



**KUORMAOHJAUSJÄRJESTELMIEN KEHITYS JA KÄYTTÖNOTTO
LAPPEENRANNAN ENERGIALLA**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan Diplomityö

2025

Tapio Loikkanen

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen

TkT Jussi Saari

Työn ohjaajat: Professori Esa Vakkilainen

DI Sami Pesonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energijärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Tapio Loikkanen

Kuormaohjausjärjestelmien kehitys ja käyttöönotto Lappeenrannan Energialla

Energiatekniikan diplomityö

2025

56 sivua, 19 kuvaa, 4 taulukkoa

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen ja TkT Jussi Saari

Avainsanat: AMR, kuormanohjausrajapinta, kuormanohjaus, kysyntäjousto, järjestelmäkehitys

Tässä diplomityössä tarkastellaan kuormanohjausrajapinnan käyttöönottoon liittyviä vaatimuksia ja vaikutuksia paikallisen jakeluverkonhaltijan, Lappeenrannan Energian, näkökulmasta. Työn lähtökohdaksi on tarve vastata energia-alan kasvaviin vaatimuksiin sähköverkon joustavuuden, asiakaslähtöisyyden ja markkinaehtoisuuden osalta. Kuormanohjaus on tunnistettu yhdeksi keskeiseksi keinoksi vastata muuttuviin kulutus- ja tuotantotilanteisiin sekä mahdollistaa kysyntäjouston hyödyntäminen sähkömarkkinoilla.

Työn tavoitteena oli selvittää, millaisia teknisiä, toiminnallisia ja hallinnollisia vaatimuksia kuormanohjausrajapinnan toteuttaminen tuo jakeluverkonhaltijalle ja miten näihin voidaan vastata Lappeenrannan Energialla. Lisäksi tarkasteltiin, miten rajapinnan toteutus vaikuttaa olemassa oleviin mittaus-, ja asiakasjärjestelmiin ja mitä kehitystyötä näihin kohdistuu. Työssä hyödynnettiin laajasti Työ- ja Elinkeinoministeriön asettamien työryhmien koostamia raportteja, sähkömarkkinalakia, sekä Lappeenrannan Energian omia prosessikuvauksia ja ohjaustoteutuksia.

Tulosten perusteella kuormanohjausrajapinnan käyttöönotto vaatii merkittäviä panostuksia tiedonsiirtointegraatioiden varmistamiseen, erityisesti rajapintamallien ja asiakasdatan hallinnan osalta. Lisäksi organisaation sisäinen kyvykkyys tulee kehittää vastaamaan uudenlaista roolia markkinatoimijana, joka kykenee mahdollistamaan joustopalveluja eri asiakas-segmenteille. Työssä esitetään askelmerkit hallitulle käyttöönotolle, mukaan lukien teknologiset ratkaisut, resurssi- ja kustannustarpeet, sekä aikataulut ja riskienhallinta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Tapio Loikkanen

Development and implementation of load control systems at Lappeenrannan Energia

Master's thesis

2025

56 pages, 19 figures, 4 tables

Examiners: Professor Esa Vakkilainen and D.Sc Jussi Saari

Keywords: AMR, demand response, load management, system development

This master's thesis examines the requirements and impacts of introducing a load control interface from the perspective of a local distribution system operator, Lappeenrannan Energia. The starting point of the work is the growing need in the energy sector for more flexibility in the electricity grid, better customer-oriented solutions, and stronger market-based operations. Load control has been identified as an important tool to respond to changing electricity consumption and production patterns, and to support the use of demand response in electricity markets.

The main goal of the thesis was to find out what kind of technical, operational, and administrative requirements the load control interface creates for a distribution system operator, and how Lappeenrannan Energia can meet these requirements. The thesis also studied how the interface affects existing metering and customer systems, and what kind of development work is needed in these areas. The study uses a wide range of sources, including reports by working groups appointed by the Ministry of Economic Affairs and Employment, the Finnish Electricity Market Act, and internal documents from Lappeenrannan Energia describing their processes and control systems.

According to the results, implementing the load control interface requires significant investments in ensuring data communication and system integration, especially in interface modeling and customer data management. The organization also needs to strengthen its internal capabilities to take on a new role as a market participant that can offer flexible services to different customer groups. The thesis presents a step-by-step plan for controlled implementation, including technical solutions, resource and cost needs, a schedule, and risk management.

KIITOKSET

Kaikki kiva loppuu aikanaan, myös koulutaival, mutta toivottavasti oppiminen jatkuu. Tämän diplomityön myötä 2016 alkanut taival LUT:ssa tulee ainakin tältä erää päätökseen ja keskittyminen siirtyy energia-alan kehityksen perässä pysymiseen.

Työn tekeminen on antoisaa, kun aihe on mielenkiintoinen ja liittyy olennaisesti omiin työtehtäviin. Kiitokset siis työnantajalleni Lappeenrannan Energialle työn mahdollistamisesta, ohjaajalleni Sami Pesoselle kannustavasta ja ymmärtäväisestä ohjauksesta ja esihenkilölleni Eija Takkiselle työtehtävien jakamisesta siten, että diplomityön tekeminen on mahdollistanut myös ammatillisen kehittymisen työn ohessa. Kiitos myös ohjaajalleni Esa Vakkilaiselle avusta ja hyvästä palautteesta.

Erityiset kiitokset vanhemmilleni ja opiskelukavereille, jotka olette tukeneet opiskeluvuosien aikana erilaisin tavoin, aina koiranhoidosta baarin portaissa auttamiseen. Kiitokset myös kaikille kavereille, jotka ovat viimeisen 2–3 vuoden aikana jaksaneet tasaisesti kysellä ”Kuinka dippa voi?”. Ilman teitä, tämä työ ei olisi syntynyt ajallaan.

Lappeenrannassa 26.6.2025

Tapio Loikkanen

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Aggregointi	Useiden asiakkuuksien yhdistäminen kokonaisuudeksi, jota hyödynnetään markkinoilla kuormanohjauksessa, sähkön myynnissä tai ostossa.
AIM	Mittaustiedon luentajärjestelmä (kaupallinen nimi).
AMM 2.0	Toisen sukupolven älykäs sähkömittarijärjestelmä (Advanced Meter Management)
AMR	Automaattinen mittarinluenta (Automatic Meter Reading)
ATJ	Asiakastietojärjestelmä
CIS	Lappeenrannan Energian käyttämä ATJ
DH	Datahub, keskitetty sähkömarkkinoiden tiedonvaihtoalusta
Fingrid	Suomen kantaverkkoyhtiö
FOM	Field Operation Management, työmääräinten hallintajärjestelmä
HES	Landis + Gyrin mittarinhallintajärjestelmä
IEC	Kansainvälinen tiedonsiirtostandardi
Joustohub	Keskitetyn tiedonvaihtopalvelu Datahubin lisäosa, kuormanohjausrajpinta
JSON	Tiedonsiirtoformaatti, käytetään työmääräimissä
LG	Landis + Gyr, järjestelmätoimittaja
LTE	Long Term Evolution, verkkotekniikka
NB-Iot	Narrowband Internet of Things, tiedonsiirtotekniikka
P2P	Point to Point, tiedonsiirtomalli
PLC	Power Line Communication, tiedonsiirtotapa
SLY	Sähkölaitosyhdistyksen kytkentäsuositus

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto.....	8
1.1	Työn tavoitteet, tutkimuskysymykset ja menetelmät	9
1.2	Taustaa	9
1.3	Lappeenrannan Energia-konserni	10
2	Kysyntäjousto	13
2.1	Sähkömarkkinan hinnanmuodostus	13
2.2	Kysyntäjouston toiminta ja tavoitteet	16
2.3	Aggregointi	17
3	Kuormanohjaus.....	21
3.1	Mittausinfrastruktuuri	21
3.2	Kuormanohjauksen toteutustavat.....	24
3.2.1	Mittarilla toteutettava kuormanohjaus	25
3.3	Kuormanohjauksen nykytila LRE:n verkossa	26
3.4	Kannattavuus	28
3.5	Kuormanohjauspotentiaali LRE:n verkossa	31
4	Kuormanohjaus rajapinnan kautta.....	32
4.1	Sähkömarkkinalain uudistus ja kuormanohjausrajapinnan historia.....	32
4.2	Kuormanohjausrajapinnan toteutus mittalaitteiden kannalta.....	34
4.3	Kuormanohjauksen vastuut ja menettelyohjeet	36
4.4	Joustohub	38
4.5	Kustannukset.....	41
5	Käytännön toteutus Lappeenrannan Energialla.....	43
5.1	Järjestelmäarkkitehtuuri.....	43
5.2	Joustohubin vaatimukset – mitä kehitystä tarvitaan?	46
5.2.1	Reletieto	46

5.2.2	Kuormanohjauksen toteutus mittarille.....	47
5.2.3	Asiakastietojärjestelmän kehitystoimet	50
5.2.4	HAN-portti.....	51
5.3	Kustannukset.....	52
5.4	Aikataulu ja riskit.....	53
6	Johtopäätökset	55
	Lähteet	56

1 Johdanto

Edullisen sähkön saatavuutta on nyky-yhteiskunnassa pitkään pidetty itsestäänselvytenä ja kansalaisyhteisyytenä, kuten puhdasta juomavettä ja raikasta ilmaa. Viimeaikaisten geopolitiittisten tilanteiden, energiamurroksen ja ilmastonmuutoksen myötä energiantuotanto on kuitenkin läpikäynyt valtavat muutokset viimeisen 5–10 vuoden aikana, muokaten sähkön tuotannon ja hinnanmuodostuksen totut mallit uusiksi. Aiemmasta suurten polttovoimalaitosten tasaisesta tuotannosta on siirrytty uusiutuvaan, merkittävästi osin sääriippuaiseen ja vaihtelevaan tuotantoon, jolloin kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen on aiempaa haastavampaa. Jotta sähkön toimitusvarmuus voidaan taata nyt ja jatkossa ympärivuotisesti, tarvitaan sähköjärjestelmässä entistä enemmän joustoa sekä tuotannon, että kulutuksen osalta. Kulutuksen osalta kysyntäjoustoa, eli sähkökäyttäjän hetkellistä käytön vähentämistä, siirtoa tai lisäämistä on toteutettu teollisuudessa jo pitkään, mutta jatkossa myös sähkön pienkäyttäjät, eli tavalliset kuluttaja-asiakkaat halutaan mukaan kysyntäjoukon piiriin.

Nykyisellään monilla sähkön pienkäyttäjillä on jo olemassa olevia ohjauksia ja automaatioita sähkön kulutusohjausta varten, osa sähkönsiirtoyhtiöiden (verkkoyhtiöt) tarjoamana ja osa asiakkaiden omana hankintana. Perinteisiä ohjattavia kulutuksia ovat lämmitykseen liittyvät kuormat, kuten lämminvesivaraaja tai sähkölämmitys, joiden ajoitettu poiskytkentä ei aiheuta välitöntä haittaa asumismukavuudelle ja asiakkaille. Tällaisten kuormien kysyntäjousto on järkevää ja tavoiteltavaa, mutta nykymalleilla toteutettuna ei vielä riittävän joustavaa ja älykästä verkon vaatimukseen nähden.

Tämä on myös Työ- ja Elinkeinoministeriössä (TEM) huomattu, jonka vuoksi ministeriö asetti 2016 muodostetun Älyverkkotyöryhmän selvittämään ja kehittämään tulevaisuuden sähköverkoille vaatimukset ja lähtökohdat, joiden perusteella verkkoyhtiöiden tulee kehittää toimintaansa ja mahdollistaa kysyntäjousto asiakkaille mahdollisimman yksinkertaisesti ja tehokkaasti. Työryhmän raportti valmistui 2018 ja raportissa ehdotetut toimenpiteet ovat nyt vuonna 2025 siirtymässä ajatuksen tasolta lainsäädäntöön ja toteutukseen. Otteena yksi verkkoyhtiöiden mittareita koskevista ehdotuksista vuodelta 2018, jonka pohjalta TEM on muokannut uudistunutta sähkömarkkinalakia:

”Seuraavan sukupolven älymittarit mahdollistavat kuormanohjauksen. Tällä tavoin suuri osa suomalaisista saadaan kustannustehokkaalla tavalla helposti kulutusjouston ulottuville, millä voidaan parantaa esimerkiksi sähkön toimitusvarmuutta kulutusjouston lisääntymisen myötä. Jakeluverkkoyhtiön roolina on luoda tekninen alusta, ja palveluntarjoajat muodostavat varsinaiset ohjauskäskyt verkkoyhtiöiden luoman rajapinnan kautta.”

Nyt vuodesta 2023 alkaen, ensimmäiset uuden sukupolven älymittarit ovat päätyneet verkkoon asti ja työ kuormanohjausten uudistamiseksi on saatu käyntiin myös verkkoyhtiöissä. Tässä työssä keskitytään erityisesti uusien sähkömittareiden mahdollistamaan kehitykseen ja kuvatus kaltaisen kuormanohjauksen toteuttamiseen.

1.1 Työn tavoitteet, tutkimuskysymykset ja menetelmät

Työ on tehty Lappeenrannan Energialle osana verkkoyhtiön palveluiden kehitystä. Työn tavoitteena on selvittää kuormanohjauksen hyödyt ja haitat verkkoyhtiölle, kuormanohjauspotentiaali verkkoyhtiössä, sekä luoda suunnitelma lain määräämän kuormanohjausprosessin käyttöönotolle, sekä arvioida eri näkökulmien kautta vaatimuksia toteutuksen onnistumiselle. Ensimmäisenä työssä esitetään sähkömarkkinan toimintamekanismit ja mihin kuormanohjausta tarvitaan, sekä läpikäydään nykyisellä mittarikannalla voimassa olevat kuormanohjausprosessit. Luvuissa neljä ja viisi käydään tarkemmin läpi kuormanohjausrajapinnan vaatimukset, lainsäädäntö ja miten Lappeenrannan Energialla voidaan toteuttaa nämä tehokkaasti ja vaatimusten mukaisesti.

1.2 Taustaa

Uudistunut sähkömarkkinalaki astui voimaan 1.6.2023. Lain perusteella asiakkaalle tulee tarjota mahdollisuus tarjota kulutustaan 3. osapuolelle kysyntäjousto varten. Työtä tehdessä uusi laki on jo voimassa, mutta asetusten laadinta kuormanohjauksen teknistä toteutusta varten on vielä kesken. Vuonna 2021 päivitetystä mittausasetuksessa (VNA sähkötoimituksen selvityksestä ja mittauksesta 767/2021) sähkömittarin kuormanohjauskyvykyys määriteltiin seuraavasti:

”Uudessa etämittauslaitteistossa tulee olla kuormanohjausrele, jonka avulla mittauslaitteisto kykenee vastaanottamaan ja panemaan täytäntöön tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjauskomentoja. Kuormanohjausrelettä ei kuitenkaan tarvitse olla mittauslaitteistossa, joka asennetaan yli 3 x 63 ampeerin pääsulakkeilla varustettuun sähkökäyttöpaikkaan taikka sähkökäyttöpaikkaan, joka sijaitsee:

- 1) yli kahden asunnon asuinrakennuksessa; taikka*
- 2) toimisto-, liike-, teollisuus- tai varistorakennuksessa.*

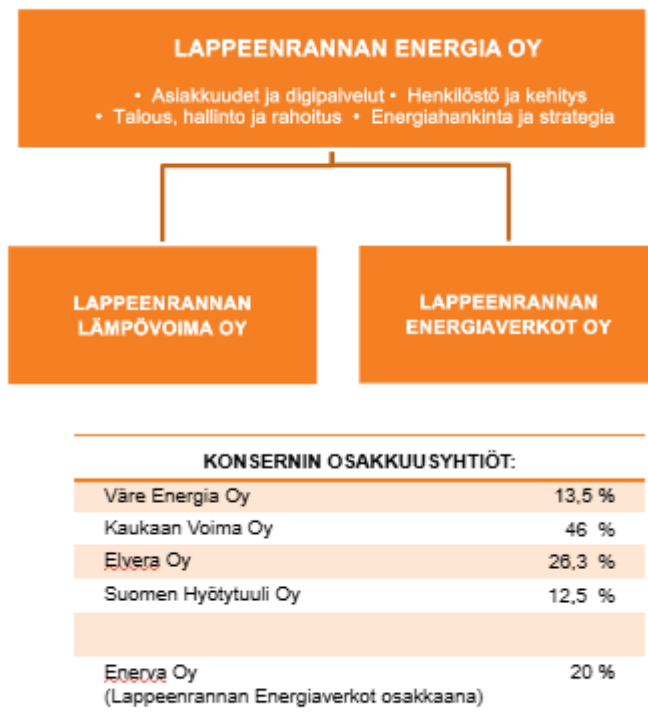
Verkonhaltijan tietojärjestelmien tulee mahdollistaa verkkonhaltijan välittämän tai antaman kuormanohjaustoiminnon toteuttaminen kuuden tunnin sisällä ohjauskäskyn antamisesta.” (Finlex, 2021).

Joulukuussa 2023 Fingrid perusti työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta rajapintatyöryhmän, jonka tavoitteena oli ”Määritellä kuormanohjausrajapinnan tekninen toteutus yhdessä sidosryhmien kanssa. Työ- ja elinkeinoministeriö laatii työryhmän työn pohjalta itsenäisen kuormanohjauksen asetukset” (Afy, 2024). Työryhmän tuottama raportti kuormanohjausrajapinnan toteutuksesta valmistui huhtikuussa 2024 ja tässä työssä viitataan nimenomaisesti tähän raporttiin asetusten valmistelun ollessa vielä kesken.

Työtä tehdessä ei siis ole täyttä varmuutta, millaiset tarkat kriteerit TEM tulee asettamaan kuormanohjauksen toteuttamiselle tai kuormanohjausrajapinnalle, mutta tiedossa on jo asetettu päivämäärä 1.9.2026, jolloin laissa määritetty kuuden tunnin sisällä tapahtuva kuormanohjauskyvykyys uusille mittareille tulee löytyä jakeluverkonhaltijoilta. Näin ollen verkkonhaltijoilla tulee erittäin todennäköisesti kiire toimivan toteutuksen kehittämisessä ja tässä työssä käsiteltävien asioiden toteuttamisessa.

1.3 Lappeenrannan Energia-konserni

Lappeenrannan Energia Oy on Lappeenrannan kaupungin 100 % omistama energiayhtiö, jonka vastuulla on sähkön, kaukolämmön ja veden jakelu Lappeenrannan alueella ja osassa lähikunnista. Lappeenrannan Energialla on kaksi tytäryhtiötä, Lappeenrannan Lämpövoima ja Lappeenrannan Energiaverkot. Lämpövoima vastaa sähkön, lämmön ja veden tuotannosta, sekä jäteveden käsittelystä, kun taas vastaavasti Energiaverkkojen vastuulla on sähkö- ja putkiverkostojen hallinnointi ja kehitys. Konsernirakenne ja listaus konsernin osakkuusyhtiöistä löytyy kuvasta 1.



Kuva 1. Lappeenrannan Energian konsernirakenne (Lappeenrannan Energia, 2025).

Työssä puhutaan selkeyden vuoksi ainoastaan Lappeenrannan Energiasta (LRE), vaikka sähköverkkojen hallinta on Energiaverkoilla. LRE tuottaa palveluna verkkoyhtiölle mittarilta laskutukseen prosessin ja toteuttaa asiakasrajapinnan palvelut, mittarihallinnan, mittaustiedon hallinnan ja tiedonvaihdon sekä näihin liittyvän tiedonsiirron ja datakehityksen, kuten Datahubiin liittyvät kehitykset ja näin ollen myös kuormanohjausrajapinnan kehityksen.

LRE:n sähköverkko kattaa Lappeenrannan lisäksi osan Lemin, Taipalsaaren ja Savitaipaleen alueista. Verkkoa on yhteensä 6350 kilometriä, verkkoalueella yhtiöllä on 59200 asiakasta ja verkossa siirrettiin vuonna 2024 yhteensä 688 GWh sähköä (677 GWh vuonna 2023). Sähkön pientuottajia verkossa on 1300 kpl yhteenlasketulla 13 MWp teholla. Vuodelle 2033 LRE ennustaa siirretyn energian nousevan 750 GWh (nousua 9 %) ja pientuotannon asiakasmäärän kasvavan 4400:n asiakkaaseen, joiden liitântäteho on yhteensä 58 MWp (440 % kasvu). Lisäksi LRE:llä on 5300 kaukolämpöasiakasta ja 13200 vesiasiakasta, joille yhtiö

tuottaa ja siirtää lopputuotteet, sekä vastaa jätevedenpuhdistuksesta. Maantieteelliset energia- ja vesihuollon alueet esitettynä kuvassa 2.



Kuva 2. Lappeenrannan Energian toiminta-alue ja verkkojen kattavuus (Lappeenrannan Energia, 2025).

Lappeenrannan Energiaverkot on osa KV11-ryhmittymää, joka koostuu nimensä mukaisesti 11 kaupunkiverkkoyhtiöstä. Energiaverkkojen osalta nimi on harhaanjohtava katsottaessa verkkoalueen jakautumista, noin 35 % verkon käyttöpaikoista sijaitsee Lappeenrannan kaupunkialueen ulkopuolella eteläkarjalaisissa maaseutukunnissa, jotka ovat tulleet asiakkaaksi LRE:n aikanaan toteuttamien yritysostojen, fuusioiden ja kuntaliitosten kautta (Lappeenrannan Energia, 2025).

2 Kysyntäjousto

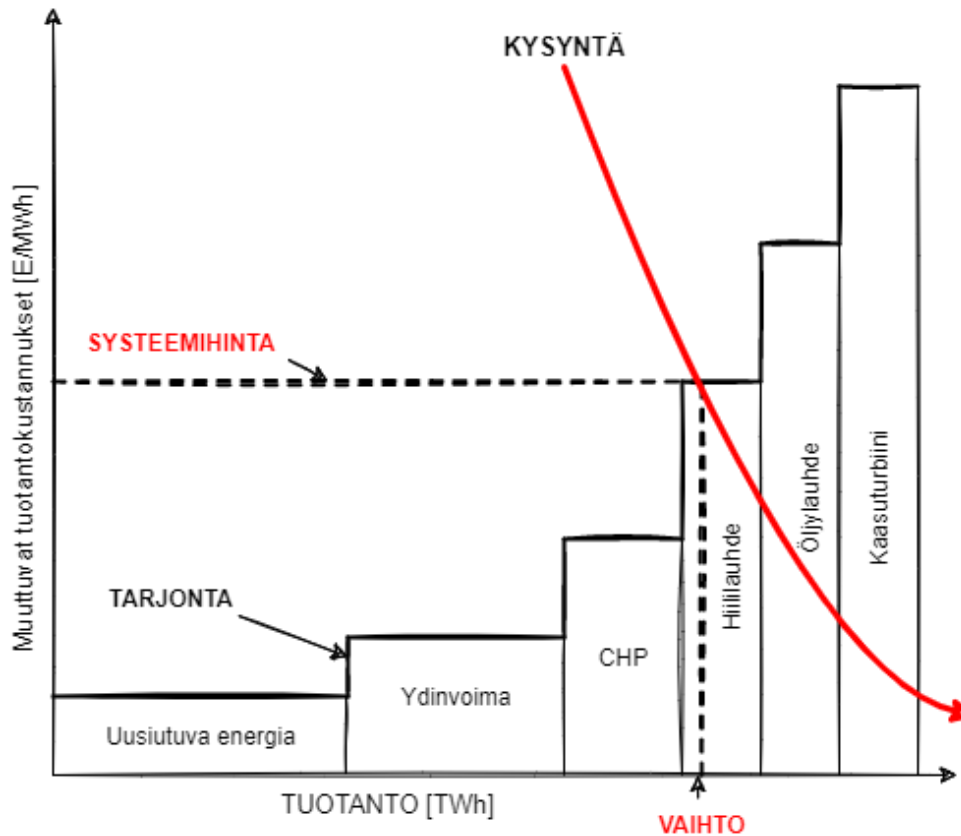
Kuormanohjauksella tarkoitetaan sähkön kulutuksen säätämistä asiakkaan, verkkoyhtiön tai 3. osapuolen toimesta. Kysyntäjoustolla taas tarkoitetaan kuormanohjauksella tapahtuvaa kulutusten siirtoa halutuille tunneille. Kuormanohjauksella siis toteutetaan kysyntäjousto tarpeen mukaan sähkömarkkinan toiminnan tehostamiseksi. Asiakkaan kannalta tarve kuormanohjaukselle syntyy nimenomaisesti sähkön kulutuksen hintavaikutuksesta, joka pyritään minimoimaan mahdollisuuksien mukaisesti. Tällaista kysyntäjoustoja, jota ohjaa hinta, nimitetään implisiittiseksi kysyntäjoustoksi. Implisiittisessä kysyntäjoustoprosessissa siirretään sähkönkulutusta tunneilta, joilla hinta on korkea, tunneille, jotka ovat hinnaltaan edullisempia. Implisiittistä kysyntäjoustoja käytetään hyväksi sähkön spot-markkinoilla, joilla määritetään päivittäin vaihtuva pörssisähkön hinta. Laajemmalla järjestelmätasolla kysyntäjoustoprosessilla varmistetaan sähköverkon toimintaa ja sähkön hinnanmuodostuksen tehokkuutta (Partanen et al., 2021).

2.1 Sähkömarkkinan hinnanmuodostus

Kysyntäjoustoprosessin ymmärtämiseksi käydään ensin läpi sähkömarkkinoiden hinnanmuodostuksen perusteet ja lainalaisuudet. Tuotetun ja käytetyn sähkön määrän tulee kohdata jatkuvasti päivä-, tunti-, minuutti- ja sekuntitasolla. Eurooppalainen sähköverkko toimii 50,0 Hz taajuudella, josta standardipoikkeama on ± 10 mHz. Tämän ylittävän taajuuspoikkeaman tapahtuessa verkon vakaus heikkenee ja häiriöt voivat näkyä loppukäyttäjille asti pahimmillaan sähkökatkoksina, kuten 28.4.2025 Iberian niemimaalla koettuna sähköverkon totaalisenä kaatumisena (ENTSO-E, 2025). Toimitusvarmuuden varmistamiseksi on rakennettu moninkertaiset mekanismit, joilla tuotanto ja kulutus kohtautetaan jatkuvasti. Ensimmäinen ja tärkein näistä mekanismeista on sähköpörssi ja day ahead-markkina (tutummin spot-markkina).

Suomi on osa eurooppalaista ja pohjoismaista sähkömarkkinaa, jolla sähkö liikkuu vapaasti rajojen yli ja hinta määräytyy aluekohtaisesti. Suomi on kokonaisuudessaan yksi hinta-alue, jolle määritetään joka päivä tunneittain vaihtuva sähkön aluehinta pohjoismaisessa sähköpörssissä, Nord Poolissa. Hinta määräytyy päivittäin klo 13 järjestettävän suljetun

huutokaupan perusteella. Sähkönmyyjät ilmoittavat kulutusennusteensa seuraavalle vuorokaudelle ja tuottajat ilmoittavat, paljonko ovat valmiita tuottamaan sähköä ja millä hinnalla. Huutokaupan sulkeuduttua Nord Pool laskee tarjousten perusteella, millä hinnalla kulutus saadaan halvimmillaan tuotettua ja ilmoittaa klo 14 tuntikohtaiset hinnat seuraavalle vuorokaudelle. Jos siirtokapasiteetti ei rajoita alueiden välistä sähkönsiirtoa (esim. Suomen ja Ruotsin välillä), muodostuu alueille sama systeemi hinta. Sähkön markkinahinta määräytyy siis kalleimman hyväksytyt tuotantotarjouksen mukaisesti, jolloin edullisemmalla tuotantoa myyvät tahot saavat paremman tuoton (Partanen et al., 2021). Hinnan muodostumismekanismi on selostettuna kuvassa 1.



Kuva 3. Sähkön hinnan määräytyminen Day Ahead-markkinalla.

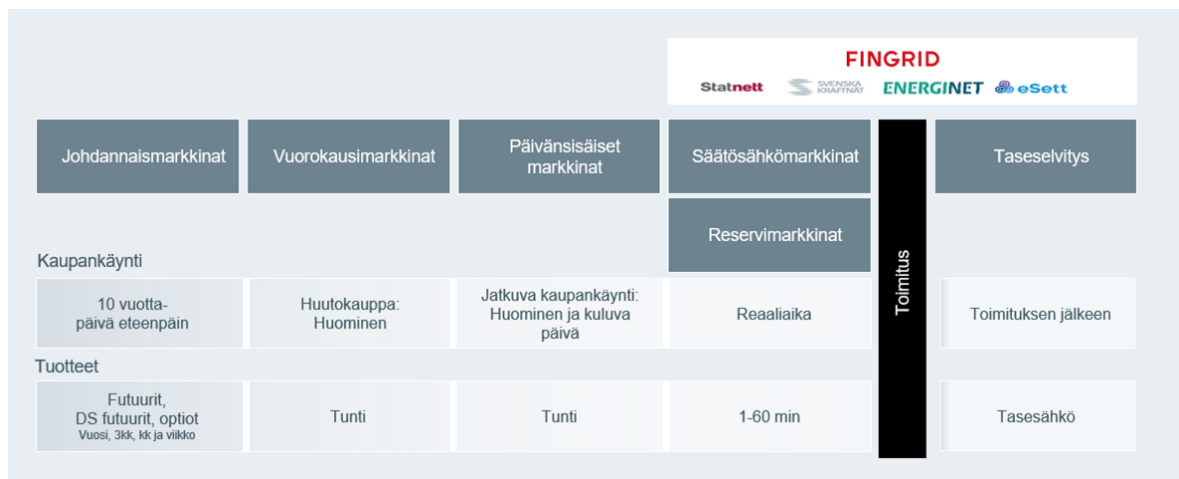
1.10.2025 alkaen tasejakson pituudeksi tulee vaihtumaan tunnin sijaan 15 minuutin tasemittausjakso. Muutoksella ei ennusteta olevan markkinan toimintalogiikkaan isompaa vaikutusta, mutta ennustettavissa on aiempaa suurempaa vaihtelua mittausjaksojen välillä johtuen täsmällisen ennustamisen vaikeudesta vartti-ikkunan sisällä. Esimerkiksi tunnin sisällä sääriippuvaisen tuuli- tai aurinkovoiman keskitehon ennustaminen on helpompaa, kuin 15 min

aikaikkunassa. Osaltaan markkinoiden varttitaseeseen siirtyminen voi parantaa kysyntäjouston kannattavuutta tarjoamalla isompaa volatilitteettia sähkön hintavaihtelulle ja tätä myötä myös kysyntää implisiittiselle kysyntäjoustolle.

Day ahead-markkinan jälkeen ajallisesti seuraava markkina on intraday-markkina, jolla sähkömarkkinan tuotanto ja kulutus saadaan tasapainotettua tarkemmin lähempänä toimitusta. Päivänsisäiset markkinat toimivat tuntitasolla jatkuvan kaupankäynnin periaatteella; ne avautuvat vuorokausimarkkinan jälkeen, jolloin markkinatoimijat voivat korjata tuotanto- ja kulutussuunnitelmiaan aina toimitusajankohdan alkuun asti, jos aikaisempaan arvioon on tullut muutoksia ulkoisien tekijöiden takia (esim. vikaantunut laitos tai säätilan muutos). Lähtökohtaisesti, mitä lähemmäs toimitusajankohtaa mennään, sitä isompi taloudellinen vaikutus kulutuksen tai tuotannon muutoksella on toimijalle.

Day ahead- ja intraday-markkinat ovat Nord Poolin ylläpitämiä kauppapaikkoja, jotka toimivat markkinaehtoisesti ja pyrkivät saavuttamaan mahdollisimman hyvän tasapainotilan sähkötaloudelle. Jos kuitenkin sähköverkon tasapaino pääsee poikkeamaan liikaa normaalista, korjataan häiriötilannetta kantaverkkoyhtiön (Fingrid) ylläpitämällä säätösähkö- ja reservimarkkinoilla. Fingrid hallinnoi nopean häiriöreservin ja säätösähkömarkkinan avulla toimitushetken tehotasapainoa aktivoimalla tarpeellisen määrän reservivoimaa tai joustoa (Partanen et al., 2021).

Reservimarkkinan aktivoituessa reservimarkkinalle muodostetaan Fingridin toimesta ilmoitus, paljonko säätötehoa tarvitaan ja reservitoimittajat ilmoittavat huutokauppaperiaatteella, mihin hintaan ovat valmiita toteuttamaan säädön. Fingrid valitsee halvimmat tarjoukset, kunnes tehotasapaino on saavutettu ja reservitoimittajat aktivoivat tarpeen mukaisesti vaaditun määrän ylösäättöä (lisää tuotantoa verkkoon tai kulutusta alas) tai alassäättöä (tuotannon alasajoa tai kulutuksen lisäystä). Reservisähkön hinnan muodostukseen vaikuttaa olennaisesti, kuinka iso tehotasapainon poikkeama on kyseessä ja paljonko joustoa on tarjolla markkinalla. Sähkömarkkinan markkinapaikat ovat esitettynä kronologisessa järjestyksessä kuvassa 4, jossa yläosassa olevat yhtiöt ovat pohjoismaiset taseselvityksestä vastaavat tahot.



Kuva 4. Sähkömarkkinoiden ajallinen jaksotus (Fingrid, 2025b).

Toimitushetken jälkeen toteutetaan vielä taseselvitys, jonka tuloksena selviää sähkömarkkinoilla toimivien osapuolten väliset toteutuneet sähkön toimitukset. Jos taseselvityksessä ilmenee virheitä, korjataan kustannusjakaamaa laskuttamalla tasevastaavaa toteutuneen poikkeaman ja toteutuneiden säätösähkökustannusten mukaisesti. Yksinkertaisena esimerkkinä taseselvityksestä, jos sähkön tuottaja on luvannut tuottaa 40 MWh sähköä tietylle ajanhetkelle ja toteutunut tuotanto onkin vain 30 MWh, on tuottaja tasevastaavana velvollinen ostamaan Fingridiltä 10 MWh tasesähköä tasesähköhinnalla. Tasesähköhinta riippuu ajanhetken tehotasapainosta, jos tuotantoa on ollut verkossa enemmän kuin tarve, tasesähköhinta on matala ja vastaavasti jos tuotannosta on ollut pula, tasesähköhinta on huomattavan korkea. Taseselvitysmekanismien kokonaisuus on huomattavasti tätä monimutkaisempi, mutta tässä työssä ei ole tarvetta perehtyä aiheeseen syvällisemmin.

2.2 Kysyntäjoustop toiminta ja tavoitteet

Kuormanhallinta on kantaverkon osalta Fingridin ja jakeluverkon osalta jakeluverkonhaltijoiden vastuulla. Molemmilla on verkonhallinnan apuna erilaisia toimenpiteitä, joilla säädelään sähkönkulutusta ja -tuotantoa vastaamaan tehotilannetta. Pienin ja yksinkertaisin jouston mahdollistaja on asiakkaan sähkömittari ja sillä sijaitseva kuormanohjausrele. Ohjaamalla releen avulla tehonkulutusta, verkon toiminta tehostuu koko ketjulla mittarilta voimalaitokselle asti.

Kysyntäjoustopia voidaan myydä aiemmin kuvatuista markkinoista kaikille, mutta kulutuksen pysyvyys ja aktivointiaika määrittelee, mille markkinalle mitäkin kulutusta voidaan tarjota.

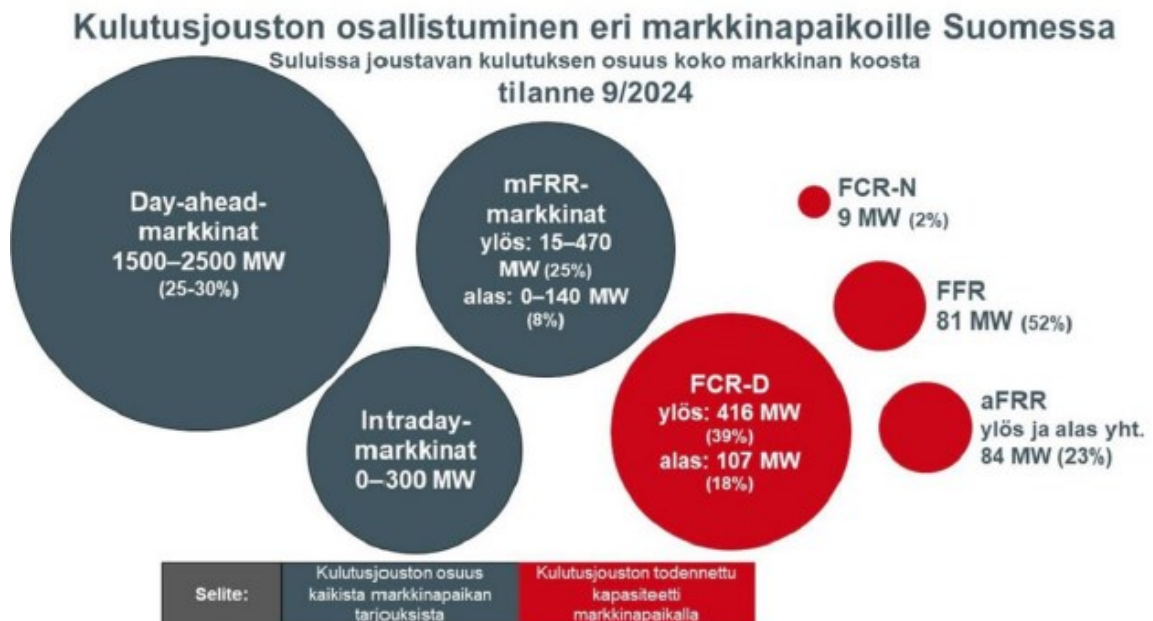
Pysyvyydellä tarkoitetaan sähkön tuotannon tai kulutuksen jatkuvuutta, joka voidaan luotettavasti ja ennustettavasti toteuttaa ja tarjota markkinoille. Esimerkkinä, jatkuvasti ajettavalla teollisuuden oikosulkumoottorilla voidaan tarjota pysyvyydeltään hyvää ja luotettavaa ylös- tai alassäätöä nopealla sekunti-minuuttitaso-aktivointiajalla jatkuvuuden ollessa lähellä 100 %. Tällaista joustokapasiteettia voidaan tarjota säätö- tai reservimarkkinoille, kun taas mittarin kuormanohjausreleen kautta toteutettavan kuormanohjauspotentiaalain todentaminen, ennakointi ja pysyvyys on huomattavasti epävarmempaa ja hankalammin ennakoitavaa. Tarkkuudeltaan tällainen joustokapasiteetti ei sovi muualle, kuin day ahead-markkinalle tai tulevaisuudessa mahdollisesti myös intraday-markkinalle. (Afry, 2024).

2.3 Aggregointi

Yksittäisen asiakkaan joustokapasiteetti on yleisesti ottaen liian pieni osallistuakseen tehokkaasti sähkömarkkinoille, joten ilman aggregaattoria yksittäisen asiakkaan kysyntäjoustop hyödyntäminen jäisi ajatuksen tasolle. Aggregaattori on markkinaosapuoli, joka niputtaa usean asiakkaan tuotantoa, kulutusta tai varastoja riittäväksi kokonaisuudeksi ja tarjoaa niiden ylös- tai alassäätöä sähkömarkkinalle. Tällä mahdollistetaan asiakkaan osallistuminen eri sähkömarkkinoille ja asiakas saa suuremman hyödyn käytössä olevista resursseistaan.

Aggregaattorina on voinut perinteisesti toimia asiakkaan sähkönmyyjä tai tasevastaava, sillä aggregaattoreilla ei ole ollut säänneltyä roolia sähkömarkkinoilla. Sähkömarkkinain muutoksen myötä markkinoilla voi jatkossa toimia myös itsenäinen aggregaattori, joka ei ole asiakkaan sähkönmyyjä tai tasevastaava, eikä se tarvitse asiakkaan sähkönmyyjän tai tasevastaavan kanssa sopimusta ohjatakseen asiakkaan kuormia (Finlex, 2025).

Itsenäinen aggregointi ei ole vielä mahdollista vuorokausimarkkinalla ja päivän sisäisellä markkinalla. Kulutusjousto osallistuu kuitenkin jo näille markkinoille muiden markkinatoimijoiden tarjoamana. Kulutusjoustop osuus kaikista markkinapaikan tarjouksista vuorokausimarkkinalla on 1500–2500 MW ja 25–30 % (tilanne syksyllä 2024).



Kuva 5. Jouston nykyinen tilanne sähköverkossa (Fingrid, 2025).

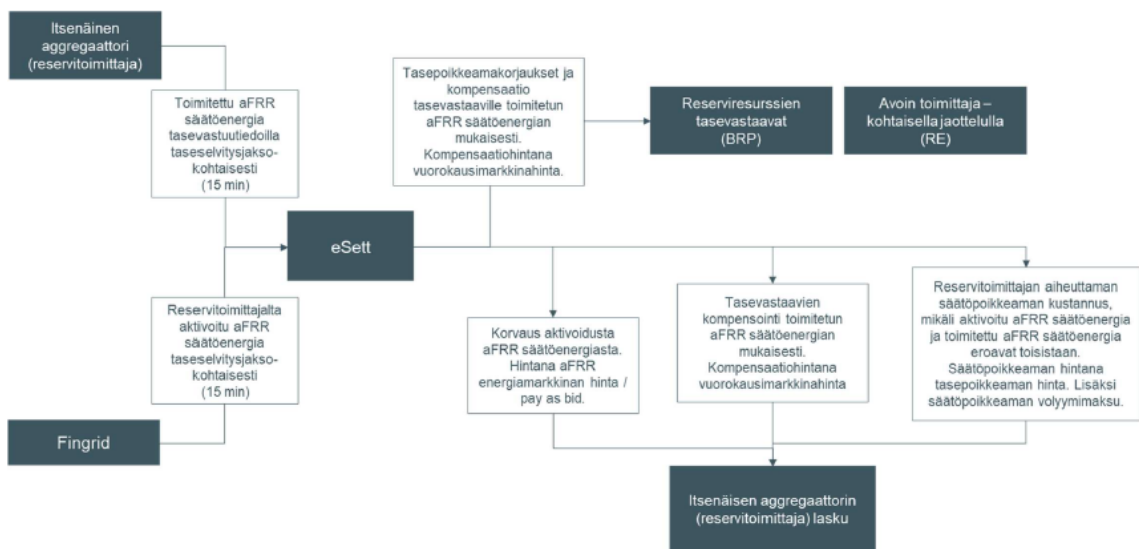
Itsenäisen aggregaattorin ero asiakkaan sähkönmyyjään ja tasevastaavaan on, että itsenäiselle aggregaattorille ei nykyisellään ole määritelty tarkasti, mitä ja kenelle sen tulee korvata, jos asiakkaan mittarin avulla vähennetään tai nostetaan kulutusta. Itsenäisten aggregaattoreiden toiminta voi lisätä sähköjärjestelmän tehokkuutta ja mahdollistaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia, mutta samalla se voi aiheuttaa ulkoisvaikutuksia muille markkinatoimijoille. Näistä merkittävimpiä ovat tasevastuiden vääristymisestä aiheutuvat kustannukset, joita syntyy silloin, kun aggregaattorin toimet johtavat asiakkaan sähkönhankinnan ja kulutuksen epätasapainoon tasejaksolla (Fingrid, 2025).

Tasepoikkeamista aiheutuvat kustannukset kohdistuvat aina epätasapainon aiheuttaneelle tasevastaavalle. Tämän vuoksi on keskeistä varmistaa, että markkinatoimijoita kohdellaan tasapuolisesti. Mikäli itsenäisen aggregaattorin toiminta vaikuttaa energiataaseeseen, sen tulee osallistua tasevastuusta aiheutuvien kustannusten kattamiseen maksamalla asianmukainen korvaus tasevastaavalle osapuolelle.

Itsenäisen aggregaattorin vastuun ja velvollisuuksien määrittäminen sähkömarkkinoilla on parhaillaan käynnissä. 2023 loppuvuodesta TEM pyysi Fingridiä ”arvioimaan itsenäisen aggregaattorin aktivoimasta kulutusjoustopaikasta aiheutuvien kustannusten korvaamisen tarkempaa toteutusta sekä käytännön toteutuksen edellyttämiä tarkennuksia itsenäisen aggregaattorin tarjoaman kulutusjoustopaikan todentamiseen, kulutusjoustopaikan huomioimiseen

taseselvityksessä sekä kulutusjoustoan liittyvän taloudellisen korvauksen maksamiseen” (Fingrid, 2025). Työryhmä sai työnsä päätökseen 27.2.2025.

Loppulausunnossaan työryhmä ehdotti mallia, jossa tasevastuiden toimivuutta testataan ensin pienemmällä aFRR-reservimarkkinalla, joka on Fingridin vastuulla ja hallinnassa. Taseselvityksen prosessikuvauksessa (kuva 6) nähdään vastuulliset osapuolet ja tehtävät toimenpiteet, jotka ovat samanlaiset riippumatta toteutetaanko taseselvitystä reservimarkkinoilla tai day ahead/intraday-markkinoilla.



Kuva 6. Taseselvityksen ehdotettu malli itsenäisen aggregaattorin osallistuessa markkinalle (Fingrid, 2025).

Prosessikuvauksen lisäksi verkkoyhtiön kannalta itsenäisen aggregoinnin työryhmän loppuraportista tärkein poiminta on yhteenvetoon koostettu lausuma:

”Työryhmä katsoo, että itsenäisen aggregoinnin mallin toteuttaminen vuorokausimarkkinalla ja päivän sisäisellä markkinalla vaatii vielä merkittävää kehitystä. Vuorokausimarkkinalle ja päivän sisäiselle markkinalle tulee määrittää tarvittavat järjestelmät ja prosessit, teknisten vaatimusten ja käyttöön liittyvien yksityiskohtien ehtoprosessi, mallin kehittämisen ja toteuttamisen vastuut ja velvoitteet sekä mahdolliset asetustason pääperiaatteet. Työryhmä suosittelee, että itsenäisen aggregoinnin vuorokausimarkkinan ja päivän sisäisen markkinan mallin toteutusta varten kerätään ensin kokemusta reservimarkkinoiden mallien toiminnasta ja vaikutuksista ja toteutetaan tarvittavia lisäselvityksiä ja analyyskejä. Työryhmä ehdottaa, että kokemuksen ja tiedon keräämiselle asetetaan ajanjakso, joka voi olla esimerkiksi kolmen vuoden pituinen.

Työryhmä suosittelee vaiheittaista etenemistä itsenäisen aggregoinnin mallien toteutuksessa, jotta vältetään mahdollisesti puutteellisten tai markkinoita häiritsevien mallien käyttöönotto.”

Tähän lopputulokseen peilaten, 1.9.2026 voimaan astuva velvoite verkkoyhtiöille toteuttaa itsenäisten aggregaattoreiden kuormanohjaukskomentoja uusille mittareille, tulee todella nopealla aikataululla. Työryhmän lausumassa mainittu 3 vuoden ajanjakso poikkeaa laissa määritellystä aikataulusta (SML 201/2025).

3 Kuormanohjaus

Kuormanohjausta voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Nykyisellään Lappeenrannan Energian verkkoalueella yleisesti käytössä olevat tavat ovat asiakkaan oman automaation kautta tapahtuva ohjaus, verkkoyhtiön mittarilta toteuttama yö-päiväaikaohjaus ja vanhanaikaisin malli, eli manuaalinen käsin tapahtuva ohjaus (laitteiden käynnistys ja sulkeminen käsin).

3.1 Mittausinfrastruktuuri

Verkkoyhtiön mittalaitteiden tulee olla standardinmukaiset ja soveltua voimassa olevaan lainsäädäntöön. LRE:n mittari- ja luentapalvelutoimittajana on Landis+Gyr (LG), joka on toimittanut 1. sukupolven älymittarit 2010-luvun alkupuoliskolla. LG toimittaa LRE:lle myös 2. sukupolven mittarit AMR 2.0-projektissa (Automatic Meter Reading, etäluettava mittarijärjestelmä). AMR 2.0-projektissa vaihdetaan LRE:n jokaiseen sähkön käyttöpaikkaan uudet mittarit, jotka kykenevät mittaamaan sähkönkulutuksen 15 minuutin mittaustietokunassa, vastaanottamaan kuormanohjauskäskyt vähintään 6 tunnin sisällä käskyn saapumisesta, sekä mahdollistavat asiakkaalle mittaustiedon toimittamisen asiakasliitännän kautta. Asiakasliitännän toteutuksena on HAN-portti (Home Assistant Network), jonka kautta asiakkaalle toimitetaan mittaustieto 5–10 sekunnin viiveellä. Tärkeimpänä uudistuksena uudet E360 mittarit käyttävät tiedonsiirtoteknologiana 4G mobiiliverkkoa hyödyntävää LTE-verkkoa (Long Term Evolution) ja tarvittaessa NB-Iot-verkkoa (Narrowband Internet of Things). (DNA, 2021; Landis+Gyr AG, 2019).

Landis+Gyrin uusi E360 mittari esitettynä kuvassa 7. Han-portti sijaitsee mittarin oikeassa etuosassa kynnyksen alla ja on suojattu liukumuovilla.



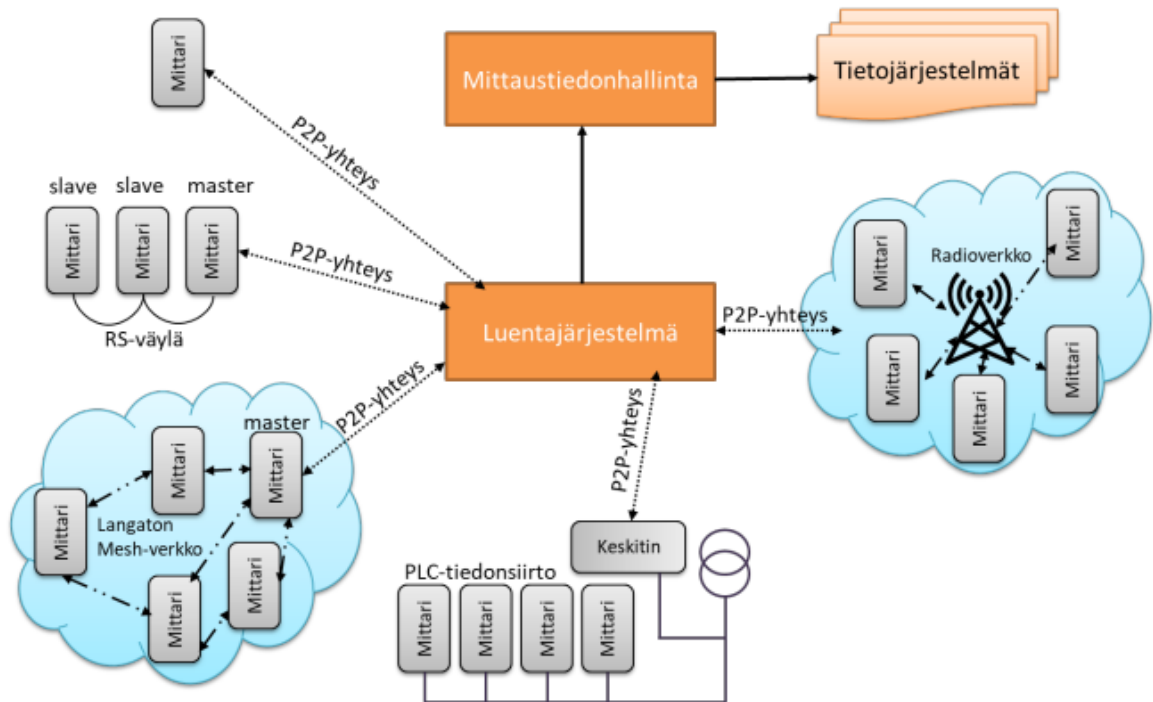
Kuva 7. Landis+Gyr E360 sähkömittari (Landis+Gyr AG, 2019).

1.5.2023 alkaen verkkoon asennettujen mittareiden on täytynyt täyttää mittaasetuksessa määritetyt minimivaatimukset, joten 2023 alkuvuodesta eteenpäin LRE:n vikaantuneiden mittareiden tilalle on vaihdettu uusia E360 mittareita. Näin ollen AMR 2.0 projektin asennuksien käynnistyessä elokuussa 2025, sähköverkossa on jo hieman vajaa 8000 uutta mittaria. Tärkeimpinä mittaasetuksesta tulevana vaatimuksena on kuormanohjauskäskyjen toteutus 6 h kuluessa käskyn saapumisesta, sekä 15 min mittaukseen kykeneminen.

Nykyisellään suurin osa LRE:n verkossa olevista mittareista ovat edellisen sukupolven E450-mittareita, jotka käyttävät tiedonsiirtoon PLC-tiedonsiirtoa (Power Line Communication). Tällöin mittarit toimittavat mittaustiedot sähköverkkoa pitkin ensin keskittimelle, joka kerää mittaustiedot yhdeksi datapaketiksi, joka toimitetaan eteenpäin mittaustietojen luentajärjestelmään kerran vuorokaudessa. Lisäksi löytyy muutamaa eri poistuvaa mittarityyppiä, joista vanhimmat käyttävät 2G-verkkoa tiedonsiirtoa varten. PLC-verkon heikkoutena on hidas siirtonopeus ja häiriöherkkyys, sillä mittarit ottavat herkästi taajuushäiriötä sähkölaitteista, kuten digibokseista ja lämpöpumpuista. Yksi lämpöpumppu voi aiheuttaa keskittimelle yhteysvian, jolloin 10–200 mittarin luentayhteys katkeaa, kunnes verkkoyhtiön asentaja on korjannut vian.

Uuden sukupolven E360 LTE-mittarit ovat P2P (Point to Point) yhteydellä toimivia ja toimittavat jatkuvasti mittaustietoa ja informaatiota luentajärjestelmään, sekä kykenevät myös vastavuoroisesti ottamaan vastaan ohjauskäskyjä reaaliaikaisesti. Mittarit pystyvät siis

vastaamaan jo annettuihin vaatimuksiin ja myös tuleviin muutoksiin. Mittareiden laskennallinen elinikä on 12 vuotta, joten on hyvin oletettavaa, että tiedonsiirron osalta tullaan tänä aikana siirtymään jatkuvasti entistä reaaliaikaisempaan tekemiseen joka osa-alueella. Tietojärjestelmät vaativatkin enemmän kehitystä kuin itse mittarit, jotka ovat tekniikaltaan kohtalaisen yksinkertaisia.



Kuva 8. Yleismallisen mittausinfrastruktuurin mallikuva (Energiateollisuus ry, 2023).

Kuvassa 8 on esitettyä perusmuotoinen verkkoyhtiön mittausjärjestelmä infrastruktuuri, jollaista LRE:lläkin hyödynnetään. LRE:llä luontajärjestelmänä toimii LG:n toimittama AIM, mittaustiedonhallinnasta vastaa Enerim EDM ja tiedot siirtyvät mittaustiedonhallintajärjestelmästä asiakastietojärjestelmään eli ATJ:hin, joka LRE:llä on Solteq Utilities CIS. CIS:ssä toteutetaan laskutus, sekä mittaustietojen raportointi keskitettyyn tiedonvaihtopalvelu Datahubiin. CIS:n avulla raportoidaan myös mittaustiedot asiakkaille online-palvelun kautta. Tarkempi prosessikuvaus LRE:n tiedonsiirtoinfrastruktuurista on esitettyä kuvassa 18.

3.2 Kuormanohjauksen toteutustavat

Malliesimerkiksi perinteisestä ohjattavasta kuormasta voidaan ottaa sähkövastuksilla toimiva lämminvesivaraaja. Vesivaraajan lämmitystarve vuorokaudessa on x-määrä energiaa, joka voidaan syöttää varaajaan vastuksilla vapaavalintaisena vuorokauden hetkenä asiakkaan tarpeen mukaisesti. Kustannusten ja laitteiden käytön kannalta jatkuva lämmittäminen 50–60 C lämpötilaan ei ole välttämättä tarkoituksenmukaista, vaan vesivaraajan säilyttäessä lämpöenergiaa tehokkaasti, nopea kuumennus korkeampaan lämpötilaan on energiankäytön kannalta parempi vaihtoehto. Tällöin vesi jäähtyy vuorokauden aikana takaisin määriteltyyn alatasoon, josta taas uusi lämmityssykli voidaan aloittaa. Vastaava toimintaperiaate on myös toisessa yleisessä kuormanohjauskohteessa, varaavassa sähkölämmityksessä, jossa lämpöä varataan esimerkiksi lattialämmityksessä lattiaan. Tällä ohjauksella ei haeta säästöä energiankulutuksessa, vaan taloudellinen säästö syntyy sähkön käytön ajoittamisesta edullisille pörssisähkön ostotunneille ja siirtotuotteen hinnoittelun huomioiden edulliselle ajankohdalle.

Esimerkinmukaisen lämmitysjärjestelyn voi toteuttaa nykyisellään ainakin kolmella eri tavalla. Yksinkertaisimpana, manuaalinen varaajan ohjaus. Tällöin asiakas itse napsauttaa varaajan päälle ja pois tarpeen mukaan. Näin asiakas saa haluamansa määrän energiaa varmasti, eikä joudu miettimään turhasta kulutuksesta tai ohjausten toteuttamisesta ja luotettavuudesta. Manuaalinen ohjaus on monelle tuttua kesämökeiltä, joissa kuumen veden tarve on kausittaista. Luonnollisesti manuaalinen ohjaus on riippuvainen käyttäjän paikallaolosta ja aikatauluista, eikä sellaisenaan sovi jatkuvaan käyttöön tai ainoaksi ohjausmenetelmäksi useimmissa kodeissa.

Vuoden 2022 energiakriisin ja teknologian kehittymisen myötä yleistynyt kuormanohjaustapa on kiinteistöautomaation kautta tapahtuva ohjaus, jossa ulkopuolinen ohjauslaite ohjaa lämminvesivaraajaa. Yleisesti ottaen tällaista toteutusta varten tarvitaan kolme pääkomponenttia: ohjattava sähkölaite, ohjausrele ja ohjauslaite, joka on yhteydessä internetiin hakien sähkön hintatiedot ja ohjaten niiden perusteella ohjausrelettä asetettujen parametrien mukaisesti. Lämmitystarpeen ja halutut parametrit, joilla lämmitys kytkeytyy voi asiakas itse asettaa. Asiakkaan kannalta kotiautomaation kautta tapahtuva kuormanohjaus on hyvä ja toimiva ratkaisu, mutta järjestelmän rakentaminen laitteistoinen ja kytkentöinen tuo

kustannuksia verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Lisäksi toimintavarmuuden varmistaminen jää asiakkaan vastuulle.

3.2.1 Mittarilla toteutettava kuormanohjaus

Nykyään yleisin käytössä oleva ohjaustapa on verkkoyhtiön mittarilta tapahtuva aikatariffin mukainen yö-ohjaus. Aikatariffilla tarkoitetaan siirtotuotetta, jossa sähkönsiirron hinnoittelu on riippuvainen kellonajasta. Yöaikana klo 22–07 sähkönsiirto on edullisempaa ja päiväsaikaan 07-22 kalliimpaa, jolloin kulutuksen painotus yölle on kannattavaa jo pelkästään siirtomaksun kannalta. Aikatariffin valinneet asiakkaat voivat hyödyntää sähkömittarin relettä kuormanohjaukseen, jolloin mittarin releeseen kytketyt sähkölaitteet kytkeytyvät päälle klo 22–23 välillä ja vastaavasti pois klo 7. Tunnin porrastus päälle kytkeytymisessä johtuu verkon kuorman hallinnasta, sillä saman jakeluverkon alueella kaikkien kuormien kytkeytyessä samanaikaisesti päälle, verkon toiminnassa voisi ilmetä alueellisia ongelmia (Lappeenrannan Energia, 2025).

Teknisesti mittarilta toteutettavan kuormanohjauksen toimintaperiaate on sama kuin kotiautomaation kautta tapahtuvassa ohjauksessa, mutta ohjauslaitteena toimii sähkömittarin rele ja kuormanohjauksen toteutus on verkkoyhtiön vastuulla. On tärkeää huomioida, ettei aika-siirto siirtosopimustyypinä itsessään tarkoita kuormanohjauksen aktivoituvan automaattisesti. Käyttöpaikalla ei ole kuormanohjausta hyödynnettävissä, mikäli sähkömittarissa ei ole kuormanohjausrelettä tai jos sähkökuorman ohjauskytkentöjä ei ole asennettu. Mikäli käyttöpaikan sähkömittarissa on kuormanohjausrele, mutta ohjauskytkentöjä ei ole vielä asennettu, käyttöönottoa varten asiakas tilaa sähköurakoitsijan tekemään tarvittavat ohjauskytkennät sähkömittarille omakustanteisesti. Jos kuormanohjausrelettä ei ole ja asiakas sen tarvitsee, sähköverkkoyhtiö on sähkömarkkinalain perusteella velvoitettu vaihtamaan releellinen mittari veloitusetta asiakkaalle (Finlex, 2021).

Aiemmin kuvattu yö-ohjaus on perua ajalta ennen etäluettavia sähkömittareita, jolloin kuormanohjausreleen aktivoituminen oli lukittu mittarin asennuksen yhteydessä asetetun kellon mukaisesti. 80- ja 90-luvuilla suorasähkölämmityksen yleistyessä öljylämmityksen korvaajana, yö-ohjaus oli suositumpaa kuin nykyään. Nykyisillä 1. sukupolven etäsähkömittareilla kellonajat eivät enää ole lukitut, vaan kuormien kytkeytymistä voitaisiin ohjata etänä asiakastarpeen mukaisesti eri ajankohdille ryhmäkalenteriohjauksen mukaisesti. Kalenterissa

määritellään releen kytkeytymis- ja katkaisuaika kullekin viikonpäivälle ja kalenteri on mittarilla päällä toistaiseksi voimassa olevana. Tällaisesta asiakaslähtöisestä kalenteriohjauksesta löytyy malliesimerkkejä esimerkiksi Savon Voimalta (esitetty kuvassa 9). Lappeenrannan Energiallakin vastaavan palvelun toteuttamista on selvitetty ja se olisi teknisesti mahdollista, mutta nykyinen mittausjärjestelmäsopimus ei mahdollista ohjauksen toteuttamista 1. sukupolven mittareille taloudellisesti kannattavasti.

	Päälle	Pois	Päälle	Pois
Ryhmä 6	1.00	5.00	10.00	14.00
Ryhmä 7	1.00	5.00	11.00	15.00
Ryhmä 8	1.00	5.00	12.00	16.00

Kuva 9. Savon Voiman kuormanohjausryhmät (Savon Voima Oyj, 2025).

AMR 2.0. projektissa asennettavat uudet E360-mittarit ja uusi AIM-mittausjärjestelmä mahdollistavat myös LRE:lle vastaavien ryhmäohjausten toteuttamisen. Lisäksi E360 mittareissa, jotka asennetaan pientaloihin ja alle 3x63A sulakkeellisiin käyttöpaikkoihin, on kaksi kuormanohjausrelettä käytettävissä. Asiakkaalle on siis teoriassa mahdollista toteuttaa eriävät ohjaukset molemmille releille ohjattavan kuorman tehontarpeen mukaisesti. Tätä ratkaisua käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.

3.3 Kuormanohjauksen nykytila LRE:n verkossa

Verkkoyhtiönä Lappeenrannan Energialla on tiedot asiakkaiden siirtotuotteista ja mihin käyttöryhmään käyttöpaikat kuuluvat. Käyttöryhmä-tieto on liittymää perustettaessa annettava Datahub-tietue, joten tietojen paikkansapitävyys ei ole täysin varma muutosten ollessa mahdollisia, mutta oletetaan tiedot työn mahdollistamiseksi paikkansapitäväksi. Vastaavasti LRE:n listauksesta releohjauksella varustetuista käyttöpaikoista ei löydy tietoa, sillä verkkoyhtiö ei ole kerännyt tietoa, millä käyttöpaikoilla on releohjaus käytössä ja millä ei. AMR 2.0 – projektin yhteydessä kaikkien mittareiden vaihtuessa, tilanne päivitetään ja kerätään ATJ:hin tieto kohteista, joissa kytkentä siirretään voimaan uudelle mittarille.

Lappeenrannan Energian verkkoalueella on

- Yhteensä 17000 sähkölämmitteistä pientaloa (rivi-, pari-, ja omakotitalo) ja ympäri-
vuotista vapaa-ajan asuntoa, joissa on kuormanohjausrele.
- 7500 aikasiirto-tuotteella olevaa ja suoralla mittauksella (3x63A tai pienempi sula-
kekoko) varustettua käyttöpaikkaa.

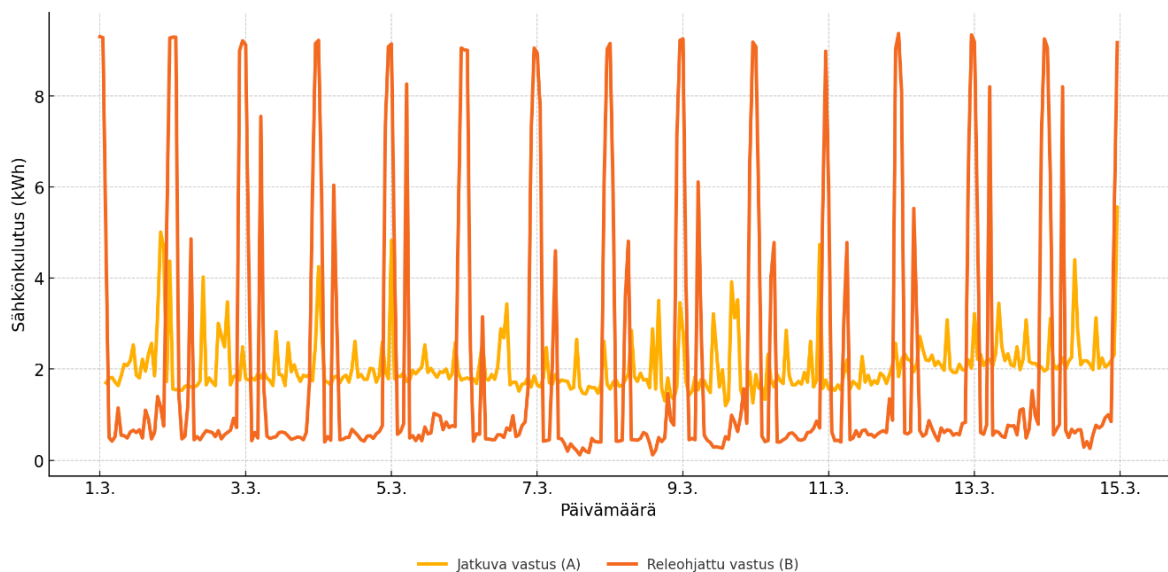
Näistä 5000 käyttöpaikkaa ovat ristiin vertailtuina sekä sähkölämmitteisiä, että aikasiirrolla varustettuja. Olettamalla näillä kohteilla olevan releohjaus aktivoituna, voidaan todeta verkossa olevista sähkölämmitteisistä kohteista n. 30 % olevan jo releohjaus aktivoituna. Mittauspalveluissa kertyneen asiakaskokemuksen perusteella tämä on kohtalaisen paikkansapitävä arvio. Nämä 5000 käyttöpaikkaa sijaitsevat pääsääntöisesti maaseudulla, joten merkitys sähköverkon kannalta on myös suurempi haja-asutusalueen verkon ollessa pienemmälle kuormalle mitoitettu. Lopuista 2500 käyttöpaikasta, jotka eivät ole sähkölämmitteisiä, mutta käyttävät aikasiirtoa, suuri osa on todellisuudessa releohjattuja, mutta ohjattava kuorma on pienempi verrattuna sähkölämmitteisiin kohteisiin. Nämä kohteet ovat pääsääntöisesti kaupunkialueilla sijaitsevia kaukolämmitteisiä taloja.

3.4 Kannattavuus

Kuluttajille suunnattuja aggregaattorin joustotuotteita ei vielä ole olemassa, mutta luonnoksia ja avauksia yhtiöiltä on jo nähty. Käytännössä aggregaattorin bisnesmalli tulee mitä todennäköisimmin perustumaan kahteen asiaan: asiakkaalle tarjotaan kuormanohjausta, jossa sähkönkulutus siirtyy automaattisesti edullisimmille mahdollisille tunneille ja asiakas on valmis maksamaan tästä palvelusta esimerkiksi kuukausikohtaisen palvelumaksun aggregaattorille. Samalla aggregaattorilla on mahdollisuus myydä asiakkaan kuormia joustona markkinalle, josta aggregaattori saa toteuman mukaan korvauksen markkinalta. Tämä korvaus jaetaan asiakkaan ja aggregaattorin välillä sopimuksen mukaisesti. Lisäksi aggregaattori sitoutuu korvaamaan toteutuneiden alas säätöjen mukaan asiakkaalle tästä aiheutuneet haitat. Tällaisia voisi olla esimerkiksi kuormanohjauksesta johtuva lämmityksen notkahdus tai muu vastaava tapahtuma (Latvanen, O, 2020).

Vertaillaksemme käytännön tasolla jatkuvan käytön ja releohjatun käyttöpaikan kulutuksia ja säästöpotentiaalia, etsittiin verkkoyhtiön asiakasdatasta kaksi käyttöpaikkaa, jotka

molemmat ovat sähkölämmitteisiä pientaloja 3x25A pääsulakkeella, toinen yleissiirtotuotteella ja toinen aikasiirrolla. Molemmista on lämmitystavat tiedossa, kohde A on sähkölämmiteinen pientalo suorasähköpattereilla, jossa käyttövesi pidetään jatkuvasti 55 asteessa. Kohde B on sähkölämmiteinen pientalo, jossa sähkövastuksella lämmitetään vesikiertoisen lattialämmityksen lämminvesivaraajaa yö-ohjauksella. Kohteiden kulutustiedot on tehty vertailukelpoisiksi skaalaamalla kohteen A kohteen B tasolle, alkuperäiset kulutukset olivat 572 kWh ja 686 kWh, verrannollisesti. Tarkastelujakso on 1.-15.3.2025, yhteensä 15 vuorokauden otos.



Kuva 11. Jatkuvalämmiteinen vesivaraaja vs. releohjauksella yölle ajoitettu vesivaraaja.

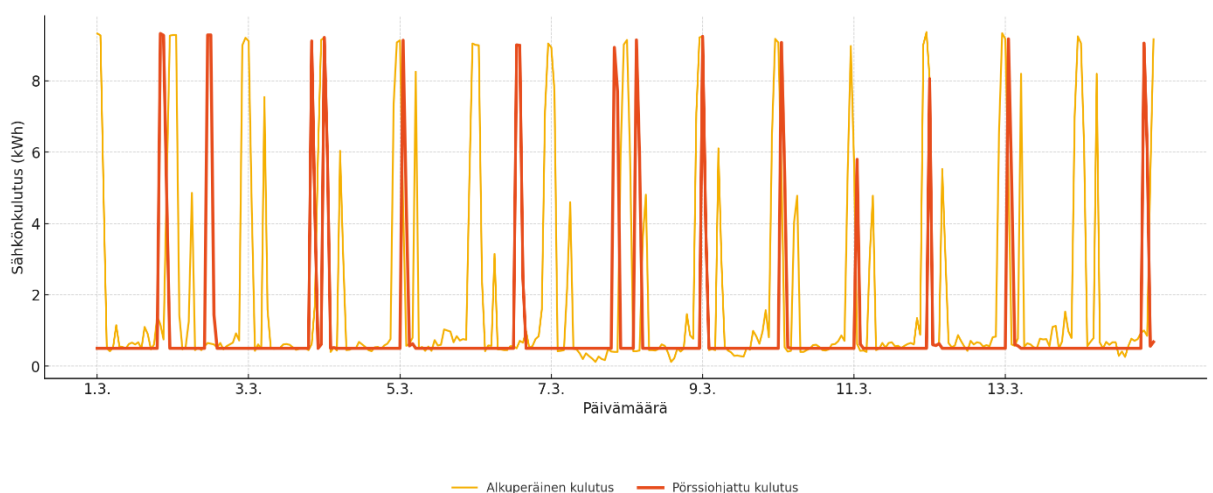
Sarjoista on nähtävissä huomattava ero kulutusprofiilissa. Kohde B:n releohjauksessa lämminvesivaraajaa lämmitetään vastusten täydellä teholla, kunnes termostaatti saavuttaa asetetun huippuarvon ja vastusten sähkönto katkeaa. Tämän lämmityssyklin kesto on yleensä noin 3–4 h ja riippuu olennaisesti varaajan koosta ja tehosta. Laskentaa varten tiedetään A:n käyttävän LRE:n yleissiirtoa ja B:n aikasiirtoa, joten täydellisen hintavertailun selvittämiseksi oletetaan molempien asiakkaiden olevan pörssisähköasiakkaita. Käytettäessä LRE:n voimassa olevaa siirtohinnastoa (perusmaksut ja kulutusmaksut huomioiden) ja pörssisähkön hintoja kyseiseltä ajanjaksolta, saadaan hintavertailun tulokset.

Taulukko 1. Käyttöpaikkojen kuluvertailu

15 vrk kulutus	Siirtomaksu (€)	Myyntihinta (€)	Yhteensä (€)
Jatkuva vastus (A)	35,18	56,97	92,15
Releohjattu vastus (B)	28,3	41,61	69,91
Pörssiohjattu vastus (B)	35,22	19,66	54,88

Taulukosta 1 on nähtävissä huomattava taloudellinen hyöty yksinkertaisen releohjauksen eduksi. Siirtotuotteen valinnalla saatava etu vaikuttaa kokonaisvertailuun vähemmän kuin myynnin osuus, mutta erotus on silti huomattava. On huomioitava, että maaliskuu on lämmityskautta, joten vastaavanlaista eroa ei kesäkaudella synny kuormanohjauksen vaikutuksen pienentyessä.

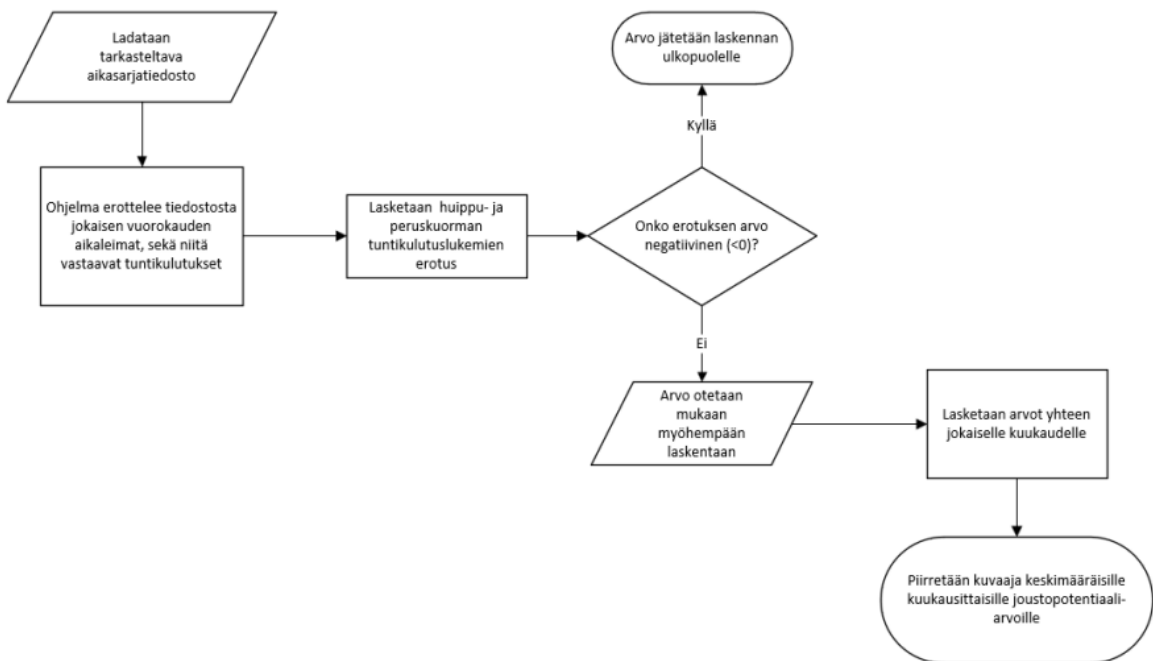
Näihin tuloksiin kiteytyy 3. osapuolen aggregoinnin kiinnostavuus asiakkaan ja aggregaattorin kannalta. Jos yksinkertaisella kuormanohjauksella saadaan näin selkeä säästö, mitä saadaan aikaiseksi, jos käyttöpaikan kuormaa ohjataankin markkinaperusteisesti? Tähän saadaan ratkaisu ottamalla kohteen B kulutusprofiili ja siirtämällä kuormanohjauksen kytkeytymisajankohtaa siten, että kulutus kohdistuu vuorokauden halvimmille neljälle perättäiselle tunnille. Käytettäessä samaa kulutusprofiilia, saadaan tulokseksi 19,66 € kustannus sähkön myynnistä ja 35,22 € kustannus sähkön siirrosta aikatariffin mukaisesti. Kuvassa 12. on esitettyinä kulutusprofiilit kohteelle B ennen ja jälkeen ohjausmuutoksen.



Kuva 12. Releohjatun käyttöpaikan kulutus ohjattuna aikatariffilla ja pörssisähköohjauksella.

3.5 Kuormanohjauspotentiaali LRE:n verkossa

Lappeenrannan Energialla on laskettu osana Fingridin selvitysprojektia koko verkon kuukausikohtaiseksi kuormanohjauspotentiaaliksi talvikuukausina (lämmityskausi) noin 12 MW ja vastaavasti kesällä n. 7 MW. Kuormanohjauspotentiaalin laskemiseksi on käytetty Elenian luomaa laskentamallia, jossa potentiaali saadaan yksinkertaistetusti mallinnettua summaamalla kuormanohjaukseen soveltuvien käyttöpaikkojen (alle 3x63A pääsulake) tuntien 23 ja 13 väliset tehoerotukset. Laskennan prosessikaavio on esitettyä kuvassa 13.



Kuva 13. Joustopotentialin laskennan prosessikaavio (Rautio, 2024).

Verkon tehohuippu on 150–160 MW talvella ja vastaavasti kesällä 50–60 MW. Ympäri vuoden laskennallinen kuormanohjauspotentiaali on siis noin 10 %. Prosenttilukuna potentiaali ei ole valtava, mutta leikkaamalla ohjauksen avulla tehohuipputunteja, verkkoyhtiö hyötyisi investointitarpeen notkahtaessa. Samaan verkkoon saataisiin siis enemmän käyttäjiä tai käyttökohteita (kuten sähköautot) ilman verkon vahvistamista, kun verkko mitoitetaan matalampien huipputehojen perusteella (Afray, 2024).

4 Kuormanohjaus rajapinnan kautta

Uuden sähkömarkkinalain mukaiset uudistukset kuormanohjauksen toteutukseen ovat merkittävät ja aiheuttavat selkeitä investointipaineita jakeluverkonhaltijoille. Tässä kappaleessa perehdytään kuormanohjausrajapinnan toteutukseen ja vaatimuksiin, joita osapuolille on asetettuna.

4.1 Sähkömarkkinalain uudistus ja kuormanohjausrajapinnan historia

Kuormanohjausrajapinta juontaa juurensa vuoteen 2013, jolloin Energiateollisuus ry:n koordinoima energia-alan sähköverkko- ja palveluntuotantoalan tutkimusta edistävä yhteistointielin Sähkötutkimuspooli (ST-pooli) käynnisti tutkimushankkeen ”Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille” (Lassila et al. 2015). ST-poolin tutkimus valmistui 2015 ja tutkimuksen toimenpide-ehdotuksissa on mainittuna yhtenäinen kuormanohjauksen mahdollistava tiedonsiirtorajapinta tulevaan Datahubiin rakennettuna, sekä uuden sukupolven sähkömittareiden kuormanohjausominaisuuksien hyödyntäminen.

Johdannossa mainitun TEM:n asettaman älyverkkotyöryhmän työ nojasi osittain tähän tutkimukseen ja myös älytyöverkkoryhmän toimenpide-ehdotukset vuodelta 2018 ovat lopulta hyvin samankaltaisia mitä ST-poolin ehdotukset. Älyverkkotyöryhmän loppuraportti on toiminut ohjaavana taustatietona uutta sähkömarkkinalakia säädettäessä. Kuormanohjauksesta työryhmä ehdotti seuraavasti: ”Älyverkkotyöryhmä ehdottaa, että jakeluverkkoyhtiöiden toteuttamasta kuormanohjauksesta luovutaan hallitusti ja siirrytään markkinaehtoiseen dynaamisempaan kulutuksen ohjaukseen viimeistään 30.4.2021.” (TEM, 2018).

Lainsäädännön ollessa hidasta ja kokonaisuuden ollessa monimutkainen, ei tähän aikatauluun päästy ja lopulta jakeluverkkoyhtiöiden toteuttama kuormanohjauskin sallittiin nyky-mallisena. Ensimmäisenä 2021 päivitetystä mittausasetuksessa (VNA 767/2021) uuden sukupolven sähkömittareiden kuormanohjauskyvykkyydestä saatiin minimireunaehdot mittalaitteille ja asennuksille, jonka perusteella jakeluverkkoyhtiöt tekivät mittarikelvailutukset ja hankinnat.

Seuraavaksi vuosina 2023–2024 kokoontui kaksi työryhmää kuormanohjausrajapinnan kehitykseen liittyen: Fingridin kuormanohjausrajapinnan teknisen määrittelyn työryhmä, sekä ST-poolin kuormanohjausrajapinnan kaupallistamisen edellytyksiä tutkinut työryhmä. Näistä Fingridin työryhmän loppuraportissa esitetyt tulokset ovat olleet ohjaavana sähkömarkkinalakia uudistettaessa ja 25.4.2025 päivitetystä sähkömarkkinalaissa jakeluverkonhaltijat kuormanohjausrajapinnan toteuttaminen kirjattiin lakiin ja annettiin Datahubin vastuulle. Tarkka lainaus muuttuneesta sähkömarkkinalaista alla (laki sähkömarkkinalain muutoksesta 201/2025, luku 7, momentti 65 b).

”Loppukäyttäjä voi jakeluverkon sähkökäyttöpaikan teknisten edellytysten täytyessä valtuuttaa vähittäismyyjän tai muun sähkömarkkinoiden osapuolen antamaan käskyt kuormansa ohjaukseen sähkökaupan keskitetyn tiedonvaihdon yksikön ylläpitämän kuormanohjausrajapinnan kautta. Valtuutus tehdään, muutetaan ja peruutetaan loppukäyttäjän ilmoituksella sähkökaupan keskitettyyn tiedonvaihdon yksikköön. Kuormanohjauspalvelusta sopiminen loppukäyttäjän ja markkinapohjaisen kuormanohjauspalvelun tarjoajan välillä ei edellytä jakeluverkonhaltijan, loppukäyttäjän vähittäismyyjän tai muun sähkömarkkinoiden osapuolen suostumusta.

Jakeluverkonhaltijan on mahdollistettava loppukäyttäjän 1 momentin mukaisesti valtuuttamalle sähkömarkkinoiden osapuolelle markkinaperusteisen kuormanohjauksen järjestämiseksi pääsy loppukäyttäjän etämittauslaitteiston kuormanohjausreleen ohjaukseen. Jakeluverkonhaltijan on mahdollistettava loppukäyttäjän kuormien ja laitteiden liittäminen kuormanohjausreleeseen.

Jakeluverkonhaltijalla on oikeus 1 momentin mukaisen valtuutuksen estämättä tarvittaessa käyttää kuormanohjausrelettä sähköverkkoon kohdistuvissa normaaliolojen häiriötilanteissa, sähköpulatilanteissa, valmiuslaissa tarkoitetuissa poikkeusoloissa tai jos on ilmeistä, että markkinapohjainen loppukäyttäjän kuormanohjaus vaarantaa sähköverkon käyttövarmuuden.

Jos loppukäyttäjä ei tee 1 momentissa tarkoitettua valtuutusta, jakeluverkonhaltijan on jatkettava loppukäyttäjällä jo käytössä olleen loppukäyttäjän verkkopalvelutuotteen mukaisen tai tämän kanssa sovitun kuormanohjauksen toteutusta. Loppukäyttäjän verkonhaltijan on aktivoitava kuormanohjaukseen loppukäyttäjän verkkopalvelutuotteen mukainen kuormanohjaus tai muu loppukäyttäjän kanssa sovitettu kuormanohjauksen toteutus 1 momentissa tarkoitettua valtuutuksen päättyessä, jollei loppukäyttäjä tee uutta valtuutusta.

Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä kuormanohjaustoiminnallisuuden toteuttamisesta ja sen edellyttämästä tiedonvaihdosta.”

Jakeluverkonhaltijan kannalta tärkeimpänä uutena tietona oli mahdollisuus jatkaa nykymallin tuoteperusteista kuormanohjausta ja kehittää myös uusia kuormanohjaustuotteita asiakkaille, sekä sähköpulatilanteissa käyttää relettä verkon toiminnan varmistamiseen. Valtioneuvoston asetusten valmistelu aloitettiin välittömästi ja Energiategollisuus (ET) perusti työryhmän valmistelun tueksi. Työryhmän loppuraporttia odotetaan vielä syksyille 2025 ja asetusten tulisi olla valmiina vuoden 2025 aikana, jolloin kuormanohjausrajoituksen käyttöönottoon jäisi vähintään 8 kuukautta aikaa. Verkkoyhtiöt ovat kuitenkin aloittaneet kehityksen jo etukäteen, vaikka tarkkoja tiedonsiirtospeksejä ja mallia ei vielä ole saatavilla.

4.2 Kuormanohjausrajoituksen toteutus mittalaitteiden kannalta

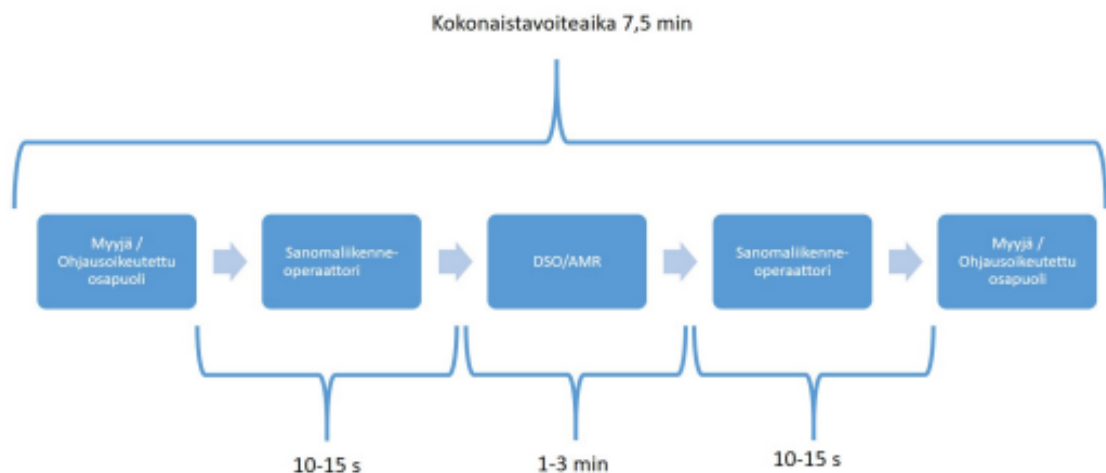
Fingridin kuormanohjausrajoituksen määrittelytyöryhmän loppuraportissa on läpikäyty kattavasti eri kriteerit kuormanohjauksen toteutukselle ja mihin nykyiset sähkömittarit kykenevät toimittajakohtaisesti. Suomessa toimii kolme mittaritoimittajaa, Aidon, Kamstrup ja Landis Gyr, joiden tarkemmat toimintamallit eroavat valmistajakohtaisesti. Kuormanohjausrelettä on mahdollista ohjata neljällä eri ohjauskäskytyypillä, jotka kaikki lähtevät verkkoyhtiön järjestelmästä. Ohjauskäskyt ominaisuuksineen ovat listattuna taulukossa 2.

Taulukko 2. Ohjauskäskyt ominaisuuksineen (Afy, 2024).

Ohjaustyyppi	Kuvaus
Välitön ohjaus (yksittäisohjaus, ad hoc - ohjaus)	Kuormanohjausreleen tilaa (päälle/pois) ohjataan välittömästi ilman ohjauskäskyn ajastusta myöhempään ajanhetkeen.
Ajastettu ohjaus	Kuormanohjausreleen tilaa ohjataan ennalta määriteltynä ajankohtina, esimerkiksi kalenteritoiminnallisuuden avulla.
Kalenteriohjaus	Kuormanohjausreleen tilaa ohjataan toistaiseksi voimassa olevalla kuormanohjauskalenterilla, joka määrittelee ohjauskomennot jokaiselle viikonpäivälle.
Suureeseen perustuva ohjaus	Ohjauskomento perustuu jonkin suureen (esimerkiksi taajuuden tai jännitteen) paikallisen raja-arvon ylitykseen tai alitukseen.

Työryhmän linjauksen mukaan suureeseen perustuvaa ohjausta ei tulla toteuttamaan kuormanohjausrajan ensimmäisessä vaiheessa, vaikka taajuusaktivoituva releohjaus voisi olla käytännöllinen taajuusohjatuilla reservimarkkinoilla. Mittausasetuksessa ei kuitenkaan edellytetä, että mittauslaite kykenee paikalliseen taajuusmittaukseen. Vaikka uudemmissa etämittauslaitteissa tällainen ominaisuus saattaa olla teknisesti mahdollinen, jakeluverkonhaltijat eivät välttämättä ole ottaneet sitä käyttöön. Lisäksi releen ohjaukseen tarvittavaa automatiikkaa ei ole määritelty. Kuormanohjausraja tullaan kehittämään näin ollen kolmen ohjaustyyppin mukaisesti (Afry, 2024).

Kuormanohjausrajan tulevat ohjauskomennot pystytään toteuttamaan näillä kolmella ohjaustyypillä, mutta on verkkohaltijan vastuulla ja päätävävallassa, mitä ohjaustyyppiä halutaan milloinkin käyttää. Tähän vaikuttaa olennaisesti kuormanohjauskäskyn kiireellisyys ja arvioitu läpimenoaika. Läpimenoajalla tarkoitetaan prosessin kestoa kuormanohjausrajaan syntyneestä käskystä toteutuneeseen ohjaukseen, joka voi vaihdella tiedonsiirtoyhteyksistä ja rajapintojen reaaliaikaisuudesta riippuen sekunneista minuutteihin. ST-poolin Empowerilta 2020 tilaaman selvityksen perusteella realistinen kokonaistavoiteaika ohjauksen läpimenoaika olisi noin 7,5 minuuttia, josta 1–3 minuuttia olisi varattuna verkkoyhtiön prosesseille (Empower IM Oy, 2020). Prosessin jakautuminen on esitettyä kuvassa 14, jossa sanomaliikenneoperaattorilla tarkoitetaan Datahubia ja joustohubia.



Kuva 14. Kuormanohjaussanoma läpimenoajan prosessikaavio (Empower IM Oy, 2020).

LG:n mittareilla ohjaustapojen priorisointi on toteutettu viimeinen komento pätee-periaatteella, joten tarvittaessa komentoja voidaan korjata ja yli kirjoittaa tarpeen mukaisesti. Välittömällä ohjauksella välitetään ohjauskomennot reaaliaikaisesti, joten tätä komentoa tullessaan oletettavasti käyttämään aluksi juuri poikkeustilanteiden korjaamiseen tai epäonnistuneen ohjauksen pakottamiseen. Verkonhaltijaa ei kuitenkaan voida velvoittaa toteuttamaan ohjausta kuin 6 tunnin päähän, joten ainakin alkuvaiheessa välittömän ohjauksen käyttö tulee oletettavasti olemaan hyvin rajattua. Tulevaisuudessa on työryhmän mukaisesti nähtävissä kehitystä, jossa päivänsisäisten ohjausten toteuttaminen on tarpeen. Tällöin LG:n mittareilla tämä toteutettaisiin välittömillä ohjauksilla, sillä ajastetun ohjauksen tekeminen kuluvalla päivälle ei ole järjestelmärajotteitten takia mahdollista.

Tärkein käytettävä ohjaustapa on ajastettu ohjaus, jolla voidaan määritellä seuraavan vuorokauden kalenteriohjaus, eli käytännössä spot-hinnan määrittely ohjaus. Kalenteriohjauksella taas toteutetaan pohjakalenteri, joka on asiakkaan verkkosopimustuotteen mukainen kalenteri tai erikseen verkkonhaltijan kanssa sovittu ohjauskalenteri (esim. malli Savon Voima, kuva 6). Pohjakalenterin mukainen ohjaus palautuu oletuksena käyttöön, kun ajastetun ohjauksen voimassaolo päättyy (Afry, 2024).

Mielenkiintoisena lisätietona työryhmä on huomionnut kuormanohjausreleen teknisen käyttöönsä: releen arvioidaan valmistajien mukaan kestävän ”muutamia kymmeniä tuhansia ohjauksia”. Laitteiden laskennallisen käyttöiän ollessa 12–15 vuotta, 15 vuoden ajanjaksolle jaettuna esimerkiksi 40 000 ohjauskäskyä tekisi reilut 7 ohjausta per päivä. Nykyisillä ohjauksilla tällaiset määrät eivät tule täyteen, mutta rajapinnan ollessa käytössä ja sähkömarkkinan siirtyessä 15 minuutin hinnoitteluun, määrät tulevat oletettavasti moninkertaistumaan.

4.3 Kuormanohjauksen vastuut ja menettelyohjeet

Verkonhaltijan vastuulle säilytetyt tehtävät kuormanohjauksen toteutuksessa (mittalaitteiden asennusten ja ylläpidon lisäksi) ovat työryhmän esityksen mukaisesti seuraavanlaiset:

- Ylläpitää tietoa datahubissa käyttöpaikoista, joihin on asennettu kuormanohjauksen mahdollistava kuormanohjausrele tai releet (tieto releen olemassaolosta).

- Toteuttaa valmiuden vastaanottaa määrämuotoisia kuormanohjaussanomiam ja välittää niitä uusille etämittauslaitteille sekä suorittaa kuormanohjausraja-pintaa operoi-van tahon edellyttämät sertifioinnit.
- Hakee tai vastaanottaa joustopalveluntarjoajan lähettämiä ohjaussanomiam kuor-manohjausraja-pinnasta ja välittää sanoman mukaiset ohjaukset etämittauslaitteelle toteutettavaksi. Palauttaa kuormanohjaussanomiamin liittyvät kuittaukset kuormanoh-jausraja-pinnan kautta joustopalveluntarjoajalle.
- Vastaa joustopalveluntarjoajan selvityspyyntöihin mahdollisissa ohjauksiin liitty-vissä virhe- tai ongelmatilanteissa sekä asiakkaan mahdollisiin kyselyihin käyttöpai-kan ohjattavuudesta.
- Informoi joustopalveluntarjoajaa tilanteissa, joissa jakeluverkonhaltija on joutunut ohittamaan joustopalveluntarjoajan määrittelemät ohjaukset (Empower IM Oy, 2020).

Listaus vastuista on selkeä ja hyvin rajattu, yhdistettynä kuormanohjausten menettelyohjei-siin (taulukko 3.) verkonhaltijalla on selkeä kuvaus toteutettavasta järjestelmästä, vaikka tekniset tiedot ja rajapintakuvaukset vielä odottavatkin Fingridin valmistelua.

Taulukko 3. Kuormanohjausten menettelyohjeet tiivistettynä (Afry, 2024).

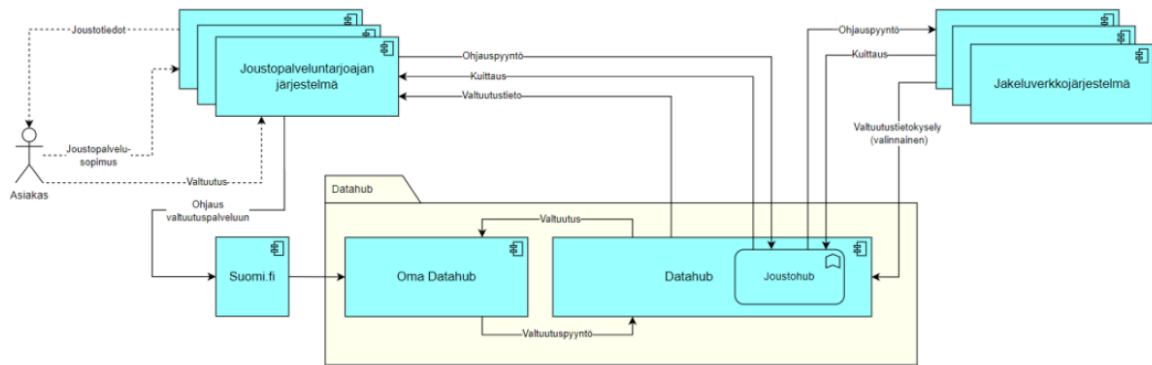
Asia	Kuvaus
Ohjausjaksojen lukumäärä vuorokaudessa	96. Toteutuksen tulee tukea 15 minuutin kaupankäyntijaksoa. Toisin sanoen oh-jauksia tulee voida asettaa 15 minuutin tarkkuudella.
Kalenteripohjaisten ohjausten rajoitukset	Tarve rajoittaa ohjausjaksojen sallittua enimmäismäärää vuorokaudessa mittaus-ratkaisujen teknisten rajoitteiden vuoksi.
Ajastetut ohjaukset	Sallitaan vain kuluvalle ja seuraavalle vuorokaudelle. Rajoitus voidaan toteuttaa teknisesti.
Ohjaussanomien määrä	Voidaan rajoittaa tiettyyn määrään vuoro-kaudessa väärinkäytösten ja tietoturvauih-kien estämiseksi, määriteltävä toimialan menettelytavoissa. Pakollista releen kes-ton kannalta
Ohjausten määrä ohjaussanomassa	Välitön ohjaus voi sisältää vain yhden oh-jausjakson. Ajastetussa ohjauksessa yksi sanoma voi sisältää useita jaksoja yhdelle vuorokaudelle.

Pohjakalenteri	Mittauslaitteella oltava kuormanohjauskalenteri, joka varmistaa sähkönsaannin tilanteissa, joissa ohjauksia ei voida välittää. Jakeluverkonhaltija vastaa konfiguroinnista.
Pohjakalenterin päivitys	Joustopalveluntarjoaja ei voi päivittää pohjakalenteria. Jos sallitaan, päivitys on rajoitettava hyväksytyihin vaihtoehtoihin, eikä se saa vaarantaa sähkönsaantia valtuutuksen päättyessä.
Kaksi kuormanohjausrelettä	Ratkaisun tulee tukea kahden releen ohjausta. Jakeluverkonhaltija voi valita käytettävän releen, jos vain yksi on käytössä.
Kuormien kytkeminen	Ei yhtenäistä käytäntöä. Menettelyohjeissa tulee linjata toimintatavat ja mahdolliset veloitukset sinettien käsittelystä.
Valtuutukset	Linjattava valtuutuksen voimassaolo (määräaikainen/toistaiseksi). Joustopalveluntarjoajan valtuutuksen päättämisoikeus selvittävää.
Valtuutuksen päättäminen ja uusi valtuutus	Määriteltävä, voiko asiakas antaa uuden valtuutuksen ennen vanhan päättymistä ja voiko määräaikaisen päättää ennen aikojaan. Valtuutuksen päätyttyä noudatetaan pohjakalenteria.
Asiakkaan ohjausmahdollisuus	Asiakkaan mahdollisuus määritellä ohjausajat itse tulee linjata, erityisesti itsepalvelutilanteissa ilman valtuutusta.
Tiedon näkyvyys sähkönmyyjälle	Sähkönmyyjän tulee voida tarkistaa, onko asiakas valtuuttanut ohjauksia, ilman että tietoa valtuutetusta paljastetaan.
Ohjausten satunnaisviive	Menettelyohjeissa linjattava satunnaisviiveiden käyttö erityisesti spot-ohjauksissa. Välittömissä ohjauksissa viivettä ei sallita.
Tiedonvaihto DSO:n ja joustopalveluntarjoajan välillä	Menettelytavoissa kuvattava tiedonvaihto virhe- ja poikkeustilanteissa, kuten sähköposti-yhteystiedot ja ohitustilanteet.

4.4 Joustohub

Kuormanohjausrajapintatyöryhmä päätyi määrittelytyössään suosittelemaan kuormanohjausrajapinnan toteutusmuodoksi ”joustohubia” osana Datahubia, jolloin kustannukset ja toteutusaikataulu ovat mahdollisimman tehokkaat. Tällöin hyödynnettäisiin Datahubin

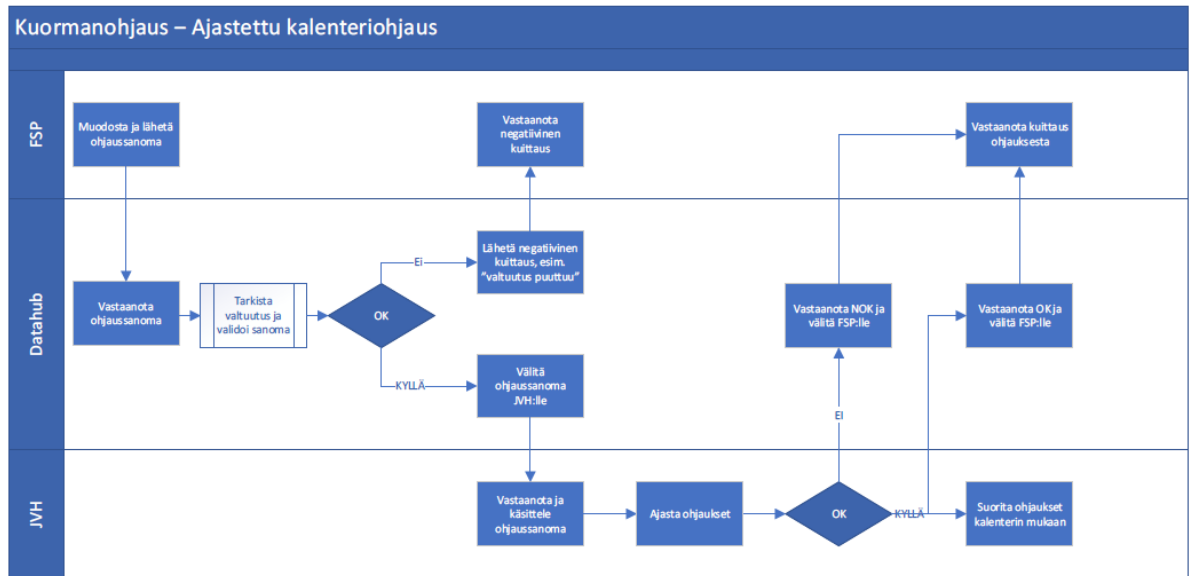
olemassa olevia tiedonsiirtorakenteita ja asiakastietoja, joiden päälle rakennetaan lisäominaisuuksia valtuutuskäsittelylle, sekä ohjauspyynnöille.



Kuva 15. Markkinaehtoisen kuormanohjauksen järjestelmäarkkitehtuuri (Afry, 2024)

Kuvassa 15. esitetään työryhmän esittämä malli joustosopimuksen tiedonvaihdon osalta. Asiakkaan vastuulle tulee tehdä joustopalvelusopimus 3. osapuolen joustopalveluntarjoajan kanssa, antaa tälle valtuutus ohjata kuormia asiakkaan puolesta, sekä toimittaa tiedot ohjattavista kuormista, joita aggregaattori voi hyödyntää. Tästä eteenpäin tiedonsiirron päivittämisen tulee olla automaattista ja reaaliaikaista aina joustopalveluntarjoajalta jakeluverkkojärjestelmään.

Asiakkaan valtuutus kuormanohjauksesta tulee tapahtua vahvan tunnistautumisen kautta (Suomi.fi) Datahubiin, joka ylläpitää valtuutuksia osana Datahubin asiakastietoja. Hyväksytyyn valtuutukseen jälkeen Datahub palauttaa aggregaattorille hyväksyntäkuittauksella tiedonvaltuutuksesta, jolloin aggregaattori voi alkaa toimittamaan ohjauspyyntöjä joustohubiin. Joustohubin ja jakeluverkonhaltijan välinen kommunikointi tapahtuu nimenomaisen kuormanohjausrajapinnan kautta (oletettavasti push-rajapinta), josta joustohubista saapuva ohjauspyyntö kirjautuu verkkoyhtiön ATJ:lle. ATJ:lta ohjauskäsky lähtee mittausjärjestelmään, joka ohjaa sähkömittarin relettä. Onnistuneesta/epäonnistuneesta ohjauksesta palautuu kuittaussanoma ATJ:lle, josta tieto kulkee samaa reittiä joustohubiin ja aggregaattorin järjestelmään. Datahub validoi kaikki saapuneet ja lähtevät sanomat, jotta tiedonsiirto pysyy ajan tasalla ja päällekkäisiä ohjauskäskyjä ei pääse syntymään tai vanhentuneita ohjauskäskyjä pääse eteenpäin mittarille (Afry, 2024).



Kuva 16. Ajastetun kalenterikuormanohjauksen prosessikaavio (Afy, 2024).

Kuvassa 16 on prosessikaaviossa kuvattu ajastetun kalenteriohjauksen tiedonsiirtoprosessi, jossa kuormia ohjataan seuraavalle vuorokaudelle. Prosessi on vastaava myös kalenteriohjauksella ja välittömällä ohjauksella. Huomioon otettavaa on, että molempien ohjauksien kuittausanoma lähtee välittömästi mittarille rekisteröimisen jälkeen. Ajastetusta ohjauksesta lähtee vain yksi sanoma, kun ohjaus on rekisteröitynyt mittarille, eikä erillistä kuittausanomaa onnistuneen ohjauksen jälkeen.

Ohjaussanomana tulee sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- Ohjattavan käyttöpaikan GSRN-tunnus
- Kalenteripohjaisissa ohjauksissa ja ajastetuissa ohjauksissa ohjausjaksojen päivämäärät ja kellonajat sekä releen tila (päällä/pois) kunkin ohjausjakson aikana. Vuorokaudessa 15 minuutin ohjausjaksoja on 96, joista ohjausajat valitaan. Rajauksena, että mittauslaitteen kuormanohjauskalenteri on toistaiseksi voimassa oleva (pohjakaalenteri) ja ajastettuja ohjauksia on mahdollista tehdä vain kuluvalle ja seuraavalle vuorokaudelle.
- Välittömissä ohjauksissa ohjauksen päättymisajankohta sekä releen tila ohjauksen aikana ja ohjauksen päättyttyä (päällä/pois).

- Reitityksen, kuittausten ja lokituksen vaatimat yleiset sanoman tunnistetiedot: mm. sanoman ID, lähettäjä, sanoman lähetyksen aikaleima
- Tieto ohjattavasta releestä, mikäli käyttöpaikalla on kaksi joustopalveluntarjoajan ohjattavissa olevaa relettä.
- Ohjaussanoma tulee olla käyttöpaikkakohtainen ja mikäli käyttöpaikalla on kaksi ohjattavissa olevaa relettä, ohjaussanomana tulee olla lisäksi relekohtainen. Samalla sanomalla ei voi välittää ohjauksia useammalle käyttöpaikalle tai mittauslaitteen molemmille releille.

Tarkka määrittely ohjaussanomana tietosisällöille tehdään Fingridin hankintavaiheessa ja tämän perusteella verkkoyhtiöt pystyvät alkamaan rakentamaan omia integraatioitaan. Suurimmalla osalla verkkoyhtiöistä on käytössä integraatioalusta, jonka kautta luetaan tietoa muista järjestelmistä ja jalostetaan saatujen sanomien perusteella tiedot oikeaan formaattiin omiin järjestelmiin. Sellaisenaan ohjaussanoma ei tule menemään mittarille, vaan välissä on verkkoyhtiön järjestelmän mukaan useampi konversio (Afy, 2024).

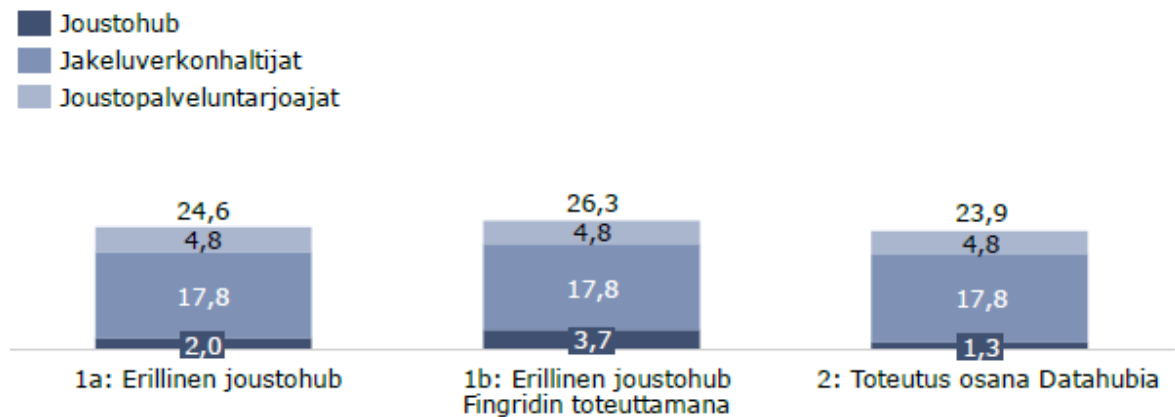
4.5 Kustannukset

Joustohubin kustannuksia on haarukoitu työryhmän toimesta järjestelmä- ja verkkoyhtiötoiselle järjestelmätoimittajien alustavien arvioiden perusteella. Kustannukset jakautuvat seuraaviin kokonaisuuksiin: joustohubin investointi- ja vuosikustannus, jakeluverkonhaltijan investointi- ja ylläpitokustannus, sekä joustopalveluntarjoajan kustannukset. Suurimmat kustannukset kohdistuvat verkonhaltijoille joustohubin ja palveluntarjoajien päästessä pienemmillä kehityskuluilla. Verkonhaltijan vastuulle jää käytännössä ohjauksien toteuttaminen, sekä ohjaustietojen ylläpito, sekä asiakasrajapinnassa ongelmien selvittely. Työryhmä tunnisti muutoksen vaativan jakeluverkkoyhtiöiltä kehitystyötä, joka kasvattaa operatiivisia kustannuksia lisääntyneen henkilöresurssitarpeen sekä järjestelmien ja integraatioiden kehittämisen sekä käyttö- ja ylläpitokustannusten myötä.

Tarkempia kustannuksia haarukoitiin käyttöpaikkakohtaisella hinta-arviolla, sillä työryhmän jäsenten arviot investointikustannuksista heittelivät 15000 euron ja 700000 euron välillä, samoin kuin ylläpitokustannuksien haarukka oli 250 euron ja 150000 euron välillä. Käyttöpaikkakohtaiseksi investoinnin kustannusarvioksi saatiin 50001–100000

käyttöpaikan verkkoyhtiöllä 2 euroa per käyttöpaikka, sekä vuotuiseksi kustannukseksi 20 % investointikustannuksesta. Lappeenrannan Energialla tämä tarkoittaisi 58000 käyttöpaikan osalta noin 116000 euron alkuinvestointia ja vuotuisesti noin 23000 euron ylläpitokustannuksia (Afry, 2024).

Kokonaiskustannukset 10 vuoden ajalta eri toteutusvaihtoehtojen perusteella esitettynä kuvassa 17. Arviossa ei ole huomioitu rahanarvonmuutosta, ja kustannusten oletetaan pysyvän vakiona koko 10 vuoden ajan. Kuvan toteutustavoista tapa 2. on työryhmän suosittelu ja samalla kokonaiskustannuksiltaan edullisin.



Kuva 17. Joustohubin kustannusvertailu (Afry, 2024).

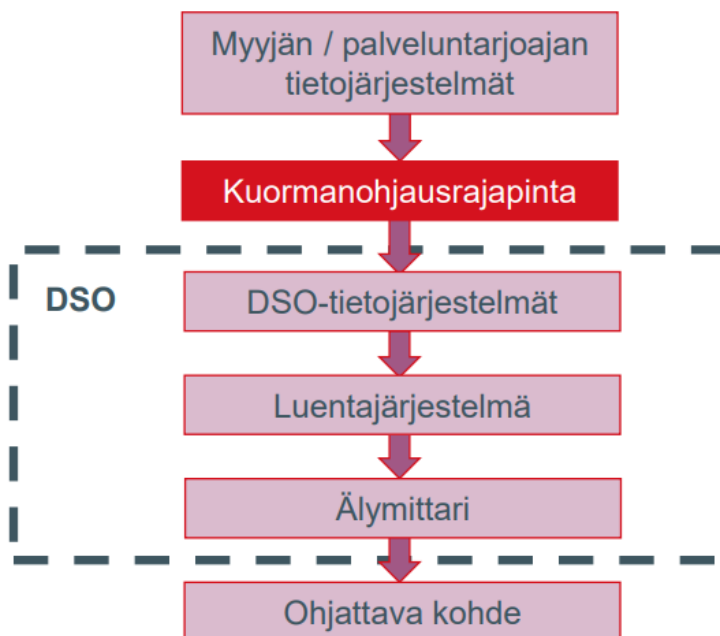
Jakeluverkkoyhtiöiden kannalta huomioitavaa on, että kuormanohjausrajoituksen ja jouston mahdollistavien kehitystoimenpiteiden voi olettaa menevän Energiaviraston valvontajaksolle 2024–2027 julkaiseman joustokannustimen alle. Tällöin kehityskulut sisällytetään verkkoyhtiön hyväksyttäviin tuottoihin ja käytännön kulut laskevat.

5 Käytännön toteutus Lappeenrannan Energialla

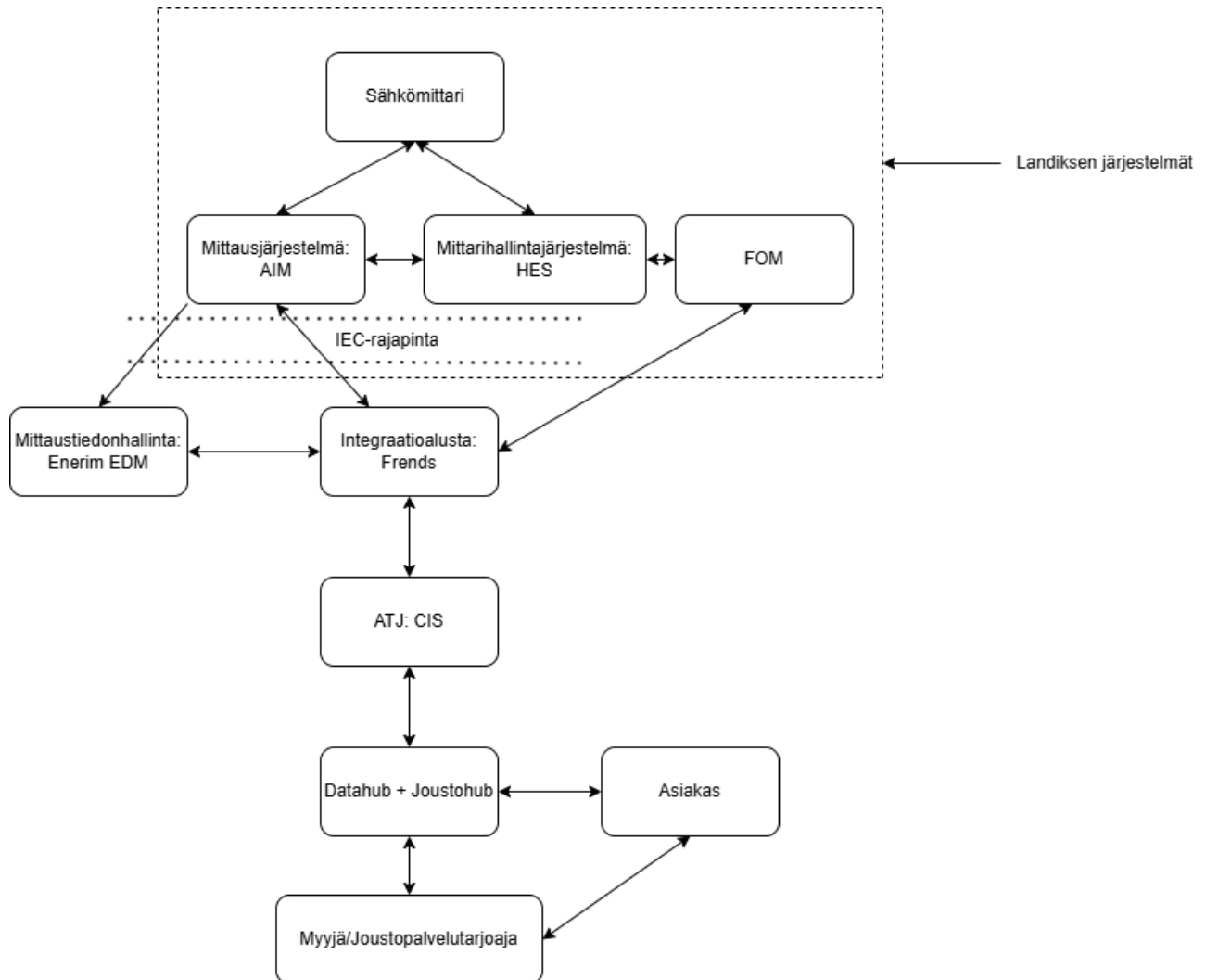
Lappeenrannan Energia ei ole lähtenyt uuden sukupolven mittareiden myötä aktiivisesti kehittämään järjestelmiä ja uusia ominaisuuksia, kuten osa verkkoyhtiöistä, joten kehitettävää on, jotta kuormanohjausrajapintaa pystytään hyödyntämään 2026 loppuvuonna. Tässä kappaleessa selvitetään, mitä toimenpiteitä kehitystyö vaatii ja millä askelilla tavoitteeseen päästään.

5.1 Järjestelmäarkkitehtuuri

Periaatetasolla kuormanohjauskäskyn lähettäminen mittarille on yksinkertainen prosessi, joka on kuvattavissa selkeänä vuokaaviona (kuva 18.). LRE:n tiedonsiirto järjestelmäarkkitehtuuri taas löytyy kuvattuna kuvasta 19, jota vertaamalla huomataan, ettei tiedon siirtyminen järjestelmien välillä olekaan kaikkein yksinkertaisin asia. Kyseessä on nimenomaisesti AMR 2.0-hankkeen myötä käyttöönotettava järjestelmämalli, jossa hyödynnetään LG:n ja LRE:n välillä IEC-rajapintakuvauksen mukaista tiedonsiirtomallia (IEC61968-9).



Kuva 18. Kuormanohjausarkkitehtuurin prosessikaavio (Afry, 2024).



Kuva 19. Lappeenrannan Energian mittaustietoarkkitehtuuri

Kuvan 19 ymmärtämiseksi täytyy tietää, mitä tietoja järjestelmien välillä kulkee tällä hetkellä. Aloitetaan tiedonsiirron purkaminen asiakkaan päästä ja edetään sähkömittarille asti.

Asiakas - Joustohub: Valtuus kuormanohjauksesta joustopalveluntarjoajalle (asiakkaalta).

Myyjä – Datahub, sekä CIS-Datahub: Asiakastiedot, käyttöpaikkatiedot (tekniset tiedot, käyttöpaikan tilatiedot), sopimustiedot (myynti- ja verkkosopimus), mittaustiedot, valtuutukset, laitetiedot (ohjattavat kuormat, tuotantolaitteistot). Verkkoyhtiö ylläpitää käyttöpaikkatietoja, mittaustietoja, laitteistoja ja verkkosopimustietoja, sekä asiakastietoja omalta osaltaan. Myyjä taas ylläpitää asiakastietoja ja myyntisopimustietoa. Käytännössä kaikki

tiedonvaihdon kannalta olennainen tieto päivittyy reaaliaikaisesti verkkoyhtiön ja myyjien asiakastietojärjestelmien välillä DH-sanomilla.

Verkkoyhtiön ATJ (Solteq Utilities CIS) on LRE:n arkkitehtuurissa olennaisin järjestelmä, jossa ylläpidetään tarvittavat tiedot mittauksen, mittareiden ja laskutuksen kannalta. CIS lähettää ja vastaanottaa tietoja Friends-integraatioalustan kautta järjestelmätoimittajille. Friends-integraatioalusta toimii ns. tulkkina eri järjestelmien välillä muuttaen sanomamuotoa järjestelmien välillä sopivaksi. Friends pystyy myös jalostamaan sanomia lisätiedoilla, joita on saatavilla LRE:n tietokannoista. Friendsin kautta lähetettäviä tietoja järjestelmäkohtaisesti lueteltuna:

Friends – FOM: Työmääräimet, joilla toteutetaan sähkömittareiden asentamiset, poistot, vaihdot ja tarkastukset, sekä paikallisohjaukset, releen käännöt ja kaikki muu asentajien tarvitsema tieto. FOM (Field Operation Management) on LG:n työmääräinjärjestelmän kenttätyökalu, jota käyttävät LG, LRE ja asennuksista vastaava kumppani Elvera Oy.

Friends – AIM: AIM-Friends rajapinta hyödyntää IEC-standardimuotoisia sanomia. AIM on Landiksen mittausjärjestelmä, jonka kautta kulkevat mittaustietojen lisäksi tärkeimpänä mittari- ja käyttöpaikkatiedot, joilla käyttöpaikat ja mittarit perustetaan CIS:stä tulevan tiedon perusteella Landiksen järjestelmiin (AIM ja HES). Lisäksi tämän rajapinnan kautta kulkevat hälytystiedot, sopimustiedot, kytky- ja katkaisukäskyt, mittarin tilakyselyt (hetkellisarvojen lukeminen, kytkentätilan tarkastus), tapahtumalokit ja tärkeimpänä, kuormanohjausreleen ad hoc-komennot.

Friends – Enerim: Enerim tuottaa LRE:lle mittaustiedon hallintajärjestelmän ja mittaustietojen validoinnin, jonka toteuttamista varten Enerim EDM:ään toimitetaan Friendsin kautta sopimustiedot, mittarin vaihtotiedot, sekä kytkentä- ja katkaisutiedot. Vastaavasti Enerim toimittaa Landikselta luetut mittaustiedot validoituna ja tarkastettuna Friendsiin, josta tiedot siirtyvät CIS:n kautta eteenpäin Datahubiin.

LG:n järjestelmissä (AIM-HES-FOM-sähkömittari) määritellyt kytkennät ja tiedonkulku ovat LG:n sisäistä määrittelyä ja työtä, joten tärkeintä on ymmärtää FOM:iin ja AIM:iin toimitettujen tietojen sisältö ja miten nämä vaikuttavat sähkömittarin toimintaan.

5.2 Joustohubin vaatimukset – mitä kehitystä tarvitaan?

Joustohubin vaatimusten ollessa tiedossa, voidaan käydä läpi nykytilannetta ja mitä kyvykkyyksiä nykyisellään on jo kunnossa, sekä mitä pitää hankkia. Aloitetaan käymään tarvittavien tietojen tilannetta mittarilta päin ja kerätään selkeä toimenpidelistaus, mitä on tehtävä ja mikä toteutuksen tilanne tällä hetkellä on.

5.2.1 Reletieto

Ensimmäisenä, jotta voidaan ylipäättään ohjata kuormanohjausreleitä, tarvitaan tiedot käyttöpaikoista, joissa on rele asennettuna ja aktivoituna. Kuten aiemmin mainittu, LRE:llä ei nykyisellään ole käyttöpaikkakohtaista tietoa kuormanohjausten toteutuksesta, eikä tietoa ole tallennettuna ATJ:hin. Työryhmän esityksen perusteella tämä reletieto kuuluu verkko-yhtiön ylläpidettäväksi DH-tietueeksi, joten ratkaisu tiedon keräämiseksi ja ylläpidoksi täytyy kehittää. AMR 2.0-projektin myötä asentajat tulevat vaihtamaan ja samalla tarkastamaan kaikki sähkömittarit ja voimassa olevat ohjaukset. Projektin yhteydessä on tunnistettu tarve kerätä tiedot talteen releohjauksista, sekä tarkastaa onko releohjaus suora vai käänteinen. Suorassa releohjauksessa rele on oletusarvoisesti auki ja käänteisessä ohjauksessa kiinni, joten releitä pitää ohjata eri komennoilla ja samanmuotoinen standardikäsky ei toimi kaikille käyttöpaikoille.

Toimenpide 1: Kerätään mittarinvaihdon yhteydessä FOM-työmääräinjärjestelmään tiedot, onko rele aktivoitu (kyllä, ei) ja onko rele käänteinen. Viedään tieto CIS, josta tieto on kuormanohjausrajan käytön myötä vietävissä Datahubiin.

Tilanne ja toteutus: Tiedot kerätään jo talteen FOM:ssa, mutta ei päivitetä suoraan CIS. Tiedot ovat vietävissä CIS massatoimenpiteenä FOM:sta kun tarve tälle nousee. Erikseen täytyy huomioida, miten jo kentälle viedyt vajaat 8000 mittaria tarkastetaan ja tieto päivitetään. Tähän mahdollinen toimintamalli on mittaustietojen analysointi ja todennäköisten kohteiden ohjauksen tarkastaminen ja talteen kirjaus.

5.2.2 Kuormanohjauksen toteutus mittarille

Nykyisellään mittareilla on voimassa ainoastaan yhtä lukittua kalenterityyppistä ohjausta, joka ohjautuu voimassa olevan siirtotuotteen (aikasiirto) mukaisesti eikä vaadi erillistä ohjauskalenterikäskyä Friendsin kautta AIM:iin. LRE:n järjestelmästä ei toteuteta ad hoc- tai ajastettuja kalenteriohjauksia, sillä AMR 2.0 projektin mittareita, joita voidaan ohjata näillä ohjauskomennolla, ei ole vielä verkossa. Testiympäristössä ad hoc-ohjauksia on toteutettu onnistuneesti, mutta Friendsin kautta lähtevää käskyä ei ole rakennettuna.

Toimenpide 2: Toteutetaan ja testataan kalenteriohjauksen, ad hoc-ohjauksen ja ajastetun kalenteriohjauksen sanomat Friendsistä Aimiin siten, että mittarin relettä voidaan tarvittaessa ohjata halutun tavan mukaisesti LRE:n toimesta. Toteutetaan ohjaukset heti alusta alkaen vaaditun 15 min tarkkuudella. Kun kuormanohjausrajapinta valmistuu ja tarkat tiedonsiirtospektrit ovat vahvistettu, voidaan Friendsin avulla muuntaa rajapinnasta tulevat ohjauskäskyt AIM sopivaan muotoon suhteellisen pienellä määrittelytyöllä. Huomioitava käänteisen kuormanohjausreleen aiheuttama haaste ja tarvittaessa muokattava Friendsissä sanoma muotoon, jossa rele ohjautuu varmasti oikein.

Onnistuneesta ohjauksesta tulee kuittautumaan Friendsiin ok-sanoma, joka on toimitettavissa joustohubiin, sekä CIS:iin.

Tilanne ja toteutus: Mallisanoma ad hoc-ohjauksesta löytyy IEC-standardista ja on mahdollista rakentaa kuntoon välittömästi. Ajastetun kalenteriohjauksen ja kalenteriohjauksen mallisanomia ei vielä ole saatavilla. Kalenteriohjauksen ja ajastetun kalenteriohjauksen testaus on suunnitelmassa syksyille 2025. Toteutus mahdollinen 2026 alkuvuoden aikana.

Paras tapa toteuttaa ohjauskäskyjen testaukset tuotannossa ennen kuormanohjausrajapinnan valmistumista on ohjata asiakkaiden oikeita kuormia, jota varten asiakkaille tulee mahdollistaa oman kuormanohjaustuotteen valinta. Tätä vaihtoehtoa sivuttiin kappaleessa 3.2.1, jossa esiteltiin Savon Voiman asiakkaalle tarjottavat kuormanohjauskalenterivaihtoehdot. Vastaavia asiakkaiden vapaasti valittavia kuormanohjauskalentereita löytyy muiltakin verkko-yhtiöiltä, parhaana esimerkkinä Elenia Oy. Elenialla on tarjolla ilmainen kuormanohjauspalvelu, jossa asiakas saa valita olemassa olevista kalentereista, valita vapaasti omat ohjaustuntinsa tai asettaa ohjauksen toteutumaan haluamansa pörssisähkörajan mukaisesti (esim. alle 5 snt/kWh alle rele on päällä, tai vuorokauden halvimmat 10 tuntia rele on kytkettynä)

Sähkömittarissa ollessa kaksi kuormanohjausrelettä, ohjauksen toteutustavan pystyy luonnollisesti valitsemaan molemmille releille haluamakseen (Elenia Oy, 2023).

Elenian malli on varmasti parhaiten asiakkaita palveleva, mutta samalla kallis ja paljon kehitystyötä vaativa. Kuormanohjausrajan yhtenä tärkeimpänä ominaisuutena on mahdollistaa pörssisähkön mukainen releohjaus, jolloin verkkoyhtiön ei tarvitse itse tehdä omaa kehitystyötä ja ratkaisuja. Ohjauskomennon tullessa 3. osapuolelta verkkoyhtiö ei myöskään ole vastuussa mahdollisissa poikkeustilanteissa, jos ohjauskäskyn muodostumisessa tulee haasteita (sähkömarkkinan poikkeustilanne). Todettakoon, ettei pörssisähköohjauksen kehityksestä ole LRE:lle vastaavaa hyötyä. Sen sijaan, vapaasti valittava kalenteri tai ohjauskalenterivaihtoehdot palvelevat asiakkaita, jotka haluavat hyödyntää omaa aurinkosähkötuotantoaan maksimaalisesti tai ohjata lämmitystä asumismukavuuden takia tietyille tunneille. Täten on tarkoituksenmukaista ja asiakkaita palvelevaa tarjota asiakkaille mahdollisuus valita itselle sopivat kuormanohjaustuote. Sähkömarkkinalain päivityksen perusteella tämä on myös laillista, eikä katsota kilpailevan markkinaehtoisien kuormanohjauksen kanssa.

Toimenpide 3: Suunnitellaan uudet kuormanohjausryhmät, jotka palvelevat eri asiakasryhmiä parhaiten. Mallia voidaan ottaa muista verkkoyhtiöistä ja miettiä, onko Lappeenrannan alueella jotain erityistä huomioitavaa tuotteiden tarjoamisessa (lämmitystarve, kauanko aurinko paistaa kesällä jne.). Tarjotaan ensimmäisessä vaiheessa ainoastaan valmiita kalentereita tuntitason aktivoinnilla, ei tarjota vielä 15 minuutin tarkkuudella (ei tarkoituksenmukaista). Asiakas voi valita ohjaukseen ainoastaan yhden releen, kahden releen ohjauksen toteutus toisi ylimääräisiä kehitystarpeita, jotka venyttävät aikataulua. Esimerkkejä sopivista kuormanohjausryhmistä esitettynä taulukossa 4.

Taulukko 4. LRE:lle mahdolliset kalenteriryhmät.

Ohjausryhmä	Päälle 1	Pois 1	Päälle 2	Pois 2
Ryhmä 1	00.00	7.00		
Ryhmä 2	1.00	7.00		
Ryhmä 3	02.00	7.00		
Ryhmä 4	10.00	15.00		
Ryhmä 5	11.00	16.00		
Ryhmä 6	12.00	17.00		
Ryhmä 7	9.00	18.00		
Ryhmä 8	1.00	5.00	10.00	14.00
Ryhmä 9	1.00	5.00	11.00	15.00
Ryhmä10	1.00	5.00	12.00	16.00
Ryhmä11	1.00	5.00	10.00	16.00

Näiden lisäksi säilytetään aikasiirtotuotteen mukainen klo 22–07 välinen ohjaus oletuksena käyttöpaikoilla, joissa on aikasiirtotuote. Ryhmäkalenterit eivät ole sidonnaisia siirtotuotteeseen, vaan asiakas voi valita haluamansa kalenteriohjauksen tuotteesta riippumatta.

Ryhmät 1–3 ovat lähimpänä nykyistä aikasiirto-ohjausta, mutta ajoittavat kulutuksen enemmän yöajalle, jossa on historiallisesti halvimmat tunti hinnat. Ryhmät 4–7 ovat kohteille, jotka haluavat hyödyntää aurinkopaneeleista saatavaa tuotantoa, ja eivät tarvitse aktivoituja tunteja kuin 5–9 kpl. Ryhmät 8–11 ovat kohteille, jotka haluavat hyödyntää sekä paneelituotannon, sekä yön matalat hinnat ja lämmitystarve on suurempi kuin ryhmillä 4–11. Kuormanohjausryhmiä suunnitellessa on järkevää tarkastella myös mahdollista kausijakoa ryhmien 4–11 kohdalla, jolloin kyseiset ohjaukset olisivat voimassa esimerkiksi 1.4.–30.9. välisellä ajanjaksolla ja 1.10.–31.3. voimassa olisi perusmallinen klo 23–07 yö ohjaus.

Tilanne ja toteutus: Kalenteriohjausten toteutus on teknisesti toteutettavissa mittarille 2026 alkuvuodesta. Teknisesti käskyjen ja rajoitteiden määrittely onnistuu, mutta tärkeimmät kehityskohteet kalenteriohjauksen käyttöönotolle löytyvät asiakastietojärjestelmästä ja asiakasrajapinnasta. Tavoitetilanne on saada 2026 alkupuoliskolla tarvittavat kehitystarpeet toteutettua.

Erillisenä käsiteltävänä asiana on vielä uuden sähkömarkkinalain mahdollistama oikeus käyttää kuormanohjausrelettä sähköverkkoon kohdistuvissa normaaliolojen häiriötilanteissa, sähköpulatilanteissa tai valmiuslaissa tarkoitetuissa poikkeusoloissa. Jotta Lappeenrannan Energiaverkkojen valvomossa pystyttäisiin ohjaamaan kuormia tehokkaasti,

tarvitaan reletiedot ja mahdollisuus ohjata tarpeen mukaan ohjattavissa olevia releitä ad hoc-komennoilla. Tämä toteutus on oletettavasti tehtävissä Friendsin kautta, mutta vaatii vielä lisäkehitystä, kun reletiedot ja sanomaprosessit ovat kunnossa, oletettavasti 2026 syksyn aikana.

5.2.3 Asiakastietojärjestelmän kehitystoimet

Kuormanohjausrajanpintaa käyttöönotettaessa verkonhaltija tarvitsee asiakastietojärjestelmään käyttöpaikalle tiedon mahdollisista ohjattavista kuormista, joka päivittyy automaattisesti joustohubiin tehtävien muutosten perusteella. Verkkoyhtiön on pystyttävä luottamaan, että tieto on ajantasaista ja paikkansapitävää ja tarvittavat muutokset pitää pystyä tekemään myös vastaavasti suoraan ATJ:n kautta joustohubiin. ATJ on verkkoyhtiön ohjelmistoista se, jossa tietoa ylläpidetään ja säilytetään.

Nykytilanne: LRE:n käyttämä ATJ, Solteq Utilities CIS, ei sisällä tietoa kuormanohjausreleestä tai aktivoitusta kuormanohjauksesta. Näin ollen kuormanohjausreleestä ei kulje myöskään tietoa FOM:sta CIS:iin, eikä CIS:stä voida lähettää ohjauksikäskyjä AIM:iin ja mittarille. Käytännössä kuormanohjauksen toteutusta ei ole ATJ:stä lähtevän tiedon osalta olemassa lainkaan. Ainoa tieto mikä mittarille lähtee, on sopimuksen siirtotuote, jonka perusteella mittari osaa aktivoida yö ohjauksen. Kehitettävää tiedonsiirtoa on paljon.

Toimenpide 4: CIS kehitystä ohjataan siten, että lisättäviä tietoja ovat seuraavat:

- Onko mittarilla kuormanohjausrele?
- Onko releeseen liitetty ohjattavia kuormia?
- Onko rele suora vai käännteinen?
- Onko asiakkaalla olemassa oleva kuormanohjausvaltuutus?
- Mikä on asiakkaan kuormanohjauskalenteri?

Kyseiset tiedot pitää saada päivittymään FOM:sta ja joustohubista ja vastaavasti tiedot tulee päivittää CIS:stä seuraaviin järjestelmiin: LG:n järjestelmät, joustohub, online palvelu, sekä mahdollisesti myös Enerim EDM. Asiakkaalla tulee olla näkyvyys olemassa oleviin kuormanohjaussopimuksiin myös verkkoyhtiön asiakasrajapinnassa, joten myös online-palveluun tarvitsee lisätä tiedot kuormanohjausreleestä. Online-palveluun rakennetaan

kalenterivaihtoehdot ja valintamahdollisuus, joilla verkkoyhtiön oma kuormanohjaus voidaan aktivoida automaattisesti. Tätä varten tarvitaan asiakkaalta vahva tunnistautuminen palveluun.

Toteutus: ATJ:n päivityksistä kuormanohjausreleeseen liittyvää tiedonlisäystä on tilattu toimittajalta ja kehitysten arvioitu valmistumisaika on 2025 aikana. Kaikkea kehitystyötä ei ole tilattu kerralla, mutta tarpeiden kartoitus on käynnissä. Online-palveluiden kehitystä ei ole vielä aloitettu, joten menee 2026 alkupuoliskolle ennen kuin tarvittava tiedonsiirto valmista. Verkkoyhtiön omien tulevien kalenteriohjausten, jotka muodostuvat online-palvelusta ja CIS:stä, tiedostoformaatti tulee olemaan JSON, jolla myös työmääräimet liikkuvat.

5.2.4 HAN-portti

Kuormanohjausrajaan liittyviin tiedonsiirtokokonaisuuksiin liittyy olennaisesti myös HAN-porttiin liittyvä tiedonsiirto. HAN-portti on mainittu mittausasetuksessa ja myös kuormanohjaustyöryhmän raportissa ja asiakkaalle tulee mahdollistaa portin kautta mitaustiedon reaaliaikainen lukeminen asiakkaan näin halutessaan. Tietoturvan vuoksi HAN-portin tiedonsiirto on oletusarvoisesti poistettu käytöstä ja sen käyttöönotto vaatii verkkoyhtiöltä portin aktivoinnin. Vastaavasti portin tiedonsiirron tulee katketa, kun verkkosopimus päättyy tai vaihtuu, jottei edellinen asukas pääse lukemaan uuden asukkaan kulutustietoja portin kautta. Nykyisellään HAN-portteja on verkkoon asennetuista vajaasta 8000 mitarista avattu noin prosenttiin.

Toimenpide 5. Rakennetaan tiedonsiirtopolku online-palvelusta lähteväksi, jolloin asiakas onlinepalveluun vahvasti tunnistautuneena valitsee palvelusta HAN-portin aktivoinnin (tai de-aktiivoinnin). Tieto avauksesta siirtyy CIS:iin, josta muodostuu käsky Friendsin kautta LG:n AIM:iin. Kuittaussanomien myötä tieto päivittyy CIS:iin ja online palveluun. Verkkosopimuksen katketessa CIS tulee muodostaa automaattisesti katkaisukäsky AIM:iin ja kuitauksen saatuaan päivittää tieto vastaavasti CIS:iin ja online palveluun.

Tilanne: Online-palvelusta eikä CIS:stä ei vielä löydy HAN-portin tietuetta. Nykyisellään asiakas pyytää asiakaspalvelusta tai teknisestä asiakaspalvelusta portin avausta, jonka jälkeen tieto viedään LG:lle manuaalisesti ja tieto kirjataan talteen erilliseen exceliin. Viivettä

prosessissa on 1–5 päivää. Päättyneiden verkkosopimusten myötä katkaistavien HAN-porttien seuranta tehdään myös manuaalisesti. Kehitys kuvatus mukaisen prosessin käyttöönottoa varten on aloitettu, tiedonsiirtomuotona online-CIS-Frends välillä tulee olemaan JSON. Kun asiakasjärjestelmiin saadaan tarvittavat kentät, käyttöönotto on mahdollinen nopealla aikataululla. Tavoitteena saada kehitys valmiiksi 2026 alkuun mennessä ennen kuin uusia mittareita ja aktivointeja alkaa tulemaan enenevässä määrin.

5.3 Kustannukset

Kun toteutetaan kaikki käsitellyt toimenpiteet kuormanohjauksen mahdollistamiseksi, kuluja tulee kertymään huomattavasti. Isoimmat kustannuserät ovat järjestelmiin tehtävät muutokset ja kehitystyöt, jotka vaativat ulkoisten järjestelmätoimittajien työpanosta. Ulkoa ostettava kehitystyö on aina kalliimpaa kuin talon sisäisesti tehtävä työ ja hankalasti kilpailutettavissa, kun yhtiö on sitoutunut yhteen järjestelmätoimittajaan. Friendsiin liittyvät integraatiot ja määrittelytyöt toteutetaan talon sisäisenä työnä, jolloin kehitystyöhön kuluvat kustannukset ovat hyvin mitattavissa.

Tässä vaiheessa projektia ei ole tunnistettu esteitä nykyisiin sopimuksiin ja toimintamalleihin liittyen, joista muodostuisi merkittäviä lisäkustannuksia kuormanohjausta toteutettaessa. Mittari ja järjestelmäsopimukset sisältävät pitkälti lainsäädännön vaatimien kehitystoimenpiteiden toteuttamisen, mutta yhtiökohtaisista spesifeistä ratkaisuksista joudutaan maksamaan erikseen. Karkeasti arvioituna ulkoiset järjestelmäkehitykset ovat kustannuksiltaan useamman kymmentä henkilötyöpäivää ja jatkuvalaskutteisia kustannuksia on myös odotettavissa. Talon sisäisesti alun järjestelmäkehityksen ja projektityön jälkeen kuormanohjaus tulee lisäämään jatkuvaa työkuormaa, mutta tarkkaa tietoa työn määrästä on hankala arvioida. Lisäksi varsinkin alkuvaiheessa kuormanohjauksen selostuksesta ja ongelmanratkaisusta tulee varmasti töitä asiakas- ja mittauspalveluille, sekä myös Elveralle tarkastuskäyntien muodossa.

Arvioitaessa kokonaiskustannuksia, voidaan todeta kuormanohjaustyöryhmän arvioiman 116000 € alkuinvestoinnin olevan suuruusluokaltaan oikea. Vuotuisten ylläpitokulujen kokuokkaa on hankalampi vielä arvioida, kun yhtenä vaikuttavana tekijänä on joustohubin kokonaiskustannusten epävarmuus. Datahubin kulut jaetaan verkkoyhtiöiden kesken, joten

oletettavasti myös uuden joustohubin kehitys- ja ylläpitotyöt tullaan säilyttämään verkkoyhtiöille käyttöpaikkamäärien mukaisesti.

5.4 Aikataulu ja riskit

Kuormanohjausrajapinnan käyttöönotto on jo tähän mennessä ollut yli 10 vuoden projekti, jonka toteuttamiseen ovat osallistuneet aika lailla kaikki markkinaosapuolet verkkoyhtiöistä myyjiin, Energiateollisuuteen, Fingridiin ja Energiavirastoon, puhumattakaan eduskunnasta. Nyt aikataulun ollessa lukittu, verkkoyhtiöt joutuvat odottamaan vielä tarkempia asetusmuotoiluita ja Fingridin aloittamaa kehitystyötä joustohubin teknistä toteutusta varten. Lopputulemana verkkoyhtiöille on asetettu isoin vastuu ohjauksen toteuttamisesta ja aikaa kehityksen loppuunsaattamiselle noin vuosi, olettaen asetustyön ja Fingridin pysyvän aikataulussa.

Suomessa on rajallinen määrä järjestelmätoimittajia, jotka palvelevat yhteensä 86 verkkoyhtiötä. Järjestelmäkehitys on luonteeltaan hidasta ja huolellisen testauksen sekä palautteen myötä odotus, että kaikki Suomen verkkoyhtiöt saavat valmistettua kuormanohjausrajapinnan vaatimat kehitystoimet maaliin 1.9.2026 mennessä on utopistinen. Toisaalta kolme vuotta jakeluverkkotoimintaa seuranneena on tullut havaittua, että jatkoajan hakeminen uusien vaatimusten täyttämiseen on alalla normi, joten yllätyksestä ei ole kyse.

Kiitos toimivan integraatioalusta Friendsin ja hyvän sisäisen osaamisen myötä Lappeenrannan Energialla on edellytykset päästä toteuttamaan kuormanohjausrajapinnan kautta käskyjä syksyllä 2026, olettaen järjestelmätoimittajien kykenevän tekemään tarvittavat kehitystoimenpiteet järjestelmiinsä ja asetusten säätötyön tapahtuvan aikataulussa. Tässä myös verkkoyhtiön vastuulla on vaatia ja osata tilata oikeita asioita, jotta säästytään ylimääräiseltä työltä ja kustannuksilta.

Suurimpana riskinä aikataulun venymiselle alalla koetaan Fingridin asetusmäärittelytyöryhmän työn lopputulokset, jos vielä viime hetkellä kuormanohjausrajapintaan liittyviä vastuita tai kokonaisinfrastruktuuria muutetaan valtionneuvoston asetuksella verkkoyhtiöitä vastuuttavammaksi. LRE:n osalta suurimmaksi riskiksi on tunnistettu mittarijärjestelmätoimittajan kyvykyys toteuttaa tarvittavat kuormanohjaustoiminnot mittarinhallintajärjestelmiin ja varmistaa riittävän varma ohjaukaskäskyjen toimitusprosessi mittarille. Tähän vaikuttaa myös LRE:n verkon maantieteellinen sijainti Venäjän rajalla, joka voi aiheuttaa

ajoittaisia ja alueellisia katvealueita mittareille, jolloin ohjaukskäskyjen läpimeno on vähintäänkin epävarmaa.

6 Johtopäätökset

Kokonaisuutena kuormanohjausrajapinnan käyttöönotto on ollut pitkä ja selkeästi aiottua suurempi projekti, joka jatkuu edelleen. Nyt käytännön toteutusta määritettäessä myös verkkoyhtiöille ja mittaritoimittajille on alkanut selviämään projektiin liittyvien määrittelyiden määrä ja laajuus, sekä kiireellä tuleva aikataulu. Sähkömarkkinan ollessa jatkuvassa muutoksessa, kehitystyön nopeus ja sääntelyn vauhdissa pysyminen aiheuttaa verkkoyhtiöille kustannus- ja kehityspaineita.

Lappeenrannan Energian osalta kuormanohjausrajapintaa päästään suunnittelemaan käytännössä puhtaalta pöydältä, joten ratkaisujen vertailu ja suunnittelu helpottuu, kun ei tarvitse huomioida jo olemassa olevia ratkaisuja tai niiden siirtoa uuteen järjestelmään. Yhtiössä on hyvä osaaminen rajapintatoteutusten osalta ja kuormanohjausrajapinnan kehitystyön liittyessä olennaisesti myös AMR 2.0 projektiin, yhteistyö järjestelmätoimittajien kanssa on jo valmiiksi tiivistä ja sujuvaa.

Työn tavoitteena oli kuvata kokonaisuutena kuormanohjausrajapinnan vaatimat kehitystoimenpiteet ja vaatimukset, sekä esittää toimintamallit, joilla päästään tavoitteisiin. Heti toteutettavissa olevana toimenpiteenä on kuormanohjauskalenterien käyttöönotto ja asiakkaille tarjoaminen, joka olisi asiakasnäkökulmasta kaivattua vastiketta nouseville siirtomaksuille. Kehityksen nivoutuessa olennaisesti kuormanohjausrajapintaan, lisäkustannukset tästä jäävät matalaksi. Muuten kappaleessa 5 määritellyt toimenpiteet ja ratkaisut ovat toteutuskelpoisia, mutta mahdollisuus muutoksille on olemassa asetustyön ollessa vielä kesken. Nykyisillä tiedoilla ja järjestelmätoimittajien, sekä muiden verkkoyhtiöiden edustajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella, melkein kaikki osapuolet ovat odottavalla kannalla ja valmiina aloittamaan kehitystyön heti, kun tarkat asetukset saapuvat. Odotettavissa on siis erittäin kiireinen vuosi 2026 ja mahdollisesti vielä ainakin yksi kuormanohjausrajapinnan käyttöönoton siirto.

Kuormanohjausrajapinnan käyttöönoton ollessa lopulta valmis, seuraavana lainsäädännöstä tulevana kehityskohteena on varmasti entistä reaaliaikaisempi ja tarkempi toteutus, jolloin Lappeenrannassakin tullaan palaamaan taas samojen asioiden äärelle: mistä asiakas hyötyy eniten ja miten tiedonsiirrosta tehdään mahdollisimman nopeaa ja toimintavarmaa.

Lähteet

- Afry. 2024. Kuormanohjausrajapinnan määrittely – loppuraportti. Helsinki: Fingrid Oyj. Saatavilla verkossa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/ky-syntajousto/kuormanohjausrajapinnan-maarittely---loppuraportti.pdf>
- DNA Oyj. 2021. IoT-teknologiat: NB-IoT, LTE-M, 5G. DNA yrityksille. Saatavilla verkossa: <https://www.dna.fi/yrityksille/iot/iot-teknologiat#nb-iot>
- Elenia Oy. 2023. Kuormanohjaus. Elenia. Saatavilla verkossa: <https://www.elenia.fi/sahkonkulutus-ja-tuotanto/sahkonkulutuksen-mittausuudistus/kuormanohjaus>
- Empower IM Oyj. 2020. Kuormanohjausrajapinta – loppuraportti. Helsinki: Fingrid Oyj. Saatavilla verkossa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Kuormanohjausrajapinta_loppuraportti.pdf
- Energia-alan selvitystyöryhmä 2024. Selvitys markkinaehtoisten joustopalveluiden saatavuudesta jakeluverkoille. Helsinki: Vanguard Consulting Oy.
- Energiateollisuus ry 2023. Sähkön mittauksen periaatteita 2023. Helsinki: Energiateollisuus ry. Saatavilla verkossa: <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Sahkon-mittauksen-periaatteita-2023.pdf>
- ENTSO-E. 2025. ENTSO-E Expert Panel initiates the investigation into the causes of Iberian blackout. ENTSO-E. Saatavilla verkossa: <https://www.entsoe.eu/news/2025/05/09/entso-e-expert-panel-initiates-the-investigation-into-the-causes-of-iberian-blackout/>
- Fingrid Oyj. 2023. Kuormanohjausrajapinnan kaupallistamisen kehitystarpeet. Helsinki: Fingrid Oyj. Saatavilla verkossa: <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/06/Kuormanohjausrajapinnan-kaupallistamisen-kehitystarpeet.pdf>
- Fingrid Oyj. 2025. Itsenäisen aggregoinnin työryhmän loppuraportti. Saatavilla verkossa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/itsenaisen-aggregoinnin-tyoryhman-loppuraportti.pdf>
- Fingrid Oyj. 2025b. Reservimarkkinat – kaupankäynnin aikarajat. Saatavilla verkossa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservimarkkinat/#kaupankaynnin-aikarajat>

Finlex. 2013. Laki sähkön kulutuksen mittauksesta (588/2013). Finlex. Saatavilla verkossa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2013/588#O6>

Finlex. 2021. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (767/2021). Finlex. Saatavilla verkossa: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadosko-koelma/2021/767>

Finlex. 2025. Asetus 201/2025. Finlex. Saatavilla verkossa: <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadoskokoelma/2025/201>

Harsia, P. 2019. Sähkölämmityksen ohjauskytkennät. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu (raportti). Saatavilla verkossa: https://projects.tuni.fi/app/uploads/2019/03/c1daa67a-sahkolammityksen-ohjauskytkennat_dr_korj2019.pdf

Landis+Gyr AG. 2019. E360: the smart residential meter for the IoT era. Käyttöohje ja tuotedokumentaatio. Saatavilla verkossa: <https://www.landisgyr.com/product/landisgyr-e360/>

Lappeenrannan Energia Oy. 2025. Lappeenrannan Energia – yrityseshittely. Saatavilla verkossa: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/tietoa-meista/yhtio/lappeenrannan-energia>

Latvanen, O. 2020. Sähkölammityksen mahdollistaman kulutusjouston tuottomahdollisuudet (DI-työ). Tampereen yliopisto. Saatavilla verkossa: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/121703>

Lassila, J., Honkapuro, S., Partanen, J. & Haakana, J. 2015. Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille: loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavilla verkossa: https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116742/kysynnän_jousto_loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Partanen, J., Annala, S., Lassila, J., Honkapuro, S. & Jaanto, J. 2021. Sähkömarkkinat – opetusmoniste. [Moniste].

Rautio, V. 2024. Markkinaehtoisen kuormanohjauksen toteuttaminen jakeluverkonhaltijan näkökulmasta (Diplomityö). Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavilla verkossa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/167528/Diplomity%C3%B6_Rautio_Viivi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Savon Voima Oyj. 2025. Sähkökuorman ohjaus – ajasta sähkökäyttöisten laitteistojen käynnistymistä. Saatavilla verkossa: <https://savonvoima.fi/kotitalouksille/sahko-verkko/sahkokuorman-ohjaus/>

TEM. 2018. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä – Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Julkaisuja 33/2018. Saatavilla verkossa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7>