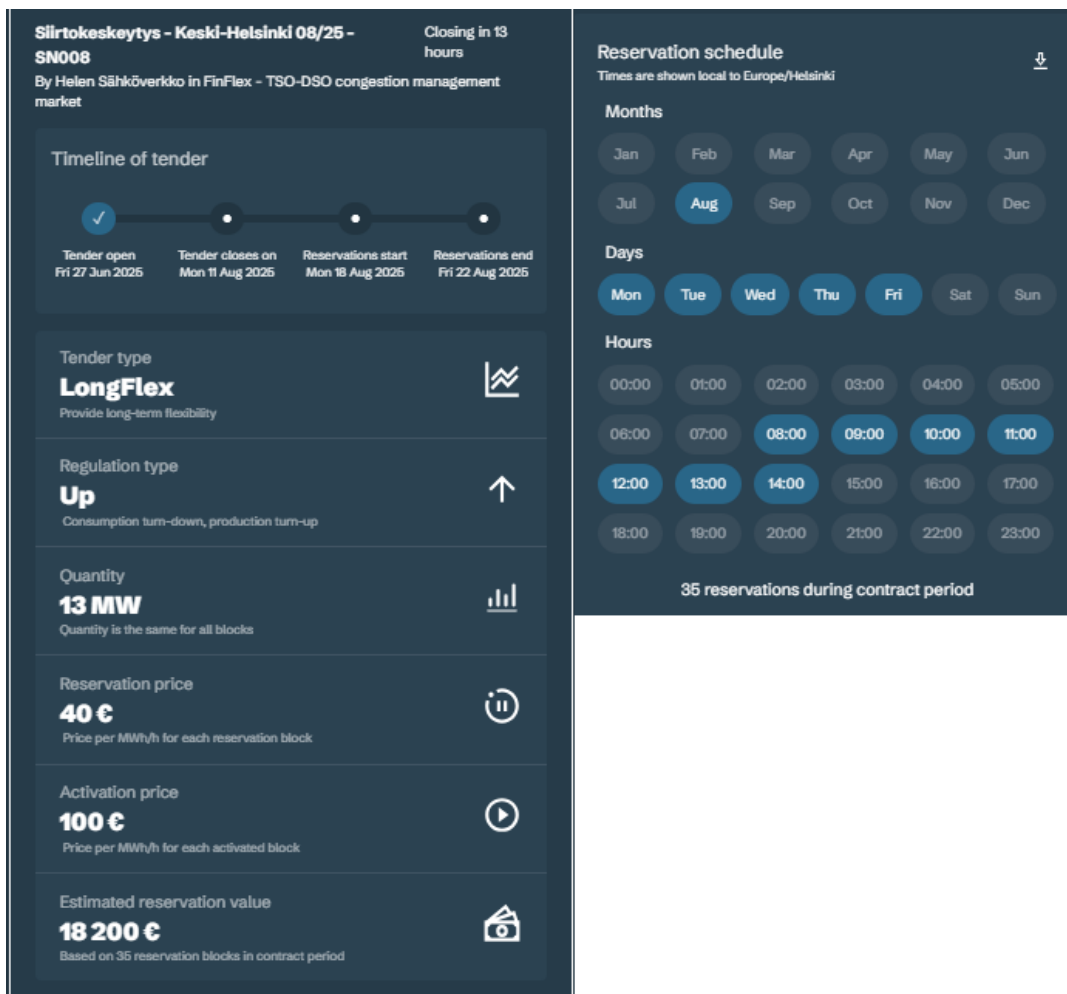
Taulukko 5. Energiatuotteelta vaaditut tiedot (Energiavirasto, 2025a).

Parametri	Selite	Energiamarkkina ennen Vuorokausi- simarkkinaa	Energiamarkkina Vuorokausimark- kinan jälkeen
Tarjouksien jättöaika	milloin tarjouksia voi jättää tietylle tunnille (D=toimituspäivä, T=toimitustunti)	avautuu: D-30 sulkeutuu: D-1 klo 10 (EET/EEEST)	avautuu: D-30 sulkeutuu: T-60 min
Tarjouksilpai- lun järjestämi- sen ajankohta	milloin tarjoukset käsitellään	huutokauppa: D-1 klo 10 (EET/EEEST)	jatkuva kaupan- käynti D-1 klo 15 (EET/EEEST) al- kaen T-60 min asti
Tarjouksilpai- lun ajanjakso	mille tunneille tar- joukset käsitellään	kaikille toimituspäi- vän tunneille	jokaiselle toimitus- tunnille erikseen
Sovellettava markkina-aika- jakso	ajanjakso, jolle tarjous jätetään		60 minuuttia
Tarjousvo- lyymi	markkina-aikajak- solle tarjottavan tehon määrä		X MW esim. 10,1 MW
Aktivoinnin mi- nimivolyymi (valinnainen)	tarjouksilpailussa huomioitava vä- himmäisaktivointi		X MW esim. 1 MW
Hinta	energiamaksu		X €/MWh esim. 123,45 €/MWh
Joustopan- kinta-alue	alue, jolle ener- giaa tarjotaan	kauppapaikalla määritettyjen joustopan hankinta-alueiden mukaiset alueet	
Tarjottavat tunnit	tunnit, joille ener- giaa tarjotaan	esim. 1.1.2025 klo 12.00–13.00	
Tarjouksen voimassaolon päättymisaika	ajankohde, jolloin hyväksymätön tar- jous raukeaa	esim. 1.1.2025 klo 10.00	
Tarjouksen täyttötapa	tarjouksen täyttä- miseen liittyvät mahdolliset ehdot	kauppapaikan määrittämisen mukaan: Nor- maali, Fill or Kill tai Fill and Kill	
Tarjouksen suunta (ylös/alas)	onko kyseessä ylös- vai alassää- tötarjous	ylös- tai alassäättö	

Joustopan toimitukselle ja todentamiselle on asetettu tarkat säännöt sekä sanktiot, jotka on esitetty myös Energiaviraston (2025a) hankintaehdoissa. Ehtojen mukaan hyväksytyt energiatarjoukset mukainen tehonmuutos on toimitettava täydellä teholla koko sovitun aikajakson ajan. Tehon nosto sovittuun säätötehoon ja palautus normaalitilaan on toteutettava tarjouksen aikajakson ulkopuolella. Toimitetun joustoenergian määrä todennetaan vertaamalla joustoressurssin todellista mitattua sähkönkäyttöä tai -tuotantoa tehtyyn kulutus- tai tuotantoennusteeseen. Mikäli joustopalveluntarjoajan toimitettu

joustoenergia jää alle 95 % tarjouksen energiamäärästä, vähennetään energiamaksun suuruutta lineaarisesti. Toimitetun energiamäärän ollessa alle 40 %, ei verkkoyhtiön tarvitse maksaa energiakorvausta. Kapasiteettijousto todennetaan ensisijaisesti vertailemalla hyväksytyjen kapasiteettitarjouksien määrää siihen, onko joustopalveluntarjoaja jättänyt vastaavat energiatarjoukset markkinalle. Tämän lisäksi verkkoyhtiöt voivat tarkastella kapasiteetin saatavuutta myös mittausdatan perusteella. Jos energiatarjouksien määrä ei vastaa 100 % kapasiteettitarjouksien määrästä, vähennetään maksettavaa kapasiteettikorvausta lineaarisesti. Energiatarjousten määrän ollessa alle 50 % hyväksytyistä kapasiteettitarjouksista ei korvausta tarvitse maksaa palveluntarjoajalle.

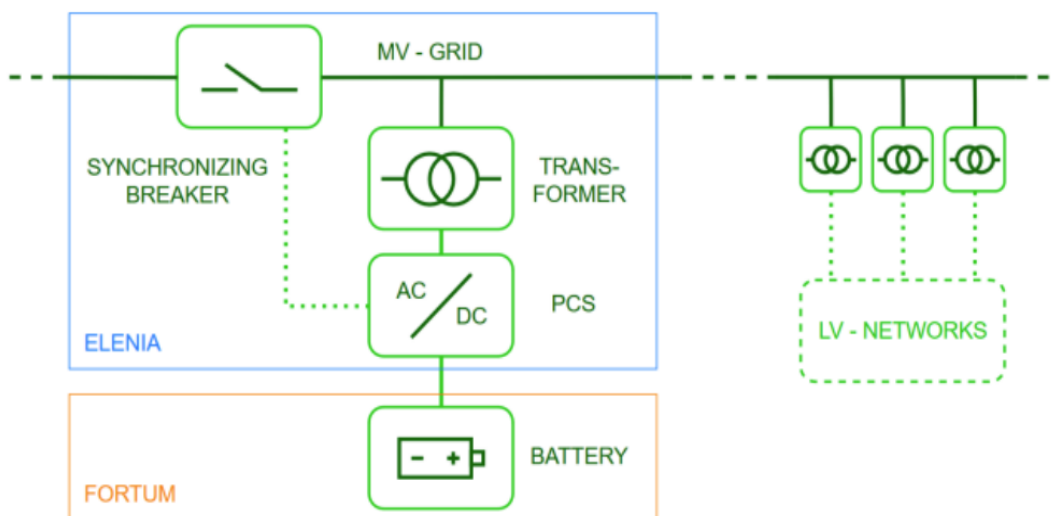
Markkinoille tarjouspyyntöjen jättämistä on havainnollistettu kuvassa 19, missä Helen Sähköverkko on tehnyt kapasiteettitarjouspyynnön yhdeltä Helsingin neljältä hankintalualueelta. Tarjouksessa ilmenevät kaikki keskeiset tiedot, kuten säätösuunta, kapasiteetin määrä sekä erilliset hinnat kapasiteetille ja energialle. Tarjouksessa myös ilmoitetaan selkeästi, mille päiville ja tunneille kapasiteettijoustoa varataan. Diplomityön kirjoitushetkellä alustalla oli hankkeeseen liittyen ainoastaan Helen Sähköverkon tekemiä tarjouspyyntöjä. Tästä huolimatta myös palveluntarjoajat voivat samalla periaatteella muodostaa alustalle omia joustotarjouksiaan, mitä verkkoyhtiöt voivat ostaa tarpeidensa mukaisesti.



Kuva 19. Nodes-kaupankäyntialustalle tehty kapasiteettitarjous (Nodes, 2025b).

4.3 Kurun akkupilotointi

Työssä aikaisemmin mainittiin Elenian ja Fortumin toteuttama Kurun akkupilotointi, jossa akkuvarasto sijoitettiin Elenian omistamaan KJ-verkkoon toimitusvarmuuden parantamiseksi (Kainulainen, 2019). Hankkeen alkuvaiheessa tutkittiin useita yksittäisiä PJ-verkkoja, mutta niistä saatavat keskeytyskustannussäästöt eivät olleet Alaperän ja muiden (2019) mukaan riittäviä kannattavan toimintamallin luomiseksi, vaikka akkua olisi lisäksi myyty reservimarkkinoille. Näiden tekijöiden vuoksi akusto sijoitettiin Elenian KJ-verkkoon vikaherkälle alueelle, jonka historiadata osoitti suuremman potentiaalin säästöille, kun samalla akustolla varmistettiin monien PJ-verkon asiakkaiden sähkön saavuus. Kuvassa 20 on esitetty, miten akusto on kytketty Elenian KJ-verkkoon.



Kuva 20. Akun sijoittelu Elenian keskijänniteverkossa (Alaperä ja muut, 2019).

Hankkeessa Alaperän ja muiden (2019) mukaan Elenia investoi verkon suojaamiseen ja saarekekäyttöön tarvittaviin komponentteihin, kun taas Fortum teki investoinnin varsinaiseen akkuun ja sen liittämiseen verkkoon. Liiketoimintamallissa Fortum tarjoaa Elenialle akkua palveluna, josta Elenia maksaa kiinteän vuosittaisen palvelumaksun. Elenialla on myös mahdollisuus ostaa erikseen reservi-aikaa kiinteällä tuntihinnalla varmistaakseen akun täyden kapasiteetin hyödyntämisen esimerkiksi ennustettujen myrskyjen ajaksi. Kun Elenia ei ole varannut akkua omaan käyttöönsä, Fortum myy sitä Fingridille FCR-N reservinä. Akun jatkuva osallistuminen reservimarkkinoille tarkoittaa, että sen varaustila on riippuvainen sähköverkon taajuudesta. Tästä syystä Fortum ei voi taata Elenialle mitään tiettyä kapasiteettia saarekekäyttöä varten, äkillisen vian ilmetessä jakeluverkossa. Akkuvarastolla voidaan keskimäärin ylläpitää saarekettä noin kolmen tunnin ajan. Saarekekäytön suunnittelussa haasteena oli varmistaa, että akkuvarasto kykeni tuottamaan riittävän suuren oikosulkuvirran, jotta suojalaitteet toimisivat luotettavasti vikatilanteen sattuessa saarekkeen sisällä. Akkuvarastojärjestelmä suunniteltiin toimimaan täysin itsenäisesti ja pystyy vian korjaannuttua kytkemään saarekkeen takaisin osaksi verkkoa ilman erillisiä toimenpiteitä. Keskimäärin akustolla pienennettiin keskeytyskustannusten määrää noin 37 % (Kainulainen, 2019).

4.4 LEMENE-energiayhteisö

Lempäälän Marjamäen teollisuusalueelle toteutettu LEMENE-energiayhteisö on vuonna 2019 käyttöön otettu, itsenäiseen saareketoimintaan kykenevä mikroverkko (Lempäälän Energia, 2021). Lempäälän Energian (2021) mukaan järjestelmän energiantuotanto pohjautuu kahteen 2 MW:n aurinkovoimalakenttään, joiden tuotannon vaihtelua tasapainotetaan kuudella kaasumootorilla, joiden kapasiteetti on 8,1 MW. Energianvarastointia varten yhteisöön on asennettu 4 MW:n sähkövarasto. Näiden lisäksi mikroverkosta löytyy 130 kW:n kiinteäoksidipolttookennot. Lempäälän Lämpö (2021) kertoo, miten yhteisön energiaressurssien käyttöä ohjataan automaattisesti mikroverkko-ohjaimella. Älykkään ohjauksen ja energiaressurssien ansiosta energiayhteisöllä on erittäin korkea toimintusvarmuus ja pystyy osallistumaan reservimarkkinoille järjestelmän tasapainottamiseen sekä kysyntäjoustopuudossa jakeluverkon hallintaan. Kuvassa 21 on esitetty LEMENE-hankkeen järjestelmäkokonaisuus.



Kuva 21. LEMENE-energiayhteisön energiaresurssien muodostama kokonaisuus (Lempäälän Energia, 2021).

Koistisen (2020) mukaan LEMENE-energiayhteisö on teknisiltä ominaisuuksiltaan kaikin puolin toimiva, mutta lainsäädännön vuoksi energiayhteisöä ei olla päästy hyödyntämään alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Hankkeen visiona oli tarjota teollisuusalueen yrityksille suora liittymä mikroverkkoon muodostaen suuren energiayhteisön. Sähkömarkkinalaki (588/2013) ei kuitenkaan mahdollista rinnakkaisten jakeluverkkojen rakentamista paitsi, jos toimijalle myönnetään suljetun jakeluverkon lupa. Suljetun jakeluverkon lupa hylättiin hankkeelta, sillä se ei täyttänyt Sähkömarkkinalain vaatimia edellytyksiä (Energiavirasto, 2021). Lainsäädännön vuoksi teollisuusalueen asiakkaita ei saatu liittää mikroverkkoon ja toiminta on rajoittunut käytännössä tuotantolaitoksen rooliin (Koistinen, 2020).

5 Kuormanohjausrajanpinta joustojen hyödyntämiselle

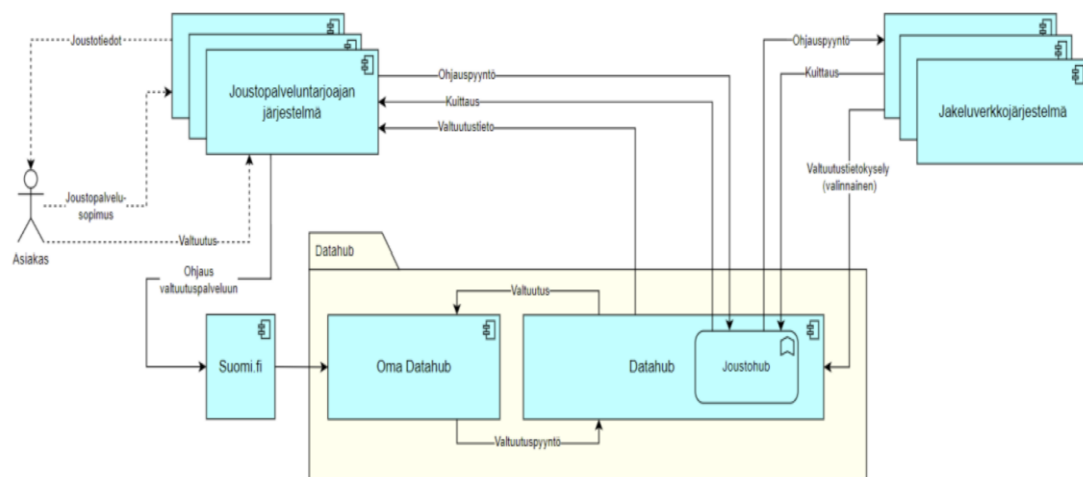
Lainsäädännöllisten muutosten myötä kuluttajien tarjoamasta kysyntäjousta on tullut kilpailtua liiketoimintaa. Toimintamallia varten on suunnitteilla yhtenäinen kuormanohjausrajanpinta, joka toimii teknisenä alustana joustopalveluntarjoajien ja jakeluverkonhaltijoiden välisessä tiedonvaihdossa ja joustojen aktivoinnissa (Vanguard Consulting Oy, 2024).

5.1 Joustohub

Afryn (2024) loppuraportin mukaan Joustohub on yleisnimitys kuormanohjauksen keskitetylle tiedonvaihtopalvelulle. Tämän palvelun tehtävänä on välittää joustopalveluntarjoajien muodostamia kuormanohjaussanomiam luotettavasti ja turvallisesti jakeluverkonhaltijoille toteutettavaksi. Uuden rajapinnan toteutuksessa vertailtiin hajautettua ja keskitettyä toteutusmallia. Hajautetulla mallilla tarkoitetaan markkinaehtoista mallia, jossa useampi toimija pystyisi tarjoamaan omia rajapintapalveluitaan. Mallin etuina nähtiin mahdollisen kilpailun kautta alentuneet palveluhinnat ja uuden monopolin välttäminen. Malliin kuitenkin liittyi riskejä, kuten epävarmuus markkinoiden tarjonnasta, haasteet eri toimijoiden järjestelmien yhteensopivuudessa ja koordinoinnissa sekä aikataululliset haasteet rajapinnan käyttöönotossa. Näiden riskien vuoksi Afryn laatimassa toimialan selvitystyössä suositeltiin keskitettyä mallia, jossa vastuu rajapinnan toteutuksesta, ope-roinnista, ylläpidosta ja kehityksestä on yhdellä toimijalla eli Fingrid Datahub Oy:llä. Tämä varmistaa markkinoiden yhdenmukaisen kehityksen, järjestelmien yhteensopivuuden sekä aikataulullisten tavoitteiden saavuttamisen. Keskitetty malli, joka toteutettaisiin osana Datahubia oli myös kustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto, kuin täysin uuden järjestelmän luominen. Kymmenen vuoden aikavälille integroitu ratkaisu oli arvioltaan noin 1,3 miljoonaa euroa, kun taas uuden erillisen järjestelmän kustannukset olisivat olleet 2,0–3,7 miljoonaa euroa.

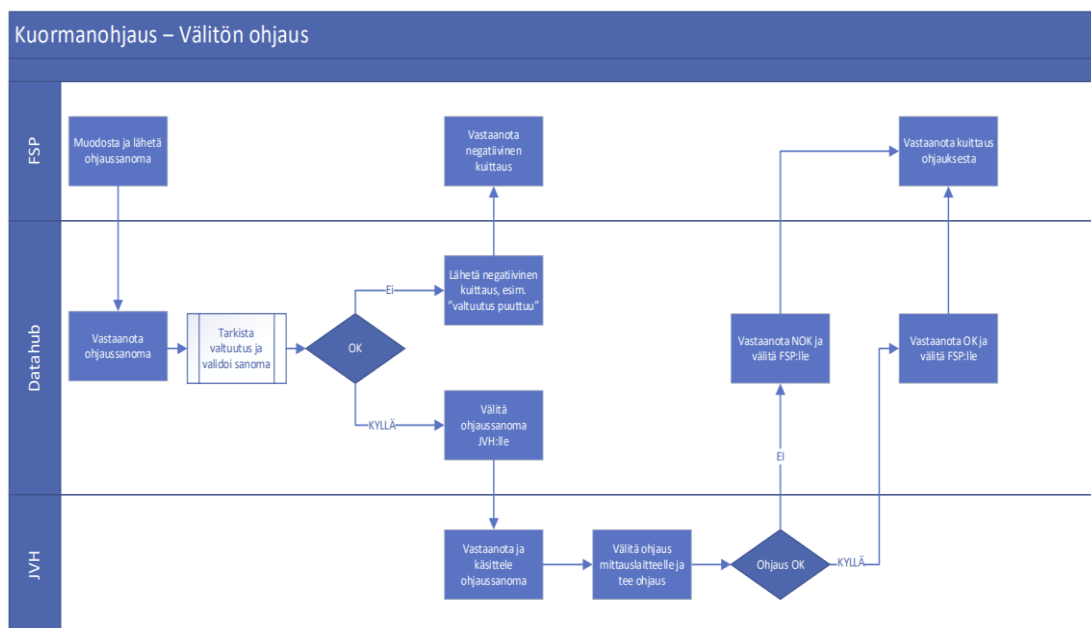
5.2 Toiminnallisuus

Joustopalveluntarjoajan täytyy ensiksi saada asiakkaalta valtuutus kuormanohjaukseen ja ohjattavat kuormat tulee kytkeä asiakkaan sähkömittarin kuormanohjausreleeseen. Afryn (2024) raportissa kuvaillaan kuormanohjausprosessin kulkua. Varsinainen kuormanohjaus alkaa, kun joustopalveluntarjoaja lähettää Joustohubiin kuormanohjaussanoman. Vastaanotettuaan sanoman Joustohub tarkastaa Datahubin rekisteristä, että lähettäjällä on voimassa oleva valtuutus sähkönkäyttöpaikan ohjaukseen ja onko ohjaussanoma täytetty oikein. Mikäli tarkastuksissa ilmenee puutteita, ohjauspyyntö hylätään ja sanoman lähettäjälle toimitetaan virheilmoitus. Hyväksytyt pyynnöt Joustohub reitittää eteenpäin asiakkaan jakeluverkonhaltijan sanomajonoon, josta verkkoyhtiö noutaa käskyn ja välittää sen etämittauslaitteen kuormanohjausreleelle. Mittausasetus määrittelee kuormanohjaussanoman toteuttamiselle enintään kuuden tunnin läpimenoajan sen antamisesta, mutta jakeluverkonhaltijat pyrkivät toteuttamaan ohjaustoimet mahdollisimman nopeasti. Prosessin loputtua jakeluverkonhaltija lähettää kuittauksen ohjauksen onnistumisesta tai epäonnistumisesta takaisin joustopalveluntarjoajalle. Prosessin tiedonsiirtoa on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Kuormanohjausprosessin tiedonvaihto eri järjestelmien välillä (Afry, 2024).

Rajapinnan kautta välitettävät ohjaustoimet Afry (2024) jakaa raportissaan kolmeen eri tyyppiin. Perustason ohjauksena toimii kalenteriohjaus, jossa asiakkaan etämittauslaitteelle on ohjelmoitu toistaiseksi voimassa oleva ohjausaikataulu, jonka pohjalta tietyt ohjaustoiminnot toteutetaan jokaiselle viikonpäivälle. Ajastetussa ohjauksessa asiakkaan kuormanohjausrelettä ohjataan ennalta määritettyjen vuorokauden ohjausjaksojen mukaisesti. Tietyt kuormat voidaan esimerkiksi ohjata päälle/pois pörssisähkön hinnan perusteella. Ajastettu ohjaus korvaa väliaikaisesti kalenteriohjaukseen perustuvat ohjaukset näille sovituille ohjausjaksoille. Viimeisenä ohjaustapana on välitön ohjaus, jossa kuormanohjausreleen tilaa muutetaan heti ilman ennalta määriteltyä ohjausjaksoa. Rajapinnan ensimmäisestä versiosta rajattiin ulos suureeseen perustuva ohjaus, jossa releen tilaa ohjattaisiin mittaussuureen, kuten jännitteen tai taajuuden ennalta määritellyn raja-arvon perusteella. Tämä ohjaus rajattiin ulos sen takia, koska mittausasetuksessa ei ole velvoitettu mittauslaitteelta toiminnallisuutta käyttöpaikkakohtaiselle taajuusmittaukselle. Toiminnallisuus voi olla uusissa AMR 2.0-mittareissa, mutta verkkoyhtiöt eivät sitä ole ottaneet käyttöön. Lisäksi vaadittavaa automaatiota releen ohjaamiselle ei ole määritelty. Huolenaiheena ohjauksessa oli myös releen nopeampi kuluminen ja mahdollinen vikaantuminen, kun nopeiden ja lyhytaikaisten taajuusmuutosten vuoksi releen tilaa jatkuvasti muutettaisiin. Varttimittauksen myötä vuorokaudessa on yhteensä 96 eri ohjausjaksoa, mutta vielä ei ole määritelty sitä, kuinka monta ohjaussanomaa on sallittua toteuttaa vuorokauden aikana yksittäiselle mittauslaitteelle. Näiden ohjaustapojen toiminnallisuutta on havainnollistettu kuvassa 23. Kuvassa esitetty välittömän ohjauksen toiminnallisuus, mutta prosessikaaviot ovat periaatteiltaan vastaavanlaiset kalenteri- ja ajastetulle ohjaukselle.



Kuva 23. Välittömän ohjauksen prosessikaavio (Afry, 2024).

5.3 Osapuolten roolit ja vastuut

Afryn (2024) raportin mukaan jakeluverkkoyhtiöt vastaavat mittausasetuksen mukaisten etämittauslaitteiden ja kuormanohjausreleiden asennuksesta ja ylläpidosta sekä ovat vastuussa käyttöpaikkojen tietojen ylläpidosta Datahubissa. Verkkoyhtiöt vastaavat siitä, että niiden järjestelmät kykenevät vastaanottamaan standardoituja ohjaussanomiamia ja välittämään ne asiakkaiden mittauslaitteille. Näiden lisäksi verkkoyhtiöt ratkaisevat joustopalveluntarjoajan ilmoittamia selvityspyyntöjä liittyen virhe- tai ongelmatilanteisiin sekä informoivat palveluntarjoajaa, mikäli kuormanohjaukseen on täytynyt puuttua. Kuormanohjaus prosessin lopussa jakeluverkonhaltijan tulee lähettää kuittaus toimenpiteen toteutuksesta palveluntarjoajalle. Jakeluverkkoyhtiöiden kuormanohjaukseen tarvittavien järjestelmien kokonaiskustannusten arvioitiin olevan kymmenen vuoden aikavälillä noin 17,8 miljoonaa euroa. Kustannusten määrät vaihtelevat verkkoyhtiöiden kesken, sillä se on suoraan sidoksissa nykyiseen mittausinfrastruktuuriin ja siihen pystytäänkö tarvittavat järjestelmämuutokset toteuttamaan jakeluverkkoyhtiön toimesta. Yleisesti kuormanohjauksen käyttöönotto lisää jakeluverkon operatiivisia kustannuksia, koska

verkkoyhtiön normaalin toiminnan lisäksi joudutaan toteuttamaan ohjaustoimintoja ja ratkomaan rajapinnan vikatilanteita.

Joustopalveluntarjoajan vastuulla Afryn (2024) raportin mukaan on tarjota ohjauspalvelua kuluttajille, tehdä sopimukset asiakkaiden kanssa ja hankkia asiakkailta valtuutus kuormanohjaukseen. Palveluntarjoaja vastaa kuormanohjausprosessin aloituksesta muodostamalla ohjauskäskyt Joustohubiin perustuen haluttuun ohjaustapaan. Näiden lisäksi palveluntarjoaja toimii ensisijaisena asiakaspalvelutahona kaikkiin kuormanohjaukseen liittyvissä asioissa, kuten sopimuksien purkamisesta ja vikatilanteiden selvityksestä jakeluverkonhaltijan ja rajapinnan ylläpitäjän kanssa. Joustopalvelun tarjoaminen on vapaaehtoista ja toiminnan aloittaminen vaatii palveluntarjoajalta investointeja omaan tietojärjestelmiinsä. Joustopalveluntarjoajien kokonaiskustannuksien määräksi arvioitiin kymmenen vuoden aikavälillä noin 4,8 miljoonaa euroa. Verkkoyhtiöiden sekä joustopalveluntarjoajien vastuulla on sertifioida omat tietojärjestelmänsä yhteensopiviksi Joustohubia operoivan tahon vaatimusten mukaisesti.

Asiakkaiden vastuulla Afryn (2024) mukaan on sopimuksen tekeminen valitseman joustopalveluntarjoajan kanssa sekä valtuuden antaminen toteuttaa Datahubin rekisteriin ilmoitetun käyttöpaikan kuormanohjausta. Kuormanohjausta varten asiakkaalla tulee olla voimassa oleva siirtosopimus ja sähkönmyyntisopimus. Asiakas myös varmistaa, että kuormanohjausreleeseen on kytketty ohjattavat kuormat.

5.4 Hyödyt ja haasteet

Kuormanohjausrajan keskeisin hyöty on sen kyky luoda sähkömarkkinoille uutta markkinaehtoista skaalattavaa joustoa (Vanguard Consulting Oy, 2024). Rajapinta ja sen kautta syntyvät palvelumuodot madaltavat kuluttajien kynnystä osallistua joustomarkkinoille, kun se hyödyntää asiakkaiden olemassa olevia AMR 2.0-mittausjärjestelmiä. Viimeisten selvitysten mukaan rajapinnan kautta saatavan valtakunnallisen jouston määrä on noin 540–950 MW riippuen vuodenaikasta (Vanguard Consulting Oy, 2024). Afryn (2024) mukaan haasteena rajapinnan käyttöönotossa on toimijoiden välinen riippuvuus.

Raportissa mainitaan, miten jakeluverkonhaltijat eivät voi toteuttaa omia järjestelmänmuutoksiaan, ennen kuin Joustohubin tekninen määrittely on valmis. Vastaavasti joustopalveluntarjoajat voivat muodostaa lopulliset palvelumallinsa ja tehdä tarvittavat investoinnit, kun rajapinnan tarkat yhteiset menettelyohjeet ovat selvillä. Näiden lisäksi suurin riski liittyy epävarmuuteen asiakkaiden ja ohjauspotentialin todellisesta määrästä, sillä asiakkailla ei ole velvoitteita osallistua kysyntäjousto.

Näiden riskien vuoksi kuormanohjausrajapinnan onnistunut kaupallistaminen edellyttää konkreettisia taloudellisia hyötyjä sähkön loppukäyttäjille, jotta markkinaehtoista joustoa muodostuu. Riittävän asiakasmäärän osallistuminen ja kustannustehokkaat ratkaisut ovat markkinatoimijoiden näkökulmasta ensisijainen edellytys sille, että palveluiden tarjoaminen on taloudellisesti kannattavaa (Vanguard Consulting Oy, 2024). Vanguard Consulting Oy (2024) painottaa, miten taloudellisten hyötyjen lisäksi kaupallistaminen edellyttää selkeitä ja yhteisiä säännöksiä, joissa korostuvat erityisesti tieto- ja kuluttajasuojan tärkeys. Kuormanohjauksen sääntelyn tulisi myös mahdollistaa uusien innovaatioiden ja edistyneempien palvelumallien kehittämisen, jotta järjestelmä säilyttää merkityksensä järjestelmän tarpeiden muuttuessa.

6 Kulutuskäyttäytyminen Seiverkkojen keski- ja pienjänniteverkossa

Tässä osuudessa tarkastellaan Seiverkkojen asiakkaiden kulutuskäyttäytymistä ja pohditaan sähkön hinnoittelun kautta saatavaa kysyntäjouston määrää. Tutkimuksen kohteina ovat Seiverkkojen keski- ja pienjänniteverkkoon liitetyt asiakkaat. Näiden asiakasryhmien kulutuskäyttäytymistä tutkitaan sekä pörssisähkön hinnan, että ulkolämpötilan muutoksien suhteen. Tavoitteena on selvittää, kuinka voimakkaasti ja millä tavalla asiakkaat reagoivat näihin muuttujiin sekä kummalla niistä on suurempi vaikutus asiakkaiden kulutukseen.

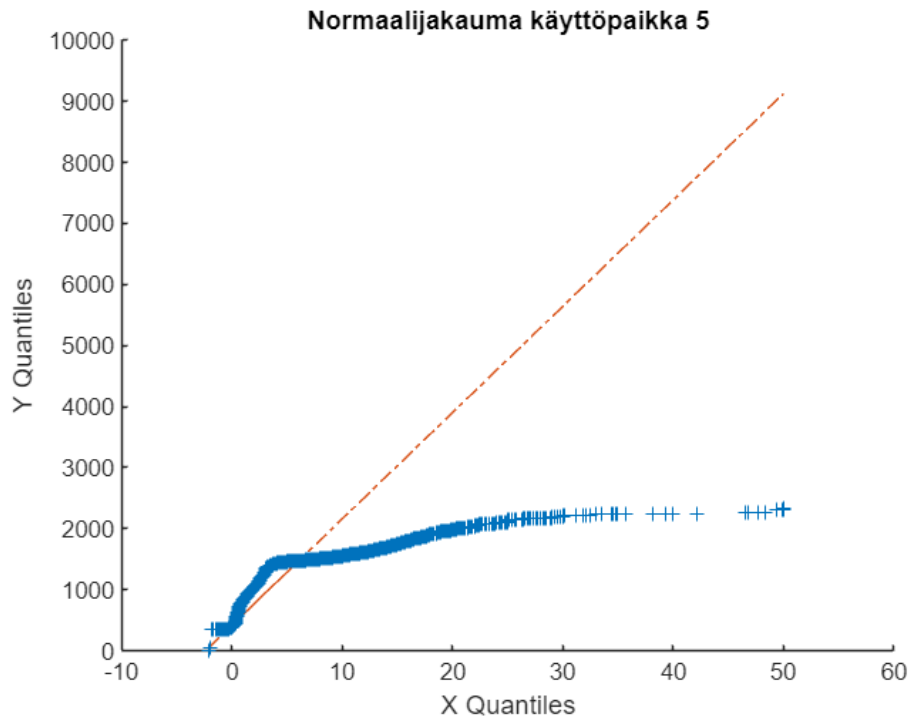
Mikäli pörssisähkön hinnan ja kulutuksen välillä havaitaan negatiivinen korrelaatio eli kulutus kasvaa hinnan laskiessa tai käänteisesti, kertoo se, että asiakkaat reagoivat aktiivisesti pörssisähkön hintasignaaleihin ja kykenevät joustamaan omassa kulutuksessaan. Tällaisissa tapauksissa Seiverkot voi myös hyödyntää sähkönsiirron hinnoittelun keinoja, kuten tehotariffeja kulutuksen ohjaamiseen ja tasaamiseen. Tehokomponentillisia verkkopalvelusopimuksia on käytössä KJ-verkon asiakkailla, mutta valtaosalla PJ-verkon asiakkaista ei vielä näitä sopimuksia ole käytössä.

Jos kulutus korreloi vahvemmin ulkolämpötilan kanssa tai kulutuksen ja pörssisähkön hinnan välillä on positiivinen korrelaatio eli kulutus kasvaa hinnan noustessa tai käänteisesti, riippuu asiakkaiden kulutus tällöin heidän luontaisista kulutustarpeistaan. Näissä tapauksissa asiakkaiden kulutuskäyttäytyminen ei ole sidoksissa pörssisähkön hintasignaaleihin, jolloin myös sähkönsiirron hinnoittelun ohjausvaikutus voi olla vähäinen näissä kohteissa. Seiverkoille tämä tulos kertoisi, että kyseiset kohteet eivät aiheuta äkillistä jouston tarvetta, kun kulutuskäyttäytyminen ei ole sidoksissa pörssisähkön hinnan vaihteluihin. Tulosten pohjalta Seiverkot voi pohtia, millä tavoin ja kuinka kiireellisesti sähkönsiirron hinnoittelua, tulisi jatkossa kehittää näissä asiakasryhmissä.

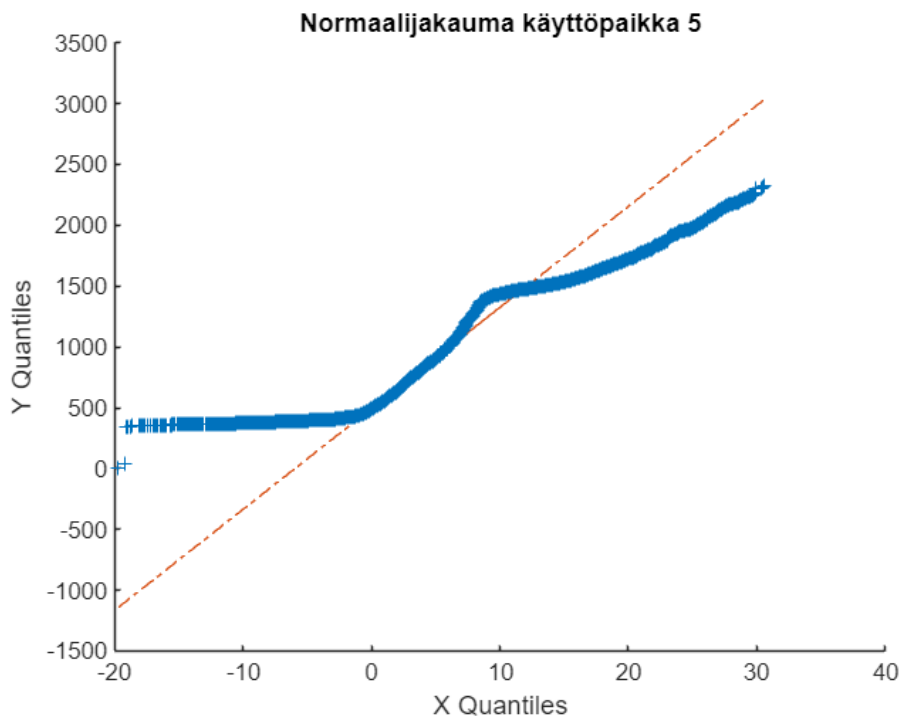
6.1 Lähtötiedot ja menetelmät

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa hyödynnettiin Seiverkkojen Hansen M&E mittaustietokannasta saatavia tuntisarjoja tutkittaville kohteille. Tuntisarjat kerättiin 12 kuukauden ajanjaksolta, jolloin tuloksissa tulee huomioitua myös eri vuodenajat ja niistä aiheutuvat muutokset. KJ-verkon käyttöpaikkojen tuntisarjat ovat syyskuu 2024–elokuu 2025 väliseltä ajalta. PJ-verkon muuntopiirien tuntisarjoja ei saatu täysin samalta ajanjaksolta, joten niiden tuntisarjat ovat elokuu 2024–heinäkuu 2025 väliseltä ajalta. Vaikka ajanjaksoissa on pieni ero, sillä ei ole merkittävää vaikutusta kulutuskäyttäytymisen tutkimiseen. KJ-verkon käyttöpaikkojen ja PJ-verkon muuntopiirien tuntisarjoja verrattiin vastaavien ajanjaksojen Nord Poolin pörssisähkön tuntihintoihin ja Ilmatieteen laitoksen mittaamiin tuntiämpötiloihin Seinäjoen alueelta. Tietoa asiakkaiden todellisista sähkönmyyntisopimuksista ei ollut, sillä tämä tieto ei kuulu jakeluverkkoyhtiöille. Sähköenergian myyntisopimuksen asiakas voi solmia minkä tahansa sähkönmyyntiyhtiön kanssa, jolloin sopimustiedot kuuluvat kokonaan eri yritykselle. Lisäksi yksityisasiakkaiden sopimustiedot ovat tietosuojalain alaisia, joten niitä ei senkään vuoksi jakeluverkkoyhtiöt saa tietää.

Korrelaatiokertoimien laskemiseen hyödynnettiin Spearmanin korrelaatiota. Spearmanin korrelaatio valittiin, koska muuttujat eivät olleet normaalijakautuneita, jolloin Pearsonin korrelaatiota, joka edellyttää datan normaalijakautuneisuutta, ei voitu luotettavasti hyödyntää korrelaation selvitykseen (Schober ja muut, 2018a). Kuvissa 24 ja 25 on esimerkkinä KJ-verkon käyttöpaikan 5 normaalijakaumat pörssisähkön hinnalle ja kulutukselle sekä ulkolämpötilalle ja kulutukselle. Jos data olisi normaalijakautunutta, siniset datapisteet asettuisivat oranssin viivan mukaisesti. Koska mikään keski- tai pienjänniteverkon kohteista ei osoittanut normaalijakautuneisuutta suhteessa hintaan tai lämpötilaan, kaikkien kohteiden korrelaatiokertoimet laskettiin Spearmanin korrelaatiolla.



Kuva 24. Käyttöpaikan 5 pörssisähkön hinnan ja kulutuksen normaalijakauma



Kuva 25. Käyttöpaikan 5 ulkolämpötilan ja kulutuksen normaalijakauma.

Spearmanin korrelaatio laskee korrelaatiokertoimen arvon 1 ja -1 välille ja kertoimen avulla saadaan selville korrelaation suunta ja sen voimakkuus (Schober ja muut, 2018a). Schoberin ja muiden (2018a) mukaan positiivinen korrelaatio tarkoittaa, että yhden muuttujan kasvaessa myös toinen muuttuja kasvaa tai yhden muuttujan pienentyessä myös toinen pienenee. Negatiivinen korrelaatio vastaavasti tarkoittaa, että yhden muuttujan kasvaessa toinen muuttuja pienenee tai päinvastaisesti. Korrelaatiokertoimen arvon ollessa nolla tutkittavien muuttujien välillä ei ole ollenkaan korrelaatiota. Alla on lueteltu eri raja-arvoja korrelaatiokertoimien vahvuuksille (Schober ja muut, 2018a).

- Mitätön korrelaatio (0,00–0,10)
- Heikko korrelaatio (0,10–0,39)
- Kohtalainen korrelaatio (0,40–0,69)
- Vahva korrelaatio (0,70–0,89)
- Erittäin vahva korrelaatio (0,90–1,00)

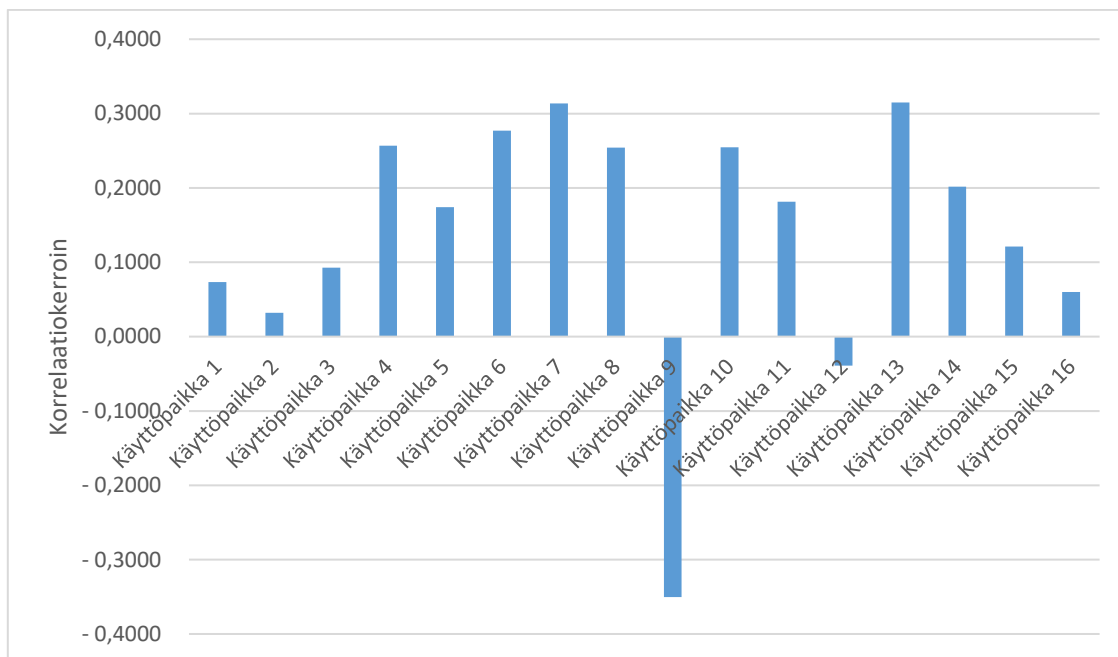
Tutkimuksen tarvittavat mittaustiedot taulukoitiin Exceeliin ja korrelaatiokertoimien laskenta suoritettiin hyödyntäen Matlab-ohjelmistoa, viemällä Excel-taulukon tiedot Matlabiin. Korrelaatiokertoimien lisäksi laskettiin myös P-arvot kaikille kohteille. Schoberin ja muiden (2018b) mukaan P-arvo mittaa, kuinka todennäköistä on saada se korrelaatiokertoimen arvo mikä saadaan, jos nollahypoteesi on tosi. Nollahypoteesi yleensä olettaa, että muuttujien välillä ei ole korrelaatiota. Pieni P-arvo viittaa siihen, että havaittu tulos on yhteensopimaton nollahypoteesin kanssa. Nollahypoteesi yleensä hylätään, jos P-arvo on alle 0,05 ja tulosta pidetään tällöin ”tilastollisesti merkitsevä”. Nollahypoteesin hylkääminen johtaa johtopäätökseen, että muuttujien välillä on korrelaatio. P-arvoa voidaan kuitenkin pitää vain suuntaa antavana tietona, eikä se yksinään todista tuloksen paikkansapitävyyttä. Tälle tutkimukselle merkittävämpi tieto on saadut korrelaatiokertoimet.

6.2 Keskijänniteverkon asiakkaiden kulutuskäyttäytyminen

Seiverkkojen keskijänniteverkosta valittiin tarkastelun kohteiksi 16 suurta sähkökäyttöpaikkaa. Taulukossa 6 on esitetty käyttöpaikkojen lasketut korrelaatiokertoimet sekä P-arvot pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen. Suluissa oleva teksti kuvastaa kyseisen käyttöpaikan liiketoimintaa. Käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimien vaihtelua on havainnollistettu kuvassa 26. Tuloksista nähdään, että valtaosalla keskijänniteverkon käyttöpaikoista on kulutuksen ja pörssisähkön hinnan välillä mitätön/heikko korrelaatio. Lasketut P-arvot ovat myös alle 0,05 raja-arvon, jolloin muuttujien välinen korrelaatio on ole-massa.

Taulukko 6. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimet ja P-arvot pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.

Käyttöpaikka	Korrelaatiokerroin	P-arvo
Käyttöpaikka 1 (Maataloustuotanto)	0,0732	6,77E-12
Käyttöpaikka 2 (Logistiikkapalvelu)	0,0320	2,70E-03
Käyttöpaikka 3 (Tuotantolaitos)	0,0928	3,29E-18
Käyttöpaikka 4 (Terveysala)	0,2566	9,79E-132
Käyttöpaikka 5 (Kauppakeskus)	0,1740	1,74E-60
Käyttöpaikka 6 (Kiinteistöalan toimija)	0,2769	6,44E-154
Käyttöpaikka 7 (Energia- ja vesihuolto)	0,3137	2,50E-199
Käyttöpaikka 8 (Ruokakauppa)	0,2542	3,27E-129
Käyttöpaikka 9 (Datakeskus)	-0,3503	2,71E-251
Käyttöpaikka 10 (Ruokakauppa)	0,2548	6,53E-130
Käyttöpaikka 11 (Energia- ja vesihuolto)	0,1814	1,06E-65
Käyttöpaikka 12 (Maataloustuotanto)	-0,0391	2,51E-04
Käyttöpaikka 13 (Terveysala)	0,3151	3,68E-201
Käyttöpaikka 14 (Teollisuuslaitos)	0,2015	6,73E-81
Käyttöpaikka 15 (Tuotantolaitos)	0,1210	6,51E-30
Käyttöpaikka 16 (Terveysala)	0,0602	1,73E-08

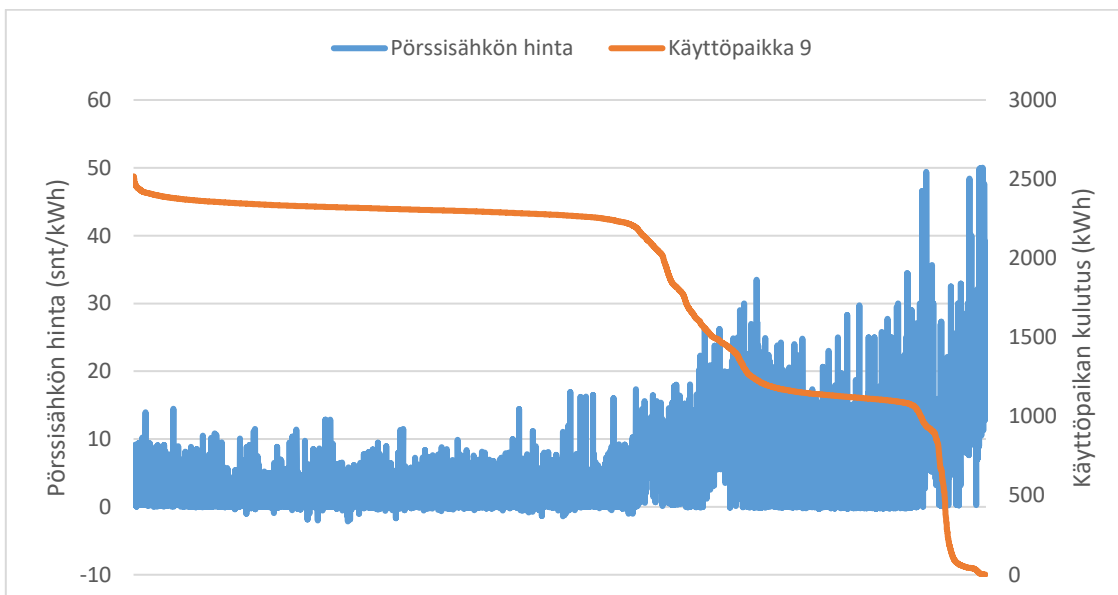


Kuva 26. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimien vaihtelut pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.

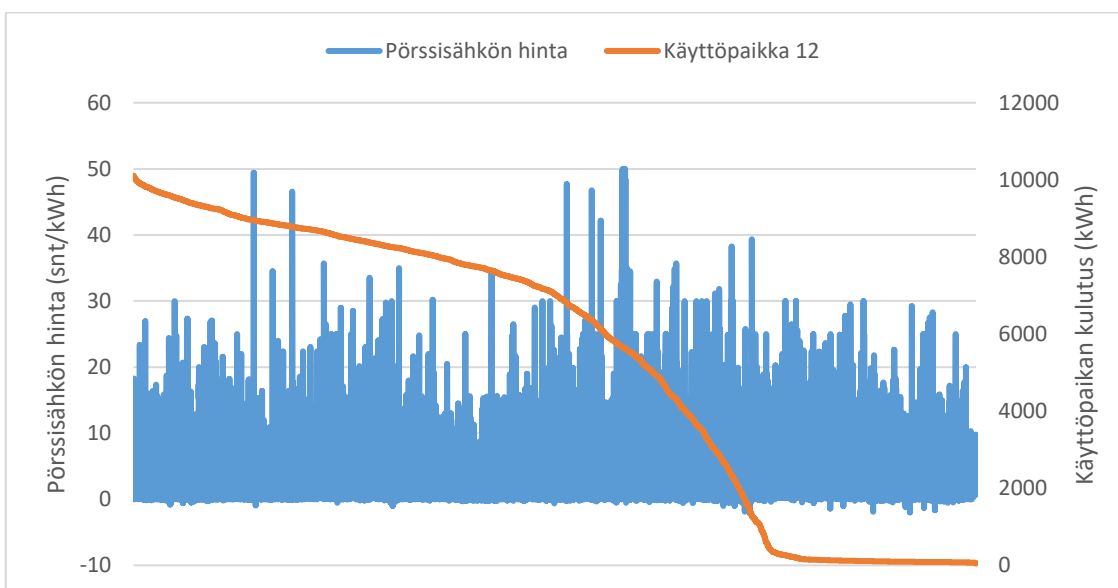
Mielenkiintoisin KJ-verkon kohteista on käyttöpaikka 9 (datakeskus). Käyttöpaikalla on heikko negatiivinen korrelaatio pörssisähkön hinnan ja kulutuksen välillä eli käyttöpaikassa kulutus kasvaa, kun pörssisähkön hinta laskee. Datakeskuksissa yleensä optimoidaan sähkön kulutusta ja energiatehokkuutta liiketoiminnan kannattavuuden parantamiseen, joka selittää saadun korrelaatiokertoimen arvon. Käyttöpaikassa 12 (maataloustuotanto) on myös negatiivinen korrelaatiokerroin, mutta sen arvo viittaa mitättömään korrelaatioon eli kulutus ei ole kovin riippuvainen sähkön hinnasta.

Kuvissa 27 ja 28 on järjestetty käyttöpaikkojen 9 ja 12 kulutustunnit suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan. Kuvaajissa oranssi viiva kuvastaa käyttöpaikan sähköenergian kulutusta ja siniset palkit havainnollistavat pörssisähkön hinnan vaihteluväliä. Kuvaajista nähdään siis millaisille hinnoille tietyt sähköenergian kulutusmäärät tyyppisesti keskittyvät. Kuvasta 27 nähdään, että käyttöpaikan 9 suurimmat kulutustunnit keskittyvät halvoille pörssisähkön tunneille ja kulutus laskee pörssisähkön hintojen noustessa. Samanlaista kulutuskäyttäytymistä ei ole havaittavissa kuvassa 28 käyttöpaikan 12 kohdalla, johon laskettu korrelaatiokertoimen arvo myös viittasi. Muilla käyttöpaikoilla

on positiivinen korrelaatiokerroin, jolloin kulutus kasvaa hinnan noustessa. Tällainen kulutuskäyttäytyminen viittaa siihen, että hintareagointia ei ole.



Kuva 27. Käyttöpaikan 9 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.

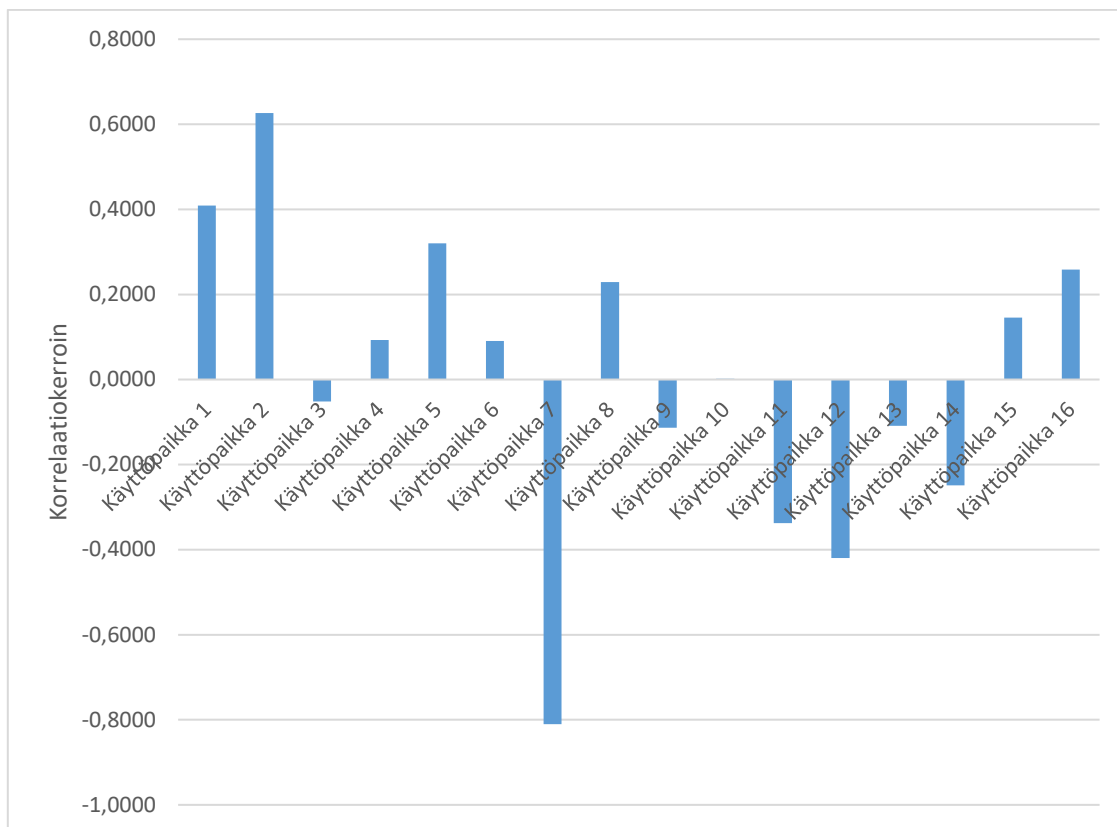


Kuva 28. Käyttöpaikan 12 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.

Taulukossa 7 on esitetty KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimet ja P-arvot ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen. Kuvassa 29 havainnollistetaan näiden korrelaatiokerroimien vaihtelua. Aikaisemmin tarkastelluissa käyttöpaikoissa 9 ja 12 on molemmissa negatiiviset korrelaatiokertoimet, mikä tarkoittaa, että niissä kulutus kasvaa ulkolämpötilan laskiessa. Käyttöpaikka 12 (maataloustuotanto) osoittaa kohtalaista negatiivista korrelaatiota ulkolämpötilan kanssa eli käyttöpaikan kulutusta ohjaa ensisijaisesti lämpötila eikä sähkön hinta. Vastaavanlainen ilmiö on myös huomattavissa toisessa maataloustuotanto kohteessa eli käyttöpaikassa 1. Käyttöpaikassa 1 oli mitätön positiivinen korrelaatio hinnan suhteen, mutta ulkolämpötilan suhteen on kohtalainen positiivinen korrelaatio. Käyttöpaikalla 9 (datakeskus) on sen sijaan vain heikko negatiivinen korrelaatio ulkolämpötilaan nähden eli käyttöpaikan kulutusta ohjaa ensisijaisesti sähkön hinta.

Taulukko 7. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimet ja P-arvot ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.

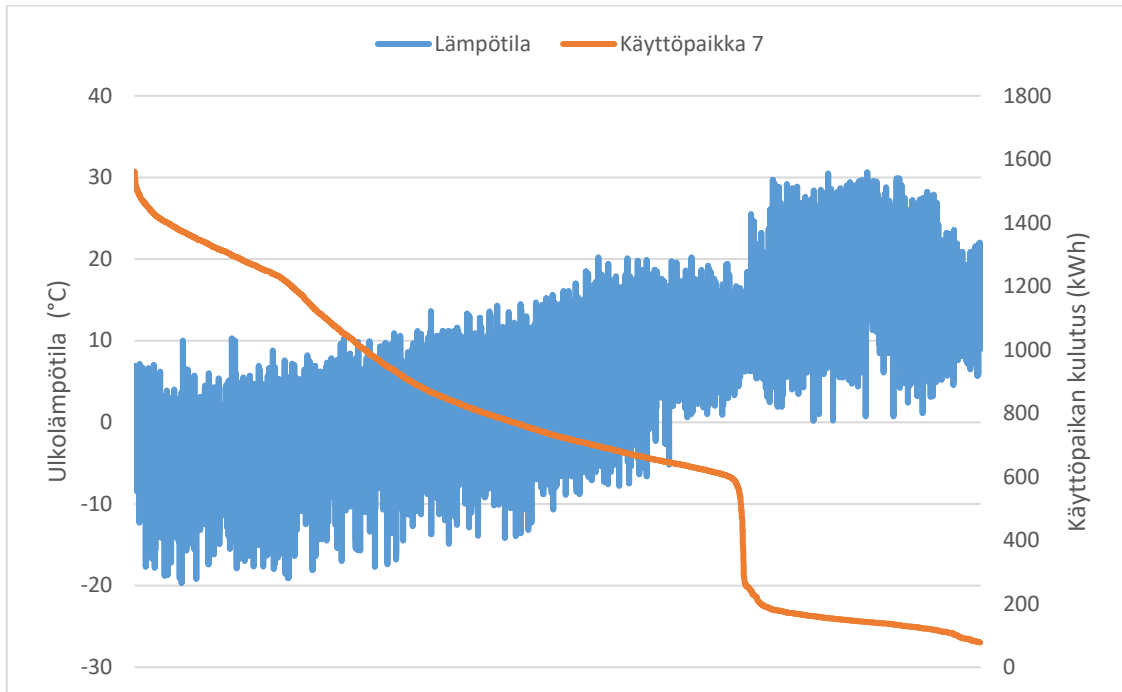
Käyttöpaikka	Korrelaatiokerroin	P-arvo
Käyttöpaikka 1 (Maataloustuotanto)	0,4088	0,00
Käyttöpaikka 2 (Logistiikkapalvelu)	0,6263	0,00
Käyttöpaikka 3 (Tuotantolaitos)	-0,0513	1,58E-06
Käyttöpaikka 4 (Terveysala)	0,0930	2,67E-18
Käyttöpaikka 5 (Kauppakeskus)	0,3203	4,28E-208
Käyttöpaikka 6 (Kiinteistöalan toimija)	0,0905	2.1525e-17
Käyttöpaikka 7 (Energia- ja vesihuolto)	-0,8104	0,00
Käyttöpaikka 8 (Ruokakauppa)	0,2292	8,72E-105
Käyttöpaikka 9 (Datakeskus)	-0,1131	2,43E-26
Käyttöpaikka 10 (Ruokakauppa)	0,0015	0,8906
Käyttöpaikka 11 (Energia- ja vesihuolto)	-0,3374	3,42E-232
Käyttöpaikka 12 (Maataloustuotanto)	-0,4196	0,00
Käyttöpaikka 13 (Terveysala)	-0,1086	2,22E-24
Käyttöpaikka 14 (Teollisuuslaitos)	-0,2488	1,11E-123
Käyttöpaikka 15 (Tuotantolaitos)	0,1453	1,52E-42
Käyttöpaikka 16 (Terveysala)	0,2585	1,06E-133



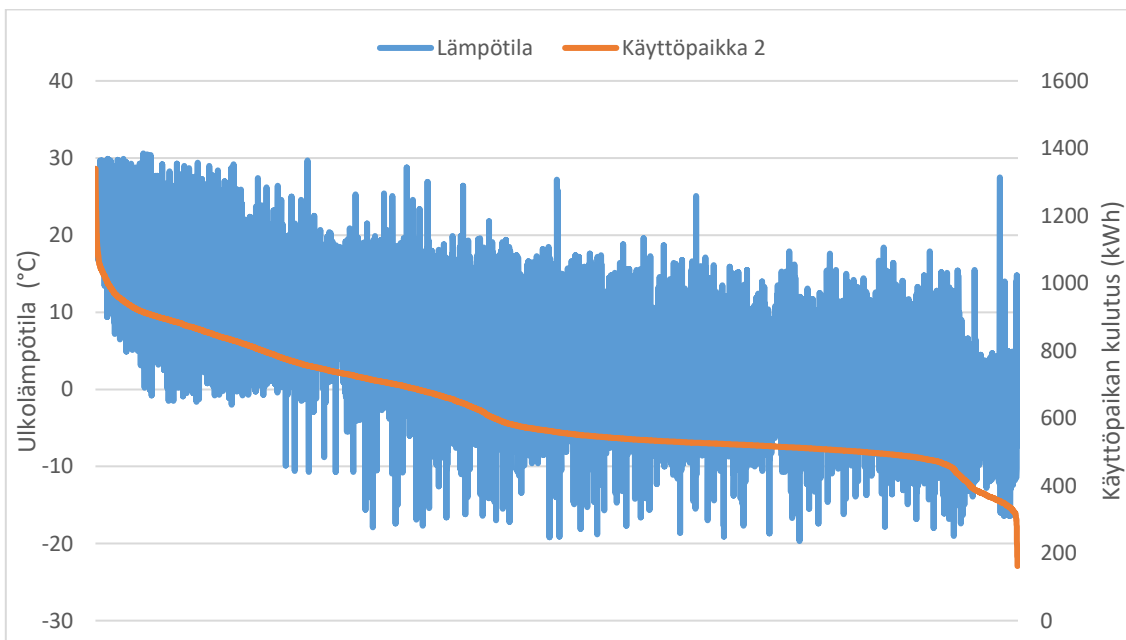
Kuva 29. KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimien vaihtelut ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.

Taulukon 7 mielenkiintoisimmat kohteet ovat käyttöpaikat 2, 7 ja 10. Käyttöpaikassa 2 (logistiikkapalvelu) on kohtalainen positiivinen korrelaatio ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen eli kulutus kasvaa, kun lämpötila nousee. Käyttöpaikalla 7 (energia- ja vesi-huolto) on vastaavasti vahva negatiivinen korrelaatio ulkolämpötilan kanssa, jolloin sähkön kulutus kasvaa ulkolämpötilan laskiessa. Näissä kahdessa käyttöpaikassa kulutus on siis hyvin riippuvaista ulkolämpötilasta eikä niinkään sähkön hinnasta.

Kuvissa 30 ja 31 on järjestetty käyttöpaikkojen 2 ja 7 kulutustunnit suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan. Oranssi viiva kuvastaa käyttöpaikan sähköenergian kulutusta ja siniset palkit havainnollistavat lämpötilan vaihteluväliä. Kuvasta 30 nähdään, miten kulutus käyttöpaikassa 7 kasvaa ulkolämpötilan laskiessa ja pienenee, kun lämpötila kasvaa. Kuvasta 31 vastaavasti nähdään, miten käyttöpaikan 2 kulutus kasvaa lämpötilan noustessa ja pienenee, kun lämpötila laskee.



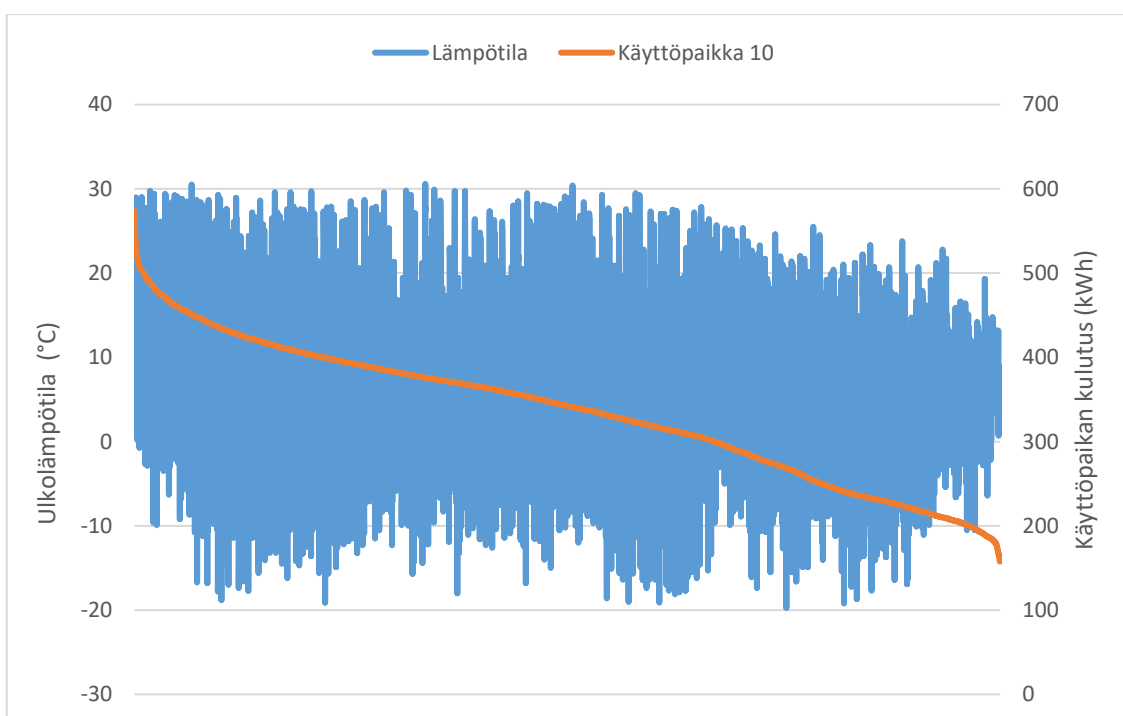
Kuva 30. Käyttöpaikan 7 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.



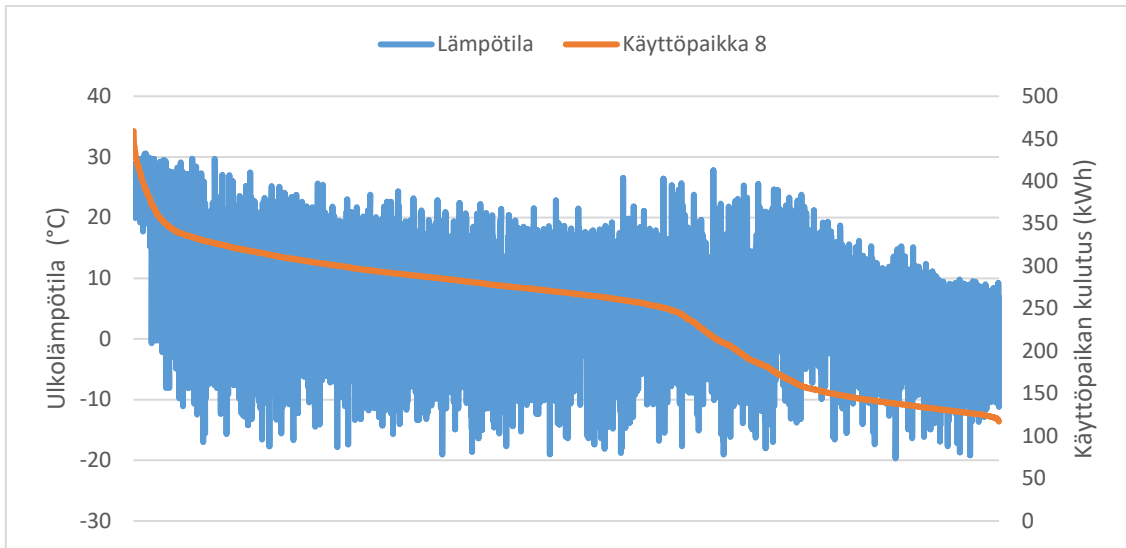
Kuva 31. Käyttöpaikan 2 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.

Käyttöpaikan 10 (ruokakauppa) laskettu korrelaatiokerroin on lähes nolla, mikä tarkoittaa, että sen kulutus ei ole ollenkaan riippuvainen ulkolämpötilasta. Käyttöpaikan suuri P-arvo viittaa siihen, että saatu tulos ei ole tilastollisesti merkitsevä. Tämä tarkoittaa, että on hyvin todennäköistä saada samanlainen tulos sattumalta, kun muuttujien välillä ei olisikaan todellista korrelaatiota. Käyttöpaikan 10 tuloksia voidaan verrata toiseen ruokakauppaan eli käyttöpaikkaan 8. Vaikka näiden kohteiden aiemmat korrelaatiokerroimet pörssisähkön hinnan suhteen olivat melkein samat, niiden korrelaatiokerroimet ulkolämpötilan suhteen poikkeavat toisistaan.

Kuvissa 32 ja 33 on järjestetty käyttöpaikkojen 10 ja 8 kulutustunnit suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan. Käyttöpaikan 10 kulutus näyttää olevan täysin riippumaton ulkolämpötilasta, kun katsotaan minkälaiselle lämpötilan vaihteluvälille kulutustunnit asettuvat. Käyttöpaikassa 8 lämpötilan vaihteluväli on pienempi, kun sitä verrataan käyttöpaikkaan 10.



Kuva 32. Käyttöpaikan 10 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.



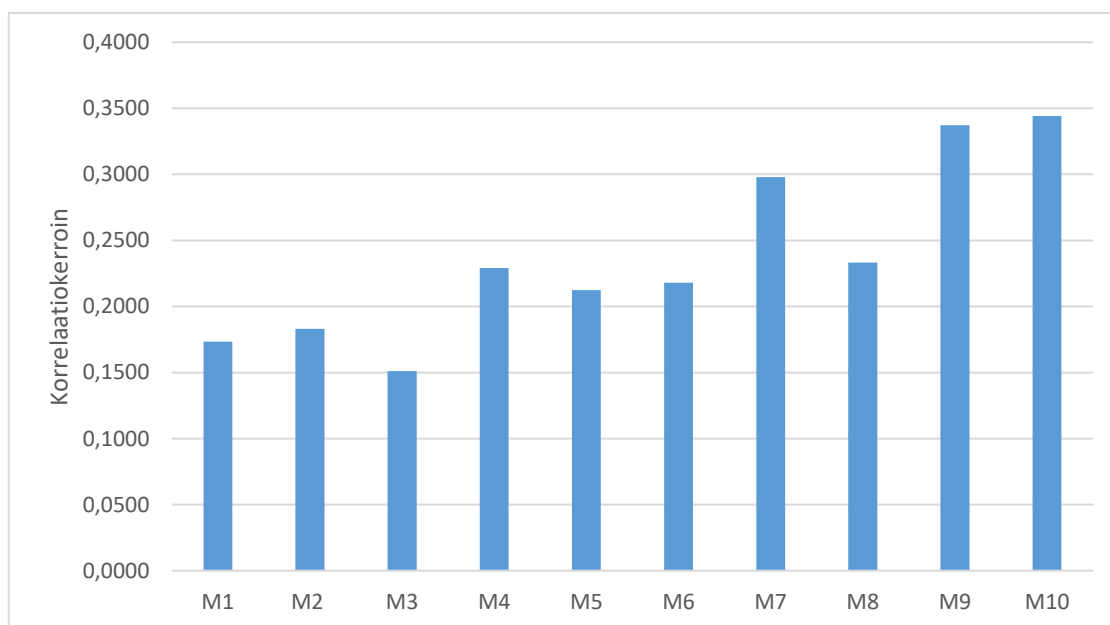
Kuva 33. Käyttöpaikan 8 kulutus lajiteltu suurimasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.

6.3 Pienjänniteverkon asiakkaiden kulutuskäyttäytyminen

Taulukossa 8 on esitetty kymmenen PJ-verkon muuntopiirin lasketut korrelaatiokertoimet ja P-arvot pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen. Kertoimien vaihtelua on havainnollistettu kuvassa 34. Suluissa on mainittu, millaisesta asuinalueesta on kyse ja mikä lämmitysjärjestelmä suurimmalla osalla muuntopiirin asiakkailta on. Tutkittujen muuntopiirien korrelaatiokertoimet sijoittuvat heikon positiivisen korrelaation alueelle eli näissä muuntopiireissä ei reagoita pörssisähkön hintavaihteluihin. Tuloksista huomataan myös, että kaukolämpölämmitteisillä muuntopiireillä on yleisesti suurempi positiivinen korrelaatiokerroin, kuin sähkölämmitteisillä kohteilla. Ero johtuu pääosin siitä, että Seiverkkojen tuntisarjoissa näkyy sähkölämmitysjärjestelmien kulutus, kun kaukolämmön kulutusta ei tuntisarjoissa näy. Kaukolämpö muuntopiirien kulutus muodostuu siis suurimmaksi osaksi käyttösähköstä (kodinkoneet, sähköautojen lataus ja muut), jonka kulutus keskittyy tyypillisesti iltapäivän tunneille, milloin pörssisähkön hinta on usein korkeimmillaan. Kulutuskäyttäytyminen tällöin näkyy suurempana positiivisena korrelaatiokertoimen arvona. Sähkölämmitteisillä muuntopiireillä suurin osa kulutuksesta muodostuu lämmityksestä, jonka tarve on riippuvainen ulkolämpötilasta eikä sähkön hinnasta. Tämä kulutuskäyttäytyminen näkyy pienempänä positiivisena korrelaatiokertoimen arvona.

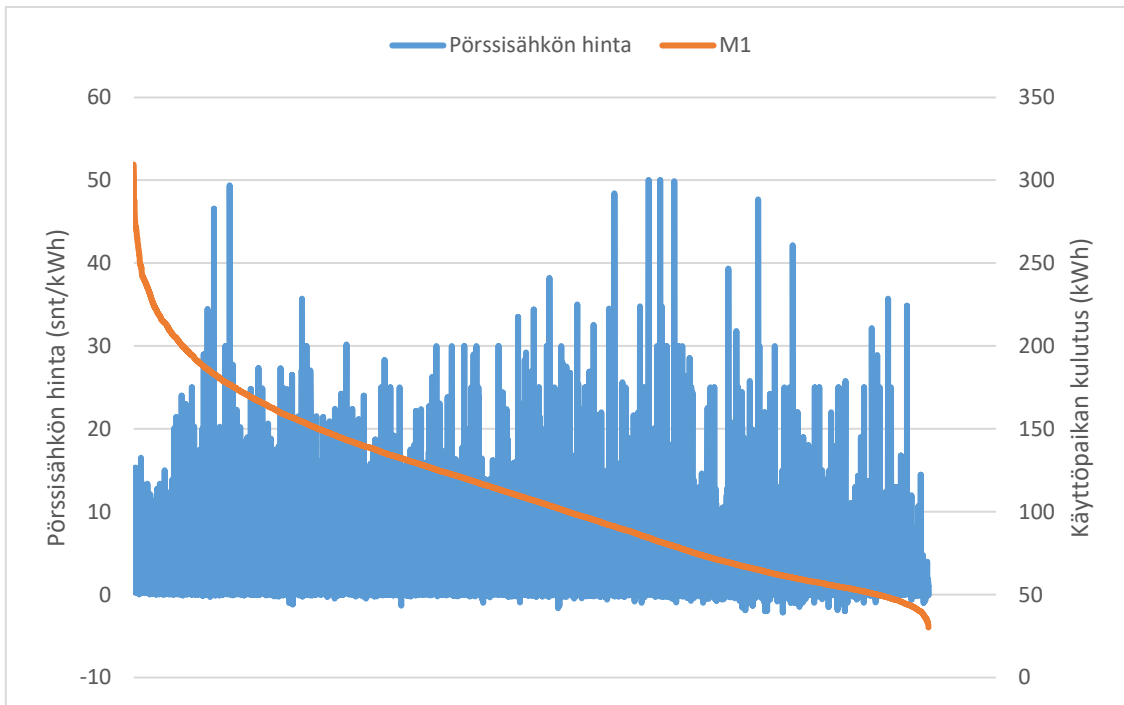
Taulukko 8. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokerroimet ja P-arvot pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.

Käyttöpaikka	Korrelaatiokerroin	P-arvo
M1 (Sähkö omakotitaloja)	0,1733	4,79E-60
M2 (Sähkö omakotitaloja)	0,1832	5,51E-67
M3 (Sähkö omakotitaloja)	0,1511	6,38E-46
M4 (Sähkö omakotitaloja)	0,2290	1,32E-104
M5 (Kaukolämpö omakotitaloja)	0,2125	5,38E-90
M6 (Kaukolämpö omakotitaloja)	0,2180	9,17E-95
M7 (Kaukolämpö omakotitaloja)	0,2980	4,47E-179
M8 (Kaukolämpö kerrostaloja)	0,2332	1,69E-108
M9 (Kaukolämpö kerrostaloja)	0,3371	8,98E-232
M10 (Kaukolämpö kerrostaloja)	0,3441	5,79E-242

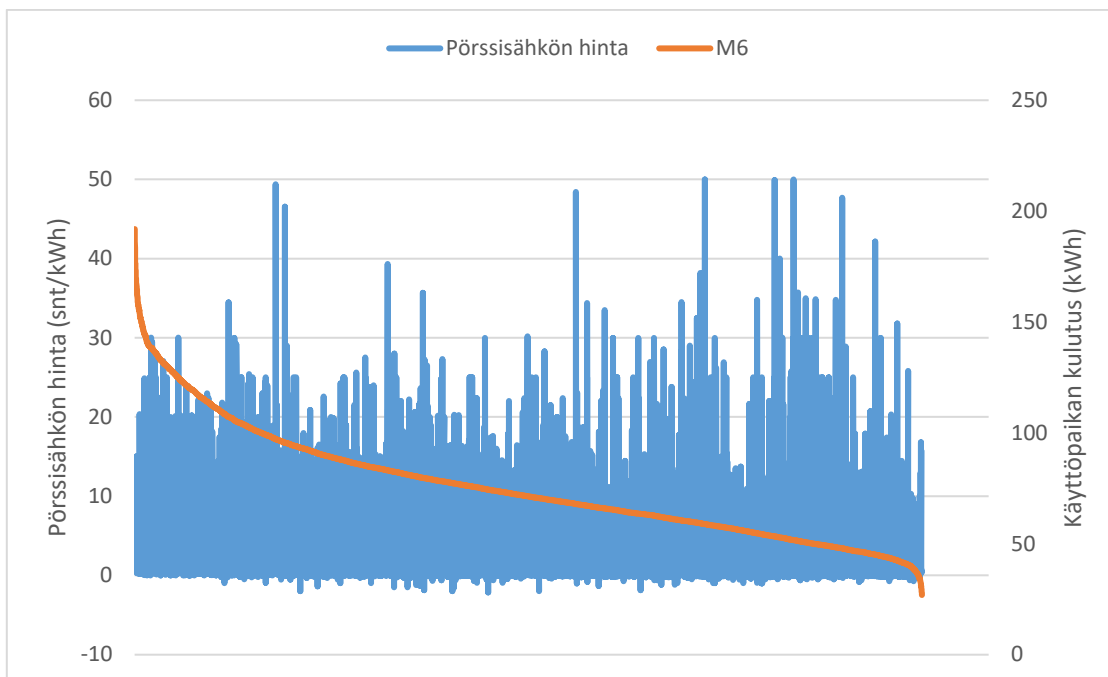


Kuva 34. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokerroimien vaihtelut pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen.

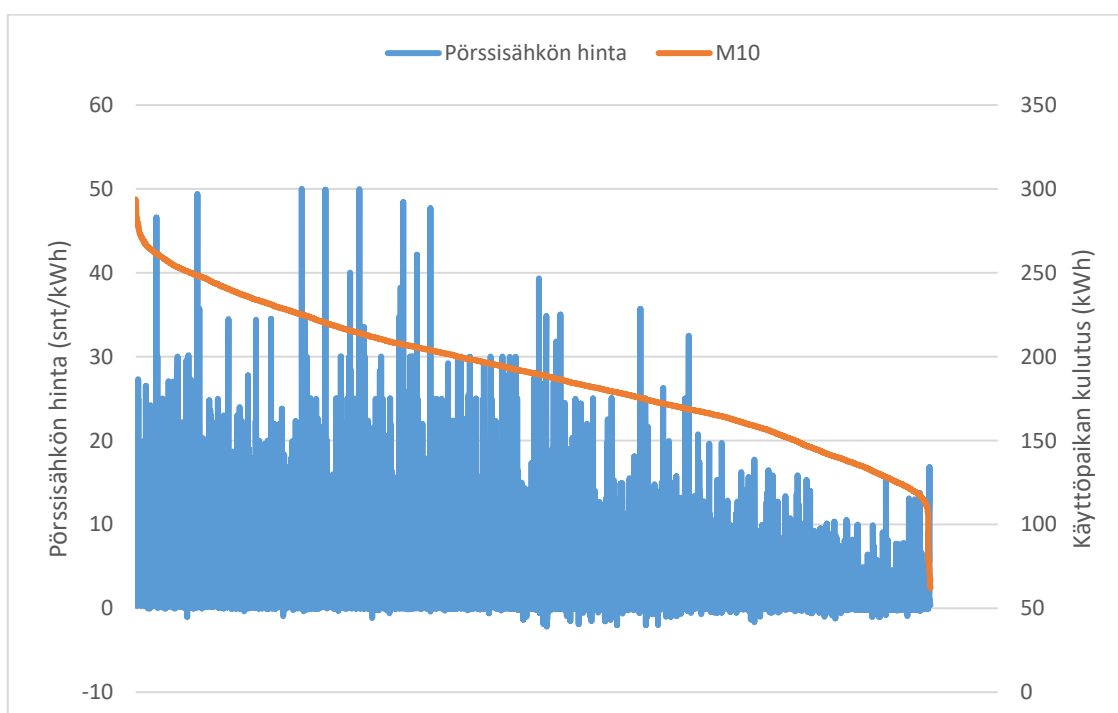
Kuvissa 35, 36 ja 37 on lajiteltu muuntopiirien M1, M6 ja M10 kulutustunnit suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan. Kuvaajista nähdään, että muuntopiirien kulutus ei ole sidoksissa pörssisähkön hintoihin, vaikka kyseessä onkin erilaiset asuinalue ja lämmitysjärjestelmä yhdistelmät.



Kuva 35. M1 muuntopiirin kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.



Kuva 36. Muuntopiirin M6-kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.

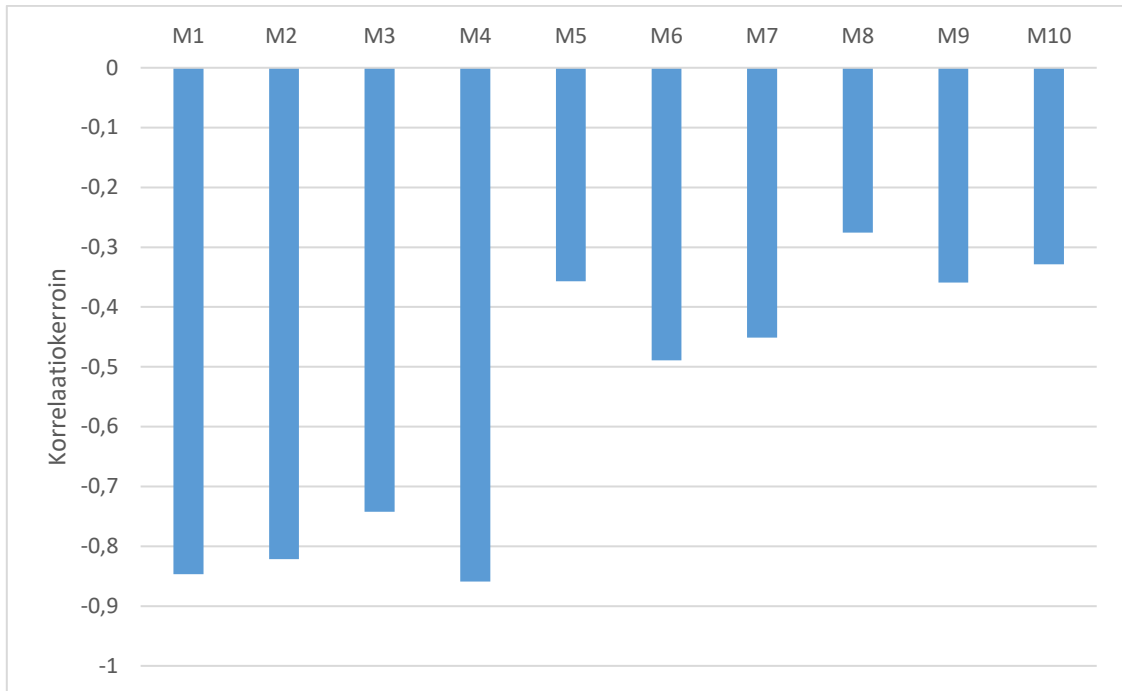


Kuva 37. Muuntopiirin M10 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa pörssisähkön hintaan.

Taulukossa 9 on esitetty lasketut korrelaatiokertoimet PJ-verkon muuntopiireille kulutuksen ja ulkolämpötilan suhteen. Muuntopiirien korrelaatiokertoimien vaihtelua on havainnollistettu kuvassa 38. Sähkölämmitteiset muuntopiirit osoittavat vahvaa negatiivista korrelaatiota ulkolämpötilan kanssa, mihin myös taulukon 8 arvot viittasivat. Kaukolämpö muuntopiireissä on vain heikko/kohtalainen negatiivinen korrelaatio ulkolämpötilan suhteen, mikä johtuu siitä, että tuntisarjoissa ei näy kaukolämpölämmityksen aiheuttamaa energian kulutusta.

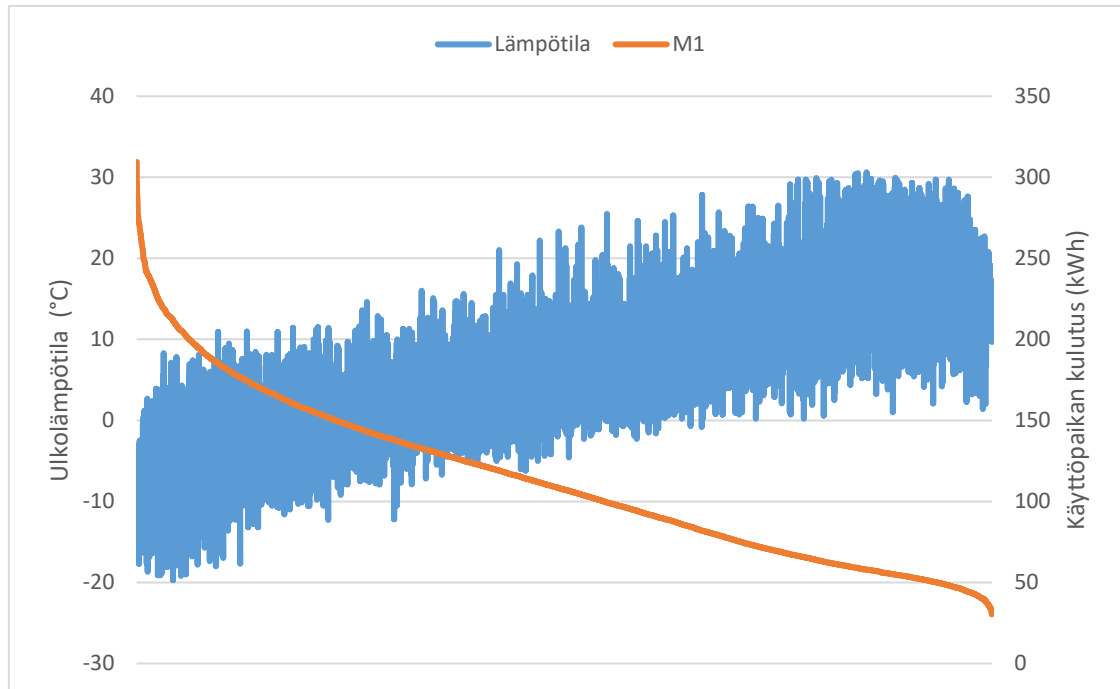
Taulukko 9. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokertoimet ja P-arvot ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.

Käyttöpaikka	Korrelaatiokerroin	P-arvo
M1 (Sähkö omakotitaloja)	-0,8469	0
M2 (Sähkö omakotitaloja)	-0,8213	0
M3 (Sähkö omakotitaloja)	-0,7424	0
M4 (Sähkö omakotitaloja)	-0,8592	0
M5 (Kaukolämpö omakotitaloja)	-0,3568	2,73E-261
M6 (Kaukolämpö omakotitaloja)	-0,4889	0
M7 (Kaukolämpö omakotitaloja)	-0,4513	0
M8 (Kaukolämpö kerrostaloja)	-0,2754	2,71E-152
M9 (Kaukolämpö kerrostaloja)	-0,3591	5,61E-265
M10 (Kaukolämpö kerrostaloja)	-0,3285	2,00E-219

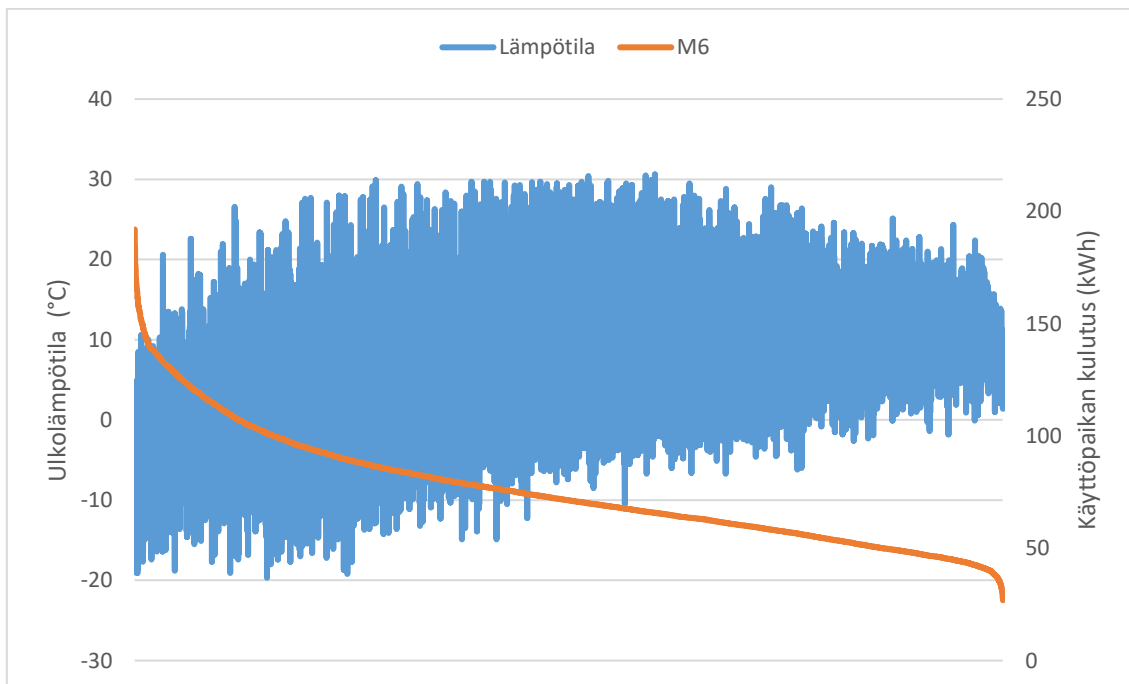


Kuva 38. PJ-verkon muuntopiirien korrelaatiokerroimien vaihtelut ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen.

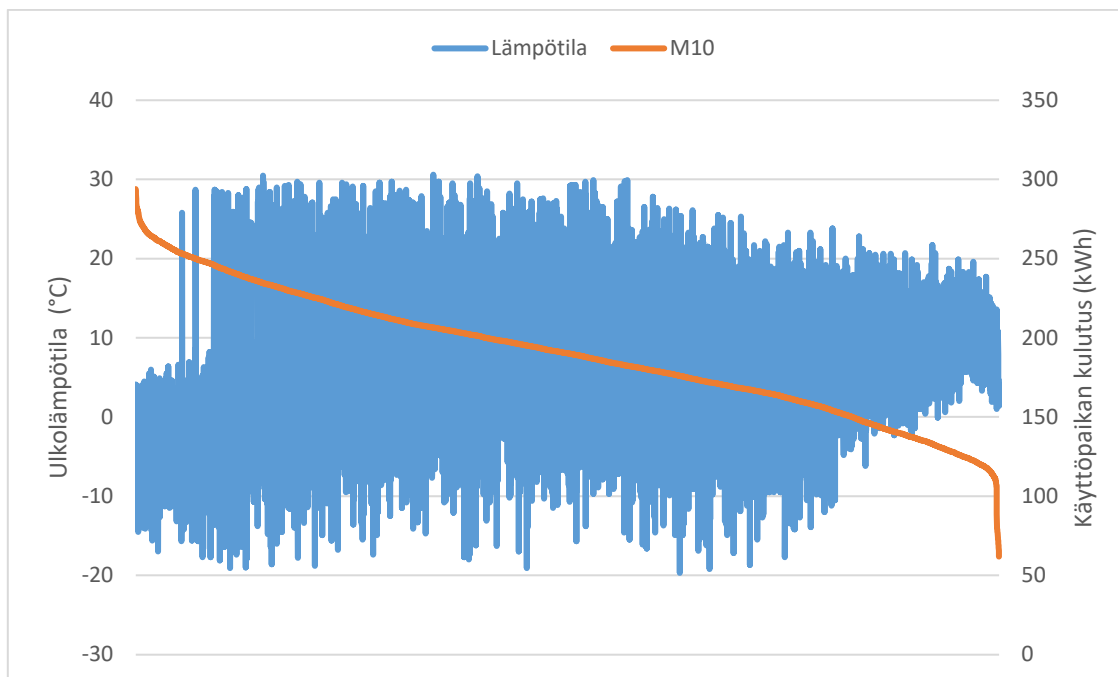
Kuvissa 39, 40 ja 41 on järjestetty muuntopiirien M1, M6 ja M10 kulutustunnit suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan. Kuvasta 39 nähdään, miten M1-muuntopiirin (sähkölämmitteisiä omakotitaloja) kulutus selkeästi kasvaa lämpötilan laskiessa ja pienenee lämpötilan noustessa. Vastaavanlainen kulutuskäyttäytyminen on huomattavissa kuvassa 40 esitettyssä M6-muuntopiirissä (kaukolämpö omakotitaloja). M6-muuntopiirissä lämpötilan vaihteluväli on kuitenkin huomattavasti isompi verrattuna M1-muuntopiiriin, jonka vuoksi sen korrelaatio on heikompi. M10-muuntopiiriin (kaukolämpö kerrostaloja) kulutuksen ja ulkolämpötilan välinen korrelaatio on selvästi heikoin näistä kolmesta muuntopiiristä, mikä tulee ilmi, kun vertailee kuvan 41 lämpötilan vaihteluväliä kuvien 39 ja 40 vaihteluväleihin.



Kuva 39. Muuntopiirin M1 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.



Kuva 40. Muuntopiirin M6 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.



Kuva 41. Muuntopiirin M10 kulutus lajiteltu suurimmasta pienimpään suhteessa ulkolämpötilaan.

6.4 Tulokset

Tutkittujen KJ-verkon käyttöpaikkojen kulutukset osoittivat vain heikkoa tai mitätöntä positiivista korrelaatiota pörssisähkön hinnan kanssa. Tulos viittaa siihen, että käyttöpaikat eivät jousta kulutuksessaan pörssisähkön hintavaihteluihin perustuen. Tällainen kuluskäyttäytyminen voi johtua seuraavista tekijöistä:

- **Kulutus on riippuvaista lämpötilasta.** Suurin osa kulutuksesta menee tilojen lämmitykseen tai viilennykseen, jonka tarve riippuu ulkolämpötilasta eikä sähkön hinnasta. Tämä oli merkittävin kulutukseen vaikuttava tekijä.
- **Kiinteähintainen sähkönmyyntisopimus.** Kiinteähintaisen sopimuksen vuoksi asiakkaan sähköenergian hinta pysyy samana, jolloin hintareagoinnin tarvetta ei ole.
- **Liiketoiminnan rajoitteet.** Yrityksen liiketoiminta voi olla luonteeltaan sellainen, että kulutusjousto ei ole mahdollista.
- **Kannattavuus.** Joustosta saatava rahallinen säästö on liian pieni, jolloin

kiinnostusta joustoon ei ole tai se ei ole yrityksen liiketoiminnan osalta kannattavaa.

Käyttöpaikka 9 (datakeskus) oli ainoa tutkimuksen kohteista, joka aktiivisesti jousti kulutuksessaan. Datakeskuksen kulutuksella oli heikko negatiivinen korrelaatio pörssisähkön hinnan kanssa eli käyttöpaikassa kulutus kasvoi, kun pörssisähkön hinta laski. Datakeskuksen liiketoiminnan luonne siis mahdollistaa joustamisen ja siitä saatava rahallinen säästö on riittävän suuri, jolloin kiinnostusta joustoon on ja se on taloudellisesti kannattavaa.

KJ-verkon käyttöpaikkojen kulutus oli enemmän riippuvaista ulkolämpötilasta, mikä nähtiin esimerkiksi käyttöpaikkojen 1, 2, 7 ja 12 korrelaatiokertoimista. Käyttöpaikassa 1 (maataloustuotanto) oli kohtalainen positiivinen korrelaatio ulkolämpötilan ja kulutuksen suhteen, kun taas käyttöpaikassa 12 (maataloustuotanto) oli kohtalainen negatiivinen korrelaatio. Syy miksi korrelaatiokertoimet ovat vastakkaiset johtuu siitä, että käyttöpaikat harjoittavat erilaista liiketoimintaa maatalouden osalta. Käyttöpaikassa 1 kulutus kasvoi, kun lämpötila nousi eli asiakas joutuu käyttämään enemmän sähköä tilojen viilennykseen. Käyttöpaikassa 12 kulutus kasvoi lämpötilan laskiessa eli asiakas joutuu käyttämään enemmän sähköä tilojen lämmitykseen. Vastaavanlaiset ilmiöt nähtiin voimakkaampina logistiikkapalvelun toimijalla (käyttöpaikka 2) ja energia- ja vesihuollon yrityksellä (käyttöpaikka 7).

KJ-verkon käyttöpaikkojen korrelaatiokertoimista nähtiin myös, miten tietyissä kohteissa, kuten tuotantolaitoksissa (käyttöpaikat 3 ja 15), ei kummallakaan tutkituista muuttujista ollut merkittävää vaikutusta käyttöpaikkojen kulutukseen. Näiden käyttöpaikkojen kuluksia ohjaavat siis muut ulkoiset tai liiketoimintaan liittyvät tekijät. Tuotantolaitosten kulutus on todennäköisesti täysin riippuvaista yritysten tilauskannasta ja niiden tuotantoaikatauluista, jolloin kulutusjousto ei ole käyttöpaikoille mahdollista tai liiketoiminnan osalta kannattavaa.

PJ-verkon tutkitut muuntopiirit osoittivat vain heikkoa positiivista korrelaatiota pörssisähkön hinnan ja kulutuksen suhteen. Tulos oli vastaavanlainen kuin KJ-verkon käyttöpaikoilla eli muuntopiiritasolla kulutuksesta ei jousteta pörssisähkön hintaan perustuen. Kulutuskäyttäytyminen voi johtua osittain samoista tekijöistä, kuin KJ-verkon käyttöpaikojen kohdalla, poikkeuksena joustamattomuus liiketoiminnan vuoksi. Asumistyyppi voi sen sijaan vaikuttaa joustohalukkuuteen. Omakotitaloasukkailla on korkeampi kokonaiskulutus ja tyyppillisesti suuremmat asumiskustannukset, jolloin heillä on suurempi taloudellinen kannustin joustamiseen. Kerrostaloasukkailla puolestaan on pienempi kokonaiskulutus ja rajallisemmat säästömahdollisuudet, jolloin taloudellinen kannustin joustamiseen on myös pienempi. Merkittävin tekijä, joka vaikutti muuntopiirien kulutuksiin, oli selkeästi ulkolämpötila. Kaikilla tutkituilla muuntopiireillä oli negatiivinen korrelaatioker-toimen arvo kulutuksen ja lämpötilan suhteen eli niissä kulutus kasvoi ulkolämpötilan laskiessa. Sähkölämmitteisten muuntopiirien korrelaatioker-toimien arvot olivat luonnollisesti suurempia verrattuna kaukolämpö muuntopiireihin, koska tuntisarjoissa oli mitat-tuna käyttösähkön lisäksi myös sähkölämmitysjärjestelmien kuluttama sähköenergia.

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että suurin osa Seiverkkojen pien- ja keskijänniteverkon asiakkaista on tällä hetkellä lämpötilariippuvaisia kuluttajia, eivätkä jouta kulutuksessaan pörssisähkön hintaan perustuen. Tulosten analysointia vaikeutti tiedonpuute asiakkaiden todellisista sähkönmyyntisopimuksista. Asiakkaiden heikon hin-tareagoinnin vuoksi voi myös sähkönsiirron hinnoittelun ohjausvaikutus jäädä vähäiseksi näissä kohteissa. Tuloksien perusteella Seiverkkojen nykyisen kysyntäjoustop määrää on implisiittisen jouston osalta hyvin vähäistä verkon alueella. Koska asiakkaat eivät muuta kulutuskäyttäytymistään hintasignaalien perusteella, he eivät myöskään aiheuta äkillisiä tehohuippuja pörssisähkön hintavaihteluiden vuoksi, mikä osittain pienentää lyhyen ai-kavälin jouston tarvetta jakeluverkon alueella.

7 Toimintasuunnitelma

Koska implisiittisen jouston määrä on Seiverkkojen alueella vähäistä, verkkoyhtiön kannattaa jatkossa keskittyä ensisijaisesti eksplisiittisten joustojen käyttöönoton suunnitteluun. Eksplisiittisten joustojen osalta tulisi erityisesti keskittyä yritysten välisiin yhteistyöhankkeisiin. Tällaisesta yhteistyömallista oli esimerkkinä Elenian ja Fortumin akkupilotointi. Yritysten välisen joustohankkeen kautta saataisiin kerrallaan suuri määrä joustoa verkon alueelle. Tällaiset hankkeet ovat todennäköisesti myös jakeluverkoille kiinnostavampi ratkaisu suorien joustojen hankinnassa, kuin pienemmät asiakaslähtöiset suorat joustot. Lyhyellä aikavälillä on hyvin epätodennäköistä saada kannustettua tarpeeksi asiakkaita osallistumaan implisiittisiin joustoihin, jotta merkittävää joustoa sen kautta saataisiin muodostettua. Tämän lisäksi on vaikeaa saada näitä samoja asiakkaita myöskään osallistumaan eksplisiittiseen joustoon, kun he eivät tälläkään hetkellä osallistu epäsuoraan joustoon.

Diplomityön tutkimuksen perusteella tulisi tutkia verkkoalueen lämmityksestä saatavaa joustopotentiaalia. Lämmityksen jouston lisäksi Seiverkot voisi tutkia verkkoalueen nykyisiä mikroverkkokävykkyksiä ja arvioida olisiko toiminnallisuus tärkeä olla jollakin tietyllä osalla verkkoa. Eksplisiittisten joustojen suunnittelun osalta tulisi ensiksi tunnistaa verkon pullonkaulat ja nykyiset rajoitteet sekä miettiä seuraavia kysymyksiä: voiko joustoilla ratkaista näitä ongelmia, onko joustoratkaisu kustannustehokas, onko jouston vaikutus pitkäaikainen ja tukeeko joustoratkaisu myös muuta verkkoa? Seiverkkojen olisi kannattavaa investoida verkkoalueen joustoihin liittyviin tutkimuksiin ja pilotointeihin ainakin joustokannustimen sallima enimmäismäärä. Näiden investointien avulla voitaisiin edistää paikallisten joustoratkaisujen suunnittelua ja käyttöönottoa ilman suurta riskiä verkkoyhtiön liiketoiminnalle.

Eksplisiittisten joustojen suunnittelun ja pilotoinnin ohella Seiverkkojen tulee varautua myös kuormanohjausrajapinnan käyttöönottoon. Rajapinnan avulla saadaan pienennettyä asiakkaiden kynnystä osallistua joustomarkkinoille, kun kuormien ohjaus toteutetaan palveluntarjoajan toimesta eikä vaadi asiakkailta suuria investointeja. Rajapinnan avulla

on myös todennäköisesti helpompi alkaa pilotoimaan joustomarkkinoiden toimintaa niin paikallisesti, kun valtakunnallisesti, etenkin PJ-verkon kuluttajien osalta. Joustomarkkinoiden kehityksen osalta on tärkeää seurata aktiivisesti myös FinFlex-hanketta ja siitä saatuja tuloksia.

Työn kirjoitushetkellä Energiavirasto (2025b) julkaisi tiedotteen, että Suomessa ollaan aloittamassa kansallista joustotarpeen arviointia osana Euroopan laajuista prosessia. Tässä arvioinnissa hyödynnetään Euroopan energiasäätelyviraston (ACER) hyväksymää yhteistä joustojen arviointimenetelmää. Menetelmän tarkoituksena on luoda yhtenäiset periaatteet, jotka mahdollistavat jäsenmaiden välisten tulosten vertailun sekä eri sähköjärjestelmien joustotarpeiden arvioinnin. EU-laajuisen selvityksen kautta määritellään pohja jäsenvaltioiden kansallisille fossiilittoman jouston tavoitteille. Näissä tavoitteissa määritellään esimerkiksi paljonko joustoa tulisi kerätä kysyntäjoustolla ja energianvarastoinnilla. Jakeluverkonhaltijoiden kuten Seiverkkojen, tulee täten arvioida vastuualueensa joustotarpeet ja toimittaa niihin liittyvät tiedot ja analyysit Fingridille osana EU-tason selvitystä. Ensimmäisen raportin joustotarpeiden arvioinnista on tarkoituksena valmistua heinäkuussa 2026 ja tätä arviointia toistetaan jatkossa kahden vuoden välein.

Pidemmällä aikavälillä, kun eksplisiittistä joustoa on verkon alueella saatavilla, tulisi miettiä, miten asiakkaiden kiinnostusta osallistua implisiittisiin joustoihin voitaisiin kehittää. Seiverkot voisi tutkia, miten tehokomponentin hinnoittelu vaikuttaisi asiakkaiden joustohalukkuuteen, jos sen rakennetta muutettaisiin. Hinnoittelua voitaisiin muuttaa esimerkiksi niin, että energia- ja perusmaksun osuuksia pienennetään ja suurennetaan tehokomponentin osuutta. Uusi hinnoittelu voisi kannustaa asiakkaita pienentämään tehohuippuja entisestään, mutta tällöin tulisi varmistaa hinnoittelun kohtuullisuus ja se, että uusi hinnoittelu ei vaikuttaisi negatiivisesti yhtiön liiketoimintaan. Tehokomponentin hinnoitteluun on tulossa Energiavirastolta tarkempi määrittely, joten on mahdollista, että tällaista hinnoittelua ei välttämättä pystytä edes toteuttamaan. Tehokomponentin todellista vaikutusta voitaisiin myös arvioida tekemällä tutkimus, jossa verrataan keski- ja pienjänniteverkon asiakkaiden kulutusta ennen ja jälkeen tehokomponentin

käyttöönoton. Tutkimuksen kautta pystyttäisiin arvioimaan tehokomponentin todellista vaikutusta tehohuippujen leikkauksessa ja kulutuksen tasaamisessa.

Nykyiset verkkopalvelusopimukset mahdollistavat vain tietynlaisen säästön ja jouston. Aikatariffit kannustavat siirtämään kulutustaan päivältä yöaikaan, mutta ne eivät sisällä kannustinta pienentää tehohuippuja. Vastaavasti tehokomponentti kannustaa pienentämään tehohuippuja, mutta normaalilla kulutuksella ei voida merkittävästi vaikuttaa siirtolaskun suuruuteen. Kun suuri tehohuippu on muodostunut, asiakkaalla ei ole enää kannustinta välttää vastaavan suuruisen tehohuipun toistumista, koska muut siirtolaskun komponentit pysyvät vakioina. Tätä varten Seiverkot voisi tutkia hybridisiirtosopimusmallia, missä yhteen siirtosopimukseen olisi yhdistettynä aika- ja tehotariffit sekä perusmaksu. Uudella sopimuksella asiakas saa taloudellisen kannustimen siirtää esimerkiksi sähköautojen latausta yöaikaan halvemmille hinnoille. Samalla sopimus myös kannustaa pienentämään päivänakaisia tehohuippuja, kun energiamaksun osuus on silloin suurempi ja sopimuksessa huomioidaan myös tehohuiput. Hybridisopimusmallissa asiakkaalla on monipuolisemmat mahdollisuudet vaikuttaa siirtolaskun suuruuteen, jolloin se voisi paremmin kannustaa osallistumaan implisiittisiin joustoihin. Haasteellista tässä sopimuksessa olisi komponenttien optimaalinen hinnoittelu, ymmärtävätkö asiakkaat uutta verkkopalvelusopimusta ja hyväksyykö Energiavirasto tällaista sopimusmallia.

8 Yhteenveto

Diplomityön tavoitteena oli tutkia ja tuottaa tietoa siitä, mitä joustopalveluita voitaisiin hyödyntää Seiverkot Oy:n jakeluverkossa toimitusvarmuus- ja kapasiteettijoustoina. Tavoitteeseen pyrittiin pääsemään kattavan kirjallisuuskatsauksen avulla sekä tutkimalla Seiverkkojen asiakkaiden kulutuskäyttäytymistä. Kirjallisuuskatsauksessa käytiin läpi energiamurrosta, sähkömarkkinoiden rakennetta ja toimintaa, jakeluverkkoliiketoimintaan liittyvää lainsäädäntöä ja Energiaviraston määräyksiä, erilaisia joustoresursseja ja joustomenetelmiä, kotimaisia ja kansainvälisiä joustohankkeita sekä kuormanohjausrajapintaa. Seiverkkojen keski- ja pienjänniteverkon asiakkaiden kulutuskäyttäytymistä tutkittiin laskemalla Spearmanin korrelaatiokertoimet ja P-arvot sähkön kulutuksen ja pörsisähkön hinnan sekä sähkön kulutuksen ja ulkolämpötilan suhteen. Korrelaatiokertoimien lisäksi kulutuskäyttäytymistä havainnollistettiin graafisesti kuvaajien avulla.

Työssä pyrittiin vastaamaan myös alla esitettyihin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä Energiavirasto on vaatinut jakeluverkkoyhtiöiltä joustopalveluihin liittyen? Energiavirasto on vaatinut jakeluverkkoyhtiöitä hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan joustopalveluita vaihtoehtona tavallisille verkkoinvestoinneille. Verkkoyhtiöiltä joustopalveluiden kehitys ja käyttöönotto edellyttää aktiivista verkko-kohtaista tutkimustyötä, verkkoalueen joustotarpeiden kartoittamista ja yhteistyötä palveluntarjoajien kanssa.
2. Millaisia joustoratkaisuja voidaan hyödyntää Seiverkot Oy:n verkkoalueella? Työssä tuotiin esille, miten joustoina voidaan hyödyntää sekä implisiittisiä, että eksplisiittisiä joustoja. Seiverkkojen tapauksessa kannattavinta on keskittyä eksplisiittisiin joustoihin etenkin toteuttamalla niitä yhteistyöhankkeina muiden yritysten kanssa, jolloin tulisi kerrallaan hankittua suurempi määrä joustoa verkon alueelle.
3. Miten kuormanohjausrajapinta voi tukea jouston käyttöönottoa?

Kuormanohjausrajapinnan eli Joustohubin kautta pystytään luomaan markkinaehtoista ja skaalattavaa joustoa. Aggregaattorit keräävät asiakkaiden kuormat yhdeksi suureksi joustoksi ja tarjoavat sitä jakeluverkoille ostopalvelun muodossa.

4. Onko Seiverkkojen asiakkaiden kulutus riippuvainen pörssisähkön hinnasta tai ulkolämpötilasta? Seiverkkojen asiakkaiden kulutus on tällä hetkellä suurimmaksi osaksi lämpötilariippuvaista, mikä tarkoittaa, että asiakkaiden kulutusta ei voida merkittävästi ohjata hinnoittelun keinojen kautta. Tutkimuksen tulosten perusteella implisiittinen jousto on jakeluverkon alueella vähäistä, mikä todennäköisesti johtuu pörssisähkösopimusten vähäisestä määrästä. Saatuihin tuloksiin ja niiden analysointiin vaikutti myös tiedonpuute asiakkaiden todellisista sähköenergian myyntisopimuksista.
5. Millainen toimintasuunnitelma tukisi Seiverkot Oy:tä kohti pilotointia ja käyttöönottoa? Seiverkkojen tulisi ensisijaisesti keskittyä eksplisiittisten joustojen suunnitteluun ja pilotointiin yhteistyössä muiden yritysten kanssa, tutkia lämmityksestä saatavaa joustoa, valmistautua kuormanohjausrajapinnan käyttöönottoon, seurata aktiivisesti FinFlex-hanketta ja siitä saatuja tuloksia sekä valmistautua toteuttamaan joustotarpeiden arviointia osana Euroopan laajuista prosessia. Pidemmällä aikavälillä tulisi miettiä, miten asiakkaita kannustetaan implisiittiseen joustoon.

Joustopalveluiden kehitys ja käyttöönotto edellyttävät jatkuvaa yhteistyötä eri toimijoiden välillä. Seiverkkojen tulee siksi aktiivisesti osallistua joustomarkkinoiden kehitykseen ja hyödyntää myös muiden verkkoyhtiöiden pilottihankkeista saatuja kokemuksia. Seiverkkojen on tärkeä myös tiedostaa, että kaikki joustoratkaisut eivät välttämättä sovi juuri heidän jakeluverkon tarpeisiinsa, sillä joustot ovat aina verkkokohtaisia. Tästä syystä aktiivinen tutkimus ja pilotointi oman verkon alueella on välttämätöntä, jotta löydetään Seiverkoille soveltuvat ja kustannustehokkaat joustoratkaisut.

Lähteet

- Afry. (2024). *Kuormanohjausrajapinnan määrittely: Loppuraportti*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/kuormanohjausrajapinnan-maarittely---loppuraportti.pdf>
- Alaperä, I., Hakala, T., Honkapuro, S., Manner, P., Pylvänäinen, J., Kaipia, T. & Kulla, T. (2019). Battery system as a service for a distribution system operator. *CIREC 2019 International Conference on Electricity Distribution*. Noudettu 30.5.2025 osoitteesta <https://www.cired-repository.org/server/api/core/bitstreams/d3f2fc60-a4f0-4b53-98bd-bbb9c7d0312d/content>
- BloombergNEF. (2024, 10. joulukuuta). *Lithium-ion battery pack prices see largest drop since 2017, falling to \$115 per kilowatt-hour: BloombergNEF*. Noudettu 24.7.2025 osoitteesta <https://about.bnef.com/insights/commodities/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>
- Caruna. (2025). *Sähkömarkkinat siirtyvät varttihinnoitteluun lokakuussa 2025*. Noudettu 6.11.2025 osoitteesta <https://caruna.fi/ajankohtaista/sahkomarkkinat-siirtyvat-varttihinnoitteluun-lokakuussa-2025>
- Energiateollisuus. (2025). *Energy year 2024 district heating*. Noudettu 31.7.2025 osoitteesta <https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Energy-Year-2024-DistrictHeating-preliminary-graphs.pdf>
- Energiavirasto. (2021). *Hallinto-oikeus hylkäsi Lempäälän Energian verkkolupaa koskevan valituksen*. Noudettu 30.5.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/-/hallinto-oikeus-hylkasi-lempaalan-energian-verkkolupaa-koskevan-valituksen>
- Energiavirasto. (2023a). *Määräys jakeluverkon kehittämissuunnitelmasta*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/22104830/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys%20Kehitt%C3%A4missuunnitelma%20231102%20FI%20AK.pdf/55c0ddd3-7f8f-27c0-38daf28a3b00fa3/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys%20Kehitt%C3%A4missuunnitelma%20231102%20FI%20AK.pdf?t=1698930958165>

Energiavirasto. (2023b). *Valvontamenetelmät kuudennella 1.1.2024 – 31.12.2027 ja seitsemännellä 1.1.2028 – 31.12.2031 valvontajaksolla*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta [https://energiavirasto.fi/docu-
ments/11120570/12766832/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+-+Mene-
telm%C3%A4liite.pdf/bc07b3d7-9b1b-e970-9be9-
f46f1c1dfc94/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+-+Mene-
telm%C3%A4liite.pdf?t=1703848648980](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+-+Mene-
telm%C3%A4liite.pdf/bc07b3d7-9b1b-e970-9be9-
f46f1c1dfc94/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+-+Mene-
telm%C3%A4liite.pdf?t=1703848648980)

Energiavirasto. (2025a). *Fingrid Oyj ja Helen Sähköverkko Oy. Ehdot ja edellytykset siirtojenhallinnan joustokapasiteetin ja joustoenergian toimittajalle*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta [https://energiavirasto.fi/docu-
ments/11120570/231706072/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20joustopalvelui-
den%20hankintaehtojen%20vahvistamisesta,%20He-
len%20S%C3%A4hk%C3%B6verkko%20Oy%20ja%20Fing-
rid%20Oyj.pdf/f796530e-febf-8726-8111-
cf20e34c106c/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20joustopalveluiden%20hankinta-
ehtojen%20vahvistamisesta,%20He-
len%20S%C3%A4hk%C3%B6verkko%20Oy%20ja%20Fing-
rid%20Oyj.pdf?t=1744625019794](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/231706072/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20joustopalvelui-
den%20hankintaehtojen%20vahvistamisesta,%20He-
len%20S%C3%A4hk%C3%B6verkko%20Oy%20ja%20Fing-
rid%20Oyj.pdf/f796530e-febf-8726-8111-
cf20e34c106c/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20joustopalveluiden%20hankinta-
ehtojen%20vahvistamisesta,%20He-
len%20S%C3%A4hk%C3%B6verkko%20Oy%20ja%20Fing-
rid%20Oyj.pdf?t=1744625019794)

Energiavirasto. (2025b). *Kansallinen sähköjärjestelmän joustontarpeen arviointi käynnistyy EU:n yhteisen menetelmän mukaisesti*. Noudettu 29.10.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/-/kansallinen-sahkojarjestelman-joustontarpeen-arviointi-kaynnistyy-eu-n-yhteisen-menetelman-mukaisesti>

Energiavirasto. (2025c). *Määräys sähkönjakelupalvelutuotteiden maksukomponenttien määräytymisperusteista*. Noudettu 28.10.2025 osoitteesta <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=2c13e1e9-ca02-43fa-b283-b8d9ec6dc4fa>

Energiavirasto. (2025d). *Sähkön siirtolaskutukseen valmistellaan muutoksia – tehomaksu tasaamaan kulutusta*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/-/sahkon-siirtolaskutukseen-valmistellaan-muutoksia-tehomaksu-tasaamaan-kulutusta>

- European Energy Research Alliance. (2016). *Pumped Hydro Energy Storage*. Noudettu 23.7.2025 osoitteesta https://www.eera-energystorage.eu/component/attachments/?task=download&id=683:EERA_Factsheet_Pumped-Hydro-Energy-Storage
- Fingrid. (2023). *Reservituotteet ja reservien markkinapaikat*. Noudettu 12.6.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>
- Fingrid. (2025a). *Päivänsisäisten ja vuorokausimarkkinoiden kehityssuunta*. Noudettu 10.6.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyys/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/paivansisaisten-ja-vuorokausimarkkinoiden-kehityssuunta/>
- Fingrid. (2025b). *Reservimarkkinat*. Noudettu 13.6.2025 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservimarkkinat/>
- Go-E. (2025, 26. kesäkuuta). *Iso 15118: The standard you can't afford to ignore any longer*. Noudettu 30.7.2025 osoitteesta <https://go-e.com/en/magazine/iso-15118-the-standard-you-cant-afford-to-ignore-any-longer>
- Haakana, J., Haapaniemi, J., Lamminpää, A. & Lassila, J. (2024). *Sähkömarkkinan hintavolatiliteetin vaikutukset sähkön kulutusjoustoön ja sähkönjakelujärjestelmään*. LUTPub. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-412-208-5>
- Haakana, J., Haapaniemi, J., Räisänen, O., Vilppo, J. & Lassila, J. (2022). *Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko – Liiketoimintamahdollisuudet ja sääntely*. LUTPub. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-825-6>
- Haakana, J., Pinomaa, A., Karppanen, J., Tikka, V., Räisänen, O., Haapaniemi, J., Mashlakov, A. & Lassila, J. (2021). *Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko – Joustoressurit käyttötoiminnassa*. LUTPub. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-689-4>
- Haapaniemi, J., Räisänen, O., Haakana, J., Vilppo, J. & Lassila, J. (2021). *Joustava ja toimintavarma sähkönjakeluverkko – Pienasiakkaiden tehoperusteinen sähkönsiirron hinnoittelu haja-asutusalueille toimivissa jakeluverkkoyhtiöissä*. LUTPub. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-706-8>

- Helen. (2025). *Jouston paikallismarkkina*. Noudettu 30.5.2025 osoitteesta https://www.helensahkoverkko.fi/ajankohtaista/jouston_paikallismarkkina/jouston-paikallismarkkina
- Honkapuro, S., Sihvonen, V., Partanen, J., Harsia, P., Kallioharju, K., Kortetmäki, A., Järventausta, P., Repo, S., Remes, L. & Ketomäki, J. (2020). *Jousto 2035 visio – Energiajärjestelmän jouston tarpeet ja toteutuspotentiaali 2035*. LUTPub. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-582-8>
- Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. & Belonogova, N. (2015). *Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli) – Loppuraportti*. Trepo. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3485-0>
- Kainulainen, M. (2019). *Haja-asutusalueen jakeluverkkoa tukevien akkuvarastojen hyödynnettävyysspotentiaali Elenian verkkoalueella*. [Diplomityö, Tampereen yliopisto] Trepo. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202001021019>
- Khajeh, H. (2024). *Improving the flexibility of future power systems: Provision of flexibility services to the system operators by different energy resources*. [Väitöskirja, Vaasan yliopisto]. Osuva. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-395-172-3>
- Koistinen, A. (2020, 14. heinäkuuta). *Valtio tuki 5 miljoonalla eurolla uraauurtavaa energiayhteisöä Lempäälässä – Nyt hanke on valmis, mutta laki estää asiakkaiden liittämisen*. Yle. Noudettu 30.5.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/3-11440600>
- Koskela, J. (2024). *Utilization of electrical energy storage in residential buildings with small-scale photovoltaic production: Techno-economic research perspective*. [Väitöskirja, Tampereen yliopisto]. Trepo. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3411-6>
- Koskela, J., Lummi, K. & Järventausta, P. (2023). *Energiayhteisön perustamisen kannattavuus ja vaikutukset sidosryhmille*. Trepo. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2791-0>

- Koskela, J., Lummi, K. & Järventausta, P. (2024). *Sähkömarkkinamalli ja eri tekijöiden vaikutukset sähkön hinnan muodostumiseen sähkön vuorokausimarkkinoilla*. Trepo. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3641-7>
- Lempäälän Energia. (2021). *Lempäälän energiayhteisö- eli LEMENE-hanke*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://www.ril.fi/media/2021/jasenyys/tietoiskut/kohti-energiaverkostoja/lemene-esittely-lintunen.pdf>
- Lempäälän Lämpö. (2021). *Edelläkävijyys Energiayhteisössä: Selvityshanke loppuraportti*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://www.eehanke.fi/wp-content/uploads/2021/11/Edellakavijyys-Energiayhteisossa-Selvityshanke-loppuraportti.pdf>
- Mojumder, M. R. H., Antara, F. A., Hasanuzzaman, M., Alamri, B. & Alsharif, M. (2022). *Electric vehicle-to-grid (V2G) Technologies: Impact on the Power Grid and Battery*. *Sustainability* 14(21), 13856. <https://doi.org/10.3390/su142113856>
- Mäkinen, J. (2022). *Sähköajoneuvojen latauksen verkostovaikutukset Seiverkot Oy:n pienjänniteverkossa*. [Diplomityö, Vaasan yliopisto]. Osuva. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022052037691>
- Nodes. (2025a). *Finflex TSO-DSO congestion management market opens on the 30th of April 2025*. Noudettu 18.6.2025 osoitteesta <https://nodesmarket.com/finflex-tso-dso-congestion-management-market-opens-on-the-30th-of-april-2025/>
- Nodes. (2025b). *Tenders*. Noudettu 30.5.2025 osoitteesta <https://portal.nodesmarket.com/onboarding/tenders?markerId=7a148e03-7f46-4f96-8c78-b2bc016fb0c0&orderBy=openTo&orderByDirection=asc&map-bounds=60.20656330532017,25.058012008666996,60.17178751358586,25.000333786010746&tab=tenders>
- Nordic Energy Research. (2017). *Demand side flexibility in the Nordic electricity market: From a distribution system operator perspective*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2017/12/Demand-side-flexibility -DSO-perspective.pdf>
- Nordic Energy Research. (2021). *Market design options for procurement of flexibility*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://www.nordicenergy.org/wordpress/wp->

[content/uploads/2021/06/Market-design-options-for-procurement-of-flexibility-1.pdf](#)

NREL. (2021). *Behind-the-meter battery energy storage: frequently asked questions*.

Noudettu 24.7.2025 osoitteesta <https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/79393.pdf>

Ollila, M. & Raassina, A. (2024). The DSO's online service for customers to enable efficient use of capacity with and electricity connection – case Helen DSO. *CIREC 2024 Vienna workshop*. <https://doi.org/10.1049/icp.2024.1922>

OneNet. (2024). *Final northern cluster demonstrator evaluation report D7.6*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta https://www.onenet-project.eu/wp-content/uploads/2024/04/OneNet_D7.6.pdf

Pantsu, P. (2025, 28. toukokuuta). *Perttu Hörkkö osti sähköauton ja yllättyi sähkölaskun ylimääräisestä maksusta – isännöitsijät pitävät rahastuksena*. Yle. Noudettu 30.5.2025 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20161575>

Raassina, A., Heine, P., Lepistö, J., Äärynen, E. & Honkapuro, S. (2023). What a DSO can do to promote EV smart charging? *2023 International Conference on the European Energy Market (EEM)*. <https://doi.org/10.1109/EEM58374.2023.10161939>

Repo, S., Järventausta, P. & Verho, P. (2023). *Joustojen hyödyntäminen jakeluverkkotoiminnan kehittämisessä*. Trepo. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3642-4>

Rinne, T. (2023). *Keskisuurten kulutuspisteiden kysyntäjousto*. Vaasan ammattikorkeakoulun verkkolehti. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231218155270>

Schober, P., Boer, C. & Schwarte, L. A. (2018a). *Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation*. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>

Schober, P., Bossers, S. M. & Schwarte, L. A. (2018b). *Statistical significance versus clinical importance of observer effect sizes: what do P values and confidence intervals really represent?* <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002798>

Seinäjoen Energia. (2024). *Tilinpäätös 2024*. Noudettu 19.8.2025 osoitteesta https://www.seinajoenenergia.fi/wp-content/uploads/2025/04/seinajoen-energia_tilinpaaatos-2024.pdf

- Seiverkot Oy. (2024). *Jakeluverkon kehittämissuunnitelma 2024*. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta https://seiverkot.fi/wp-content/uploads/2024/04/Seiverkot-Oy_-Ja-keluverkon-kehittamissuunnitelma-2024.pdf
- Sprake, D., Vagapov, Y., Lupin, S. & Anuchin, A. (2017). Housing estate energy storage feasibility for a 2050 scenario. *2017 Internet Technologies and Applications*. <https://doi.org/10.1109/ITECHA.2017.8101925>
- Sulpu. (2024). *Lämpöpumpputilasto 2024*. Noudettu 30.7.2025 osoitteesta <https://drive.google.com/file/d/1uWv9l4rMSYNWDtg5-fNU3RZ30HGt4KE4/view>
- Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588. Finlex. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2013/588>
- Tikka, V., Kalenius, J., Räisänen, O. & Lassila, J. (2021). *Loppuraportti: Sähköautojen la-
tauksen muodostama kuormitus- ja mitoitusteho erilaisissa toimintaympäris-
töissä*. LUTPub <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-716-7>
- Tilastokeskus. (2024). *Asumisen energiankulutus laski vuonna 2023 huolimatta kasva-
neesta lämmitystarpeesta*. Noudettu 6.6.2025 osoitteesta [https://stat.fi/jul-
kaisu/cln07373zly020cuty3taabma](https://stat.fi/jul-
kaisu/cln07373zly020cuty3taabma)
- Tilastokeskus. (2025a). *Liikenne ja matkailu*. Noudettu 6.6.2025 osoitteesta https://stat.fi/tup/suoluk/suoluk_liikenne.html
- Tilastokeskus. (2025b). *Suomen sähkön tuotannosta 95 % perustui fossiilittomaan ener-
giaan vuonna 2024*. Noudettu 11.6.2025 osoitteesta [https://stat.fi/jul-
kaisu/cm1kktw8ualm207vwnzpsmpc8](https://stat.fi/jul-
kaisu/cm1kktw8ualm207vwnzpsmpc8)
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2018). *Joustava ja asiakaskeinen sähköjärjestelmä: äly-
verkkotyöryhmän loppuraportti*. Valtioneuvosto. [http://urn.fi/URN:ISBN:978-
952-327-346-7](http://urn.fi/URN:ISBN:978-
952-327-346-7)
- Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta
18.8.2021/767. Finlex. Noudettu 28.5.2025 osoitteesta [https://finlex.fi/fi/lain-
saadanto/saadaskokoelma/2021/767](https://finlex.fi/fi/lain-
saadanto/saadaskokoelma/2021/767)
- Vanguard Consulting Oy. (2024). *Kuormanohjausrajapinnan kaupallistamisen edellyttä-
mien kehitystarpeiden määrittely: ST-pooli tulosraportti*. Noudettu 28.5.2025

osoitteesta <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/06/Kuormanohjausrajapinnan-kaupallistamisen-kehitystarpeet.pdf>

Väre. (2025). *Älylämmitys*. Noudettu 3.8.2025 osoitteesta <https://vare.fi/alylammitys/>