MARKKINAEHTOISEN KUORMANOHJAUKSEN TOTEUTTAMINEN JAKELU-VERKONHALTIJAN NÄKÖKULMASTA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan diplomityö

2024

Viivi Rautio

Tarkastajat: Professori Samuli Honkapuro

TkT Salla Annala

Työn ohjaajat: Insinööri (ylempi AMK) Olli Taipale

Professori Samuli Honkapuro

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Sähkötekniikka

Viivi Rautio

Markkinaehtoisen kuormanohjauksen toteuttaminen jakeluverkonhaltijan näkökulmasta

Sähkötekniikan diplomityö

2024

59 sivua, 22 kuvaa, 5 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Samuli Honkapuro ja TkT Salla Annala

Ohjaajat: Insinööri (ylempi AMK) Olli Taipale ja Professori Samuli Honkapuro

Avainsanat: AMR, joustopotentiaali, kuormanohjaus, kysyntäjousto

Energiamurroksen myötä uusiutuvien ja sääriippuvaisten energialähteiden osuus on kasvanut sähkön tuotantorakenteessa. Vaihtelevan tuotannon kasvaessa tarvitaan entistä enemmän myös kysyntäpuolen resursseja tehotasapainon hallintaan.

Sähkömittarin kuormanohjausreleen kautta automaattisesti toteutettavat ohjaukset tarjoavat loppuasiakkaille edellytykset osallistua joustomarkkinalle ilman merkittäviä järjestelmäinvestointeja ja vaivannäköä. Tähän asti loppuasiakkaiden kuormien ohjaaminen on toteutettu pääasiassa verkkoyhtiön suorittamilla vuorokaudenaikaan perustuvilla ohjauksilla. Markkinaehtoinen kuormanohjaus vastaa entistä enemmän muuttuvan energiamarkkinan ja verkon siirtokapasiteetin ylläpidon tarpeisiin, kun kuormia hallitaan sähkön markkinahintojen ja tuotantotarjonnan mukaisesti.

Tämän diplomityön tavoitteena oli kartoittaa tekniset edellytykset markkinaehtoiselle kuormanohjaukselle sekä selvittää, kuinka suuri kysyntäjoustopotentiaali Carunan verkkoalueella on saavutettavissa. Työssä analysoitiin releohjauksella toteutettavan kuormanhallinnan toteutettavuutta ja pohdittiin loppuasiakkaiden roolia joustomarkkinalla. Prosessien mallintamisessa hyödynnettiin nykyistä kuormanohjausprosessimallia sekä markkinatyöryhmissä esitettyjä tulevaisuuden kehitystarpeita. Työssä ei huomioitu joustotoimien aiheuttamia taloudellisia kustannuksia tai säästöjä jakeluverkkoyhtiölle.

Työn tuloksena muodostettiin kokonaisjoustopotentiaali erilaisten käyttäjäryhmien sähkönkäyttöprofiileille Carunan verkkoalueella. Tuloksista havaittiin, että tariffituotteen ja hintakannustimen hyödyntäminen lisäisi merkittävästi joustopotentiaalin määrää asumisratkaisusta riippumatta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Electrical Engineering

Viivi Rautio

Implementation of market-based load control from the perspective of distribution system operator

Master's thesis

2024

59 pages, 22 figures, 5 tables and 2 appendices

Examiners: Professor Samuli Honkapuro and D.Sc. Salla Annala

Supervisors: M.Eng. Olli Taipale and Professor Samuli Honkapuro

Keywords: AMR, demand response, flexibility capacity, load management

With the ongoing energy transition, the share of renewable and weather-dependent energy sources has increased in the electricity production structure. As production variations grow, maintaining power balance has increasingly focused on the demand side.

Load controls implemented through the electricity meter's load control relay provide end customers capability to participate in the flexibility market without significant system investments and effort. Until now, the load control has been primarily carried out by the distribution system operators using time-of-day based load controls. Market-based load control meets the changing needs of the energy market and network capacity maintenance, as loads are managed according to production supply and electricity market prices.

The aim of this thesis is to examine the technical prerequisites for market-based load control and to determine the potential for demand response in the Caruna network area. The work analyzes the implementability of relay control load management and considers the role of end users in the flexibility market. The modeling of processes utilized the current load control process model and the development requirements presented in the market. The work does not consider the economic costs or savings to the distribution network operator caused by flexibility measures.

As a result of the work, the overall flexibility potential for different user group profiles in the Caruna network area was formed. The results indicated that the use of a tariff product and price incentive significantly increased the amount of flexibility potential, regardless of the housing solution.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön myötä päättyy pitkä ja opettavainen opintotaipaleeni LUT:ssa. Tuota pitkää matkaa ei suinkaan kuljettu yksin - kiitos ikimuistoisista yliopistovuosista kuuluu ystävilleni, jotka ovat vuosikymmenenkin jälkeen mukana matkassa.

Kiitos työn tarkastajalle Samuli Honkapurolle. Työn ohjaamisen lisäksi on ollut ilo seurata opetustasi yliopistolla kuluneiden vuosien aikana.

Lisäksi suuri kiitos kuuluu työn ohjaajalle Olli Taipaleelle diplomityön mahdollistamisesta ja yhteistyöstä tämän projektin aikana.

Haluan myös kiittää erityisesti Juha Puusaarta ja Jonna Repoa kaikista mittareihin sekä kuormanohjaukseen liittyvistä läpikäynneistä. Kiitos myös kärsivällisyydestä, huumorintajusta ja vastauksistanne loputtomiin kysymyksiini.

Kaikista suurimmat kiitokset ansaitsee kuitenkin avopuolisoni Rebekka. Kiitos yhteisen arkemme pyörittämisestä, kärsivällisyydestä sekä kaikesta tuesta. Lupaan, että yölliset höpinät joustopotentiaalin laskennasta ja kuormanohjausreleen räpsymisestä vähenee tästä lähtien.

Espoossa 22.5.2024

Viivi Rautio

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Ad hoc -ohjaus	Mittalaitteelle välittömästi toteutettava ohjauskomento. Työssä ad hoc -ohjaukseen viitataan myös termeillä ”suora ohjauskomento” sekä ”yksittäisohjaus”.
Aggregointi	Toiminta, jossa yhdistetään usean asiakkaan kuormia tai tuotettua sähköä myytäväksi, ostettavaksi tai huutokaupattavaksi millä tahansa sähkömarkkinapaikalla.
AIM	Mittaustiedon luentajärjestelmä.
AMM 2.0	Seuraavan sukupolven älykäs mittausjärjestelmä.
AMR	Automaattinen mittarinluenta.
ATJ	Asiakastietojärjestelmä.
Baseline	Vertailuarvo tai lähtötaso, joka kuvaa sähkönkulutuksen normaalia tasoa ennen joustotoimenpiteitä.
Day-ahead -markkina	Sähkömarkkinapaikka, jossa sähköä ostetaan ja myydään toimitettavaksi seuraavana päivänä. Sähkön hinta määräytyy odotetun kysynnän ja tarjonnan perusteella.
Dynaaminen kalenteriohjaus	Määräajan (esimerkiksi yhden vuorokauden) voimassa olevakalenteri, johon voidaan ohjelmoida mittalaitteen kuormanohjausreleen ohjaukset. Dynaaminen kalenteriohjaus voi perustua esimerkiksi tulevan vuorokauden spot-hintoihin.
HAN-portti	Uuden sukupolven etämittauslaitteiston sisältämä kotiautomaatioliitäntä. Liitännästä käytetään myös termejä ”H1-portti” tai ”P1-portti”.

Intraday-markkina	Sähkömarkkinapaikka, jossa kaupankäynti tapahtuu päivänsisäisesti lähellä sähkön toimitushetkeä.
Jakeluverkonhaltija (DSO, JVH)	Sähkömarkkinaosapuoli, joka vastaa muun muassa sähkön jakelusta sekä mittauksesta verkkoalueellaan. Työssä jakeluverkonhaltijaan viitataan myös termillä ”verkkoyhtiö”.
Joustopotentiaali	Sähkön kulutuksen tai tuotannon ajallisesti siirrettävissä oleva tehokapasiteetti. Työssä käsitelty joustopotentiaali koskee ainoastaan sähkön kulutuksen siirrettävissä olevaa tehomäärää.
Joustorajapinta	Järjestelmä, joka mahdollistaa palveluntarjoajan muodostamien kuormanohjaussanomien välittämisen jakeluverkonhaltijan toteutettavaksi. Työssä joustorajapintaan viitataan myös termillä ”kuormanohjausrajapinta”.
Kulutusjousto	Sähkönkulutuksen hetkellinen vähentäminen tai lisääminen sähköjärjestelmän tai markkinan tarpeiden mukaisesti.
Kuormanohjaus	Sähkölaitteiden automaattinen ja ajastettu kytkentä esimerkiksi releohjauksen avulla.
Kuormanohjausryhmä	Tieto, joka määrittää kytkentäaikataulun mittarin kuormanohjauksille.
Kysyntäjousto	Ks. Kulutusjousto
LTE	Long Term Evolution. Uuden sukupolven tiedonsiirtotekniikka.
Loppuasiakas	Luonnollinen henkilö tai yritys, jolla on sähkönmyynti- ja/tai sähköntoimitussopimus myyjän kanssa sekä verkkosopimus jakeluverkonhaltijan

	kanssa, ja joka hankkii tai tuottaa sähköä pääasiassa omaan käyttöönsä.
NB-IoT	Narrowband Internet of Things. Uuden sukupolven tiedonsiirtotekniikka.
Nord Pool	Pohjoismainen sähköpörssi.
Ohjauskalenteri	Mittalaitteen kalenteri, johon voidaan ohjelmoida kuormanohjausreleen ohjausajat.
P2P	Kahden viestintäyksikön välinen suora yhteys
Palveluyhtiö (FSP)	Asiakkaan sähkönmyyjä, itsenäinen aggregaattori tai muu palveluntarjoaja, joka tarjoaa asiakkaille kuormanohjauspalvelua.
PLC	Sähköverkkoa hyödyntävä tiedonsiirtotekniikka.
Päivänsisäinen markkina	Ks. Intraday markkina.
Vuorokausimarkkina	Ks. Day-ahead -markkina.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Lyhenteet ja määritelmät

1 Johdanto 7
1.1 Caruna-konserni 8
2 Kuormanohjaus sähkömittarilla 10
2.1 Kuormanohjausprosessin nykytila 10
2.2 Mittausinfrastruktuuri 13
2.3 Ohjattavat kuormat 16
2.4 Viat kuormanohjauksessa 19
3 Kysyntäjousto 20
3.1 Jakeluverkonhaltijan rooli kysyntäjoustossa 20
3.2 Kysyntäjouston tavoitteet 21
3.3 Joustorajapinta 24
3.3.1 Aggregointi 25
3.3.2 Joustontoimenpiteiden todentaminen 26
3.3.3 Muut rajapinnat 27
3.4 Day-ahead -markkina 28
3.5 Intraday-markkina 29
4 Tutkittavat skenaariot 31
4.1 Carunan verkkoalueen jouston mahdollisuudet 31
4.2 Lain asettamat vähimmäisvaatimukset markkinaehtoiselle kuormanohjaukselle 38
4.3 Suurempi hyödyntäminen 40
4.4 Verkon ohjaus tehopulatilanteissa 43
5 Tulosten analysointi ja yhteenveto 46
Lähteet 48

Liitteet

Liite 1. Kalenteripohjainen kuormanohjauskomento (Empower IM Oy. 2020b)

Liite 2. Yksittäinen kuormanohjauskomento, ad hoc (Empower IM Oy. 2020b)

1 Johdanto

Ilmastokriisi edellyttää energia-alaa muuttamaan toimintatapojaan. Lämpenevä ilmasto ja tiukentuva ympäristölainsäädäntö edistävät investointeja uusiutuviin energiamuotoihin. Tuotantorakenteen muutosten ohella sähkön kysyntä kasvaa erityisesti lämmityksen ja liikenteen sähköistymisen myötä, mikä luo uusia vaatimuksia sähköverkoille sekä edellyttää monipuolisia ratkaisuja energiankulutuksen hallintaan. Kysyntäjouston avulla voidaan ohjata kulutusta vastaamaan entistä tehokkaammin uusiutuvan energian tarjontaan sekä vähittäismarkkinan hintasignaaleihin. Joustotoimenpiteiden laajamittaisen käyttöönoton sekä käytön kannalta on tärkeää, että sovellettavat teknologiat ovat käyttäjäystävällisiä ja taloudellisesti kannattavia. Lisäksi joustotoimien hinnoittelun tulee olla loppuasiakkaiden kannalta läpinäkyvää sekä ennakoitavaa. Ilman edellä mainittuja pohjaehtoja joustomarkkinan käyttöönotto voi viivästyä, ja sen kannattavuus nähdään kyseenalaistettavaksi. Ilman joustokapasiteettia markkinalla, markkina ei saavuta sen tarkoituksena olevaa hyötyä.

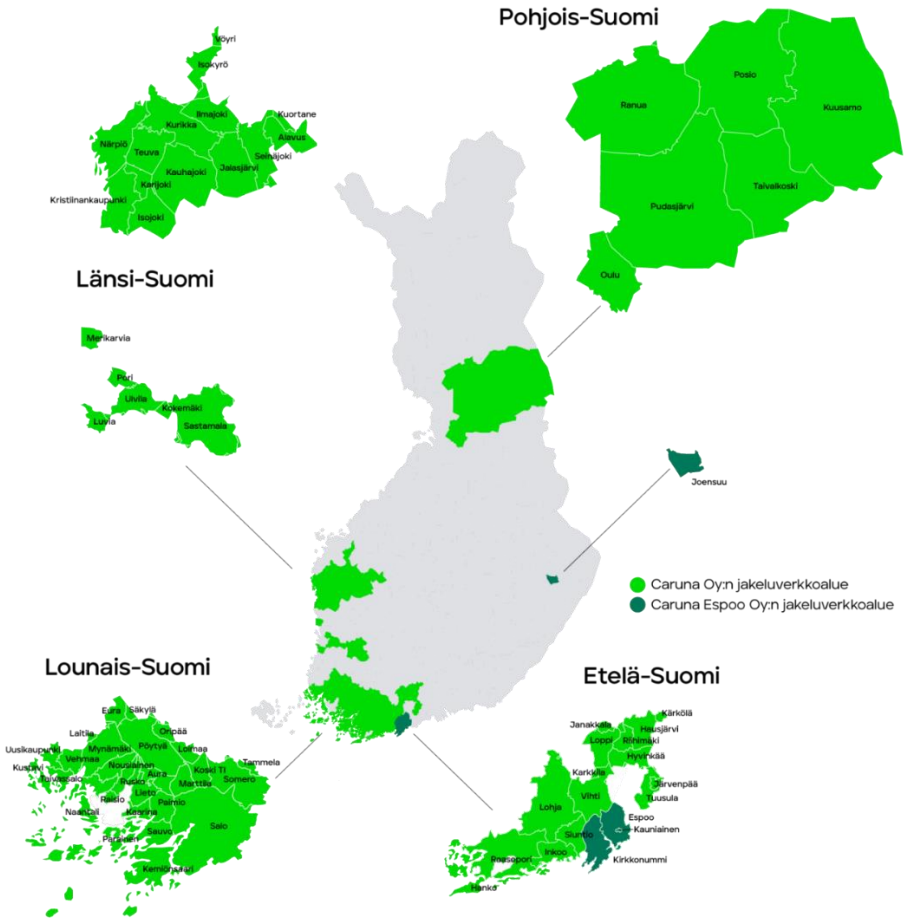
DR-poolin selvitys osoittaa, että erityisesti kotitalouksien lämmitysjärjestelmät sisältävät huomattavan määrän hyödyntämätöntä joustopotentiaalia. DR-poolin loppuraportin mukaan sähkömittareiden kautta ohjattavissa olevan kuorman kapasiteetiksi on arvioitu 1000–1800 megawattia (Järventausta et al. 2015).

Tämän diplomityön tavoitteena on selkeyttää kuormanohjauksen hyödynnettävyyttä jakeluverkonhaltijan näkökulmasta, vertailla eri markkinapaikoille osallistumisen vaikutuksia, sekä luoda prosessikuvaukset markkinaehtoisille kuormanohjausprosesseille. Lisäksi diplomityössä on tutkittu Carunan verkkoalueen joustopotentiaalia eri asiakas- ja käyttöpaikkaryhmien välillä.

Nykyistä kuormanohjausprosessia sekä verkon mittausinfrastruktuuria käsitellään luvussa kaksi. Kolmannessa luvussa tarkastellaan jouston tavoitteita sekä eri markkinapaikkojen vuorovaikutusta joustotoimien kanssa. Neljäs luku kattaa Carunan verkkoalueen joustopotentiaalin kartoittamisen sekä prosessikuvauksien laadinnan. Työn tulokset sekä jatkotutkimusaiheet käsitellään luvussa viisi.

1.1 Caruna-konserni

Caruna on suomalainen sähkönjakeluyhtiö, jonka tehtävänä on huolehtia sähköverkon ylläpidosta sekä taata kustannustehokas ja vastuullinen sähkönjakelu kaikissa olosuhteissa. Caruna palvelee 737 000 asiakasta Etelä-Suomessa, Lounais-Suomessa, Länsi-Suomessa, Joensuussa ja Koillismaalla, mikä kattaa noin 20 % Suomen sähkönjakelusta. Caruna-konsernilla on kaksi verkostoyhtiötä: Caruna Oy, joka toimii pääasiassa maaseutualueilla, ja Caruna Espoo Oy, joka toimii kaupunkialueilla. Carunan sähköverkon pituus on yli 89 000 kilometriä. Sähkön toimitusvarmuus vuonna 2023 oli 99,98 % (Caruna, 2024a).

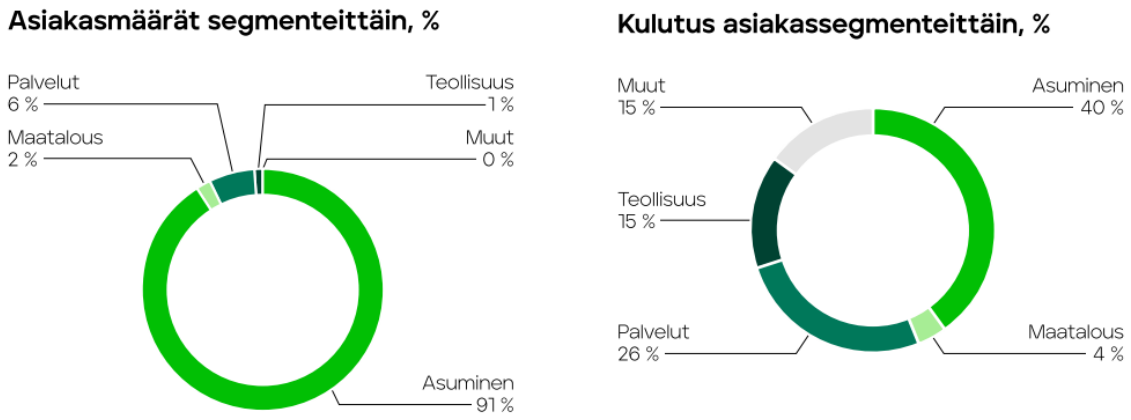


Kuva 1. Carunan Espoo Oy:n sekä Caruna Oy:n verkkoalueet kartalla (Caruna, 2024b)

Caruna-kosernin omistavat Ontario Teachers' Pension Plan Board (40 %) ja KKR (40 %) sekä ruotsalainen eläkevakuutusyhtiö AMF (12,5 %) ja suomalainen eläkevakuutusyhtiö Elo

(7,5 %). Carunan hallitus vastaa konsernin strategisesta kehittämisestä sekä liiketoiminnan ja hallinnon ohjaamisesta ja valvonnasta.

Carunan tavoitteena on edistää puhdasta siirtymää sekä turvata korkealaatuinen ja kestävä sähkönjakelu asiakkailleen. Yhtiö investoi merkittävästi sähköverkkonsa toimintavarmuuteen. Carunan investoinnit sähköverkon rakentamiseen ja ylläpitoon olivat vuonna 2023 yhteensä 126,6 miljoonaa euroa. Vuonna 2023 Carunan verkkoalueella sähköä toimitettiin asiakkaille yhteensä 12,0 TWh. Carunan verkkoalueen asiakas- ja kulutussegmentit ovat esitetty kuvassa 2. Asuminen kattoi Carunan verkkoalueen kokonaiskulutuksesta 40 % vuonna 2023 (Caruna, 2024b).



Kuva 2. Carunan asiakas- ja kulutussegmentit vuonna 2023 (Caruna, 2024b)

Sähkönkulutus Carunan verkkoalueella väheni vuonna 2023 noin 1000 GWh edelliseen vuoteen verrattuna. Asiakkaiden kiinnostus energiansäästötoimiin on lisääntynyt merkittävästi viime vuosien aikana. Merkittävämpänä syynä energiansäästöön on ollut sähkön korkea hintaso, mutta myös sähköpulan riski sekä ympäristöarvot ovat vaikuttaneet asiakkaiden kulutustottumuksiin.

2 Kuormanohjaus sähkömittarilla

Kysyntäjousto ja kuormanohjaus ovat keskeisessä roolissa uusiutuvien energiajärjestelmien laajamittaisen käyttöönoton mahdollistamisessa sekä sähköverkon tehokkuuden parantamisessa. Sähkömittarin sisältämä kuormanohjaustoiminnallisuus mahdollistaa kuluttajien osallistumisen joustotoimenpiteisiin matalalla kynnyksellä. Kuormanohjausreleen avulla käyttöpaikkojen sähkökuormien ohjaaminen onnistuu ajastetusti ja automaattisesti. Kuormanohjaustoimenpiteet tarjoavat myös taloudellisia kannustimia kuluttajille osallistua energiansäästötoimiin ja sähköjärjestelmän tehotasapainon ylläpitämiseen.

2.1 Kuormanohjausprosessin nykytila

Kuormanohjaustoiminolla varustettuja sähkömittareita on Carunan verkossa reilu 400 000 kappaletta. Vuonna 2023 noin 8000 Carunan asiakasta aktivoi käyttöpaikalleen uuden kuormanohjausryhmän (Caruna, 2024c).

Asiakas voi tilata kuormanohjauksen mittarilleen Caruna+ -palvelussa (Carunan tarjoama selainpohjainen online-palvelu). Asiakas voi valita itselleen sopivan kuormanohjausryhmän vaihtoehdoista. Nykyiset kuormanohjausryhmät on esitetty taulukoissa 1, 2 ja 3. Taulukossa 1 on esitetty perusohjaukset eri ryhmille. Kuormien ohjausajat vaihtelevat porrastetusti kellonaikojen 22.00–00.00 välillä. Perusohjauksen kytkentäajat ovat voimassa, kun asiakkaan kuormanohjaus on otettu käyttöön ensimmäistä kertaa. Perusohjauksen kytkentäajat ovat jaettu kolmeen eri ryhmään, ja ryhmä on arvottu kuormanohjauksen käyttöönoton yhteydessä. Perusohjauksessa kuormat kytketään pois päältä klo 7.

Taulukko 1. Carunan perusohjaukset ryhmille 1–3

Viikonpäivä	Ryhmä 1	Ryhmä 2	Ryhmä 3
Maanantai	22.00	23.00	00.00
Tiistai	23.00	00.00	22.00
Keskiviikko	00.00	22.00	23.00
Torstai	22.00	23.00	00.00
Perjantai	00.00	23.00	22.00
Lauantai	23.00	22.00	00.00
Sunnuntai	23.00	00.00	22.00

Koko yöajan kattava kuormanohjauksen kytkentä sopii käyttöpaikoille, joissa talviaikana tarvitaan tavallista enemmän varaavien lämmityslaitteiden hyödyntämistä. Ryhmän 4 kytkentä ohjaa lämmityslaitteiden käyttöä vuorokaudessa 9 tunnin ajan.

Kuormanohjausryhmien 5–7 kytkentäajat ohjaavat asiakkaan sähkönkulutusta yön hiljaisemmille tunneille. Ryhmien 8–11 kytkentäajat mahdollistavat aurinkopaneelien tuotannon hyödyntämisen päivisin. Kuormanohjausryhmien 4–11 kytkentäajat ovat esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kuormanohjausryhmien 4–11 kytkentäajat

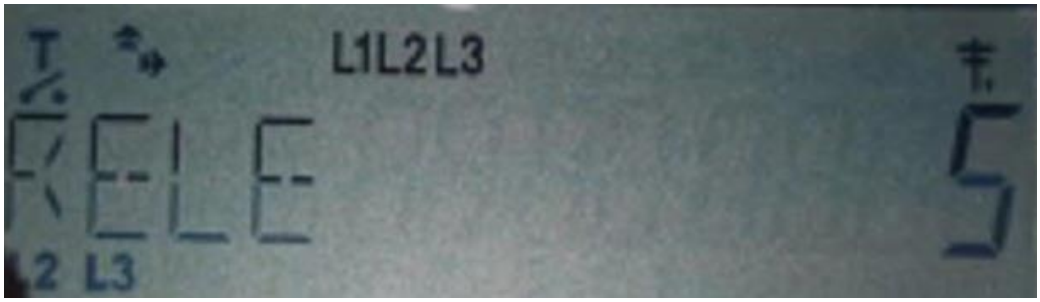
Ohjausryhmä	ON	OFF
Ryhmä 4	22.00	07.00
Ryhmä 5	02.00	07.00
Ryhmä 6	01.00	07.00
Ryhmä 7	00.00	07.00
Ryhmä 8	10.00	15.00
Ryhmä 9	11.00	16.00
Ryhmä 10	12.00	17.00
Ryhmä 11	09.00	18.00

Kuormanohjausryhmien 12–15 kytkentäajat yhdistävät sekä aurinkopaneelituotannon että yösähkön hyötyjä. Taulukossa 3 on esitetty kytkentäajat ryhmille 12–15.

Taulukko 3. Kuormanohjausryhmien 12–15 kytkentäajat

Ohjausryhmä	ON	OFF	ON	OFF
Ryhmä 12	01.00	05.00	10.00	14.00
Ryhmä 13	01.00	05.00	11.00	15.00
Ryhmä 14	01.00	05.00	12.00	16.00
Ryhmä 15	01.00	05.00	10.00	16.00

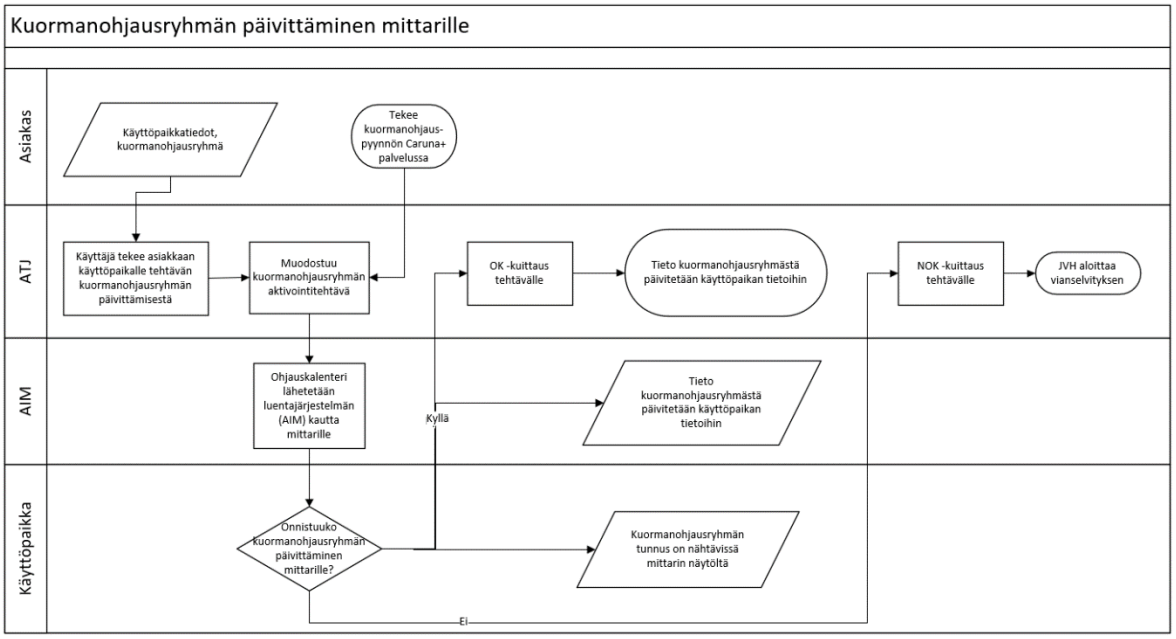
Asiakas voi tarkastaa oman kuormanohjausryhmänsä sähkömittarinsa näytöltä. Kuormanohjausryhmän tunnus näkyy mittarin näytöltä kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3. Kuormanohjausryhmä 5 sähkömittarin näytöllä.

Kuorman ollessa kytketty kello 02–07 relesymboli mittarin näytön vasemmasta yläkulmasta poistuu.

Kuvan 4 mukainen prosessi kuormanohjausryhmän päivittämisestä alkaa asiakkaan ilmoituksesta joko asiakaspalvelun tai Caruna+ palvelun kautta. Asiakas ilmoittaa käyttöpaikkatietonsa sekä halutun kuormanohjausryhmän. Ilmoituksesta muodostuu tehtävä asiakastietojärjestelmään (ATJ), joka lähetetään edelleen luentajärjestelmään (AIM) ja käyttöpaikan sähkömittarille. Järjestelmä kuittaa tehtävän OK/NOK prosessin toteuman mukaisesti.



Kuva 4. Kuormanohjausryhmän päivittäminen sähkömittarille

Asiakkaan käyttöpaikalla ei ole kuormanohjausta hyödynnettävissä, mikäli sähkömittarissa ei ole kuormanohjausrelettä tai jos sähkökuorman ohjauskytkentöjä ei ole asennettu. Mikäli asiakkaan sähkömittarissa on kuormanohjausrele, mutta ohjauskytkentöjä ei ole vielä asennettu, asiakkaan sähköurakoitsija tekee tarvittavat ohjauskytkennät sähkömittarille. Asiakas vastaa ohjauskytkentöjen asennuskustannuksista.

Releettömän mittarin tapauksessa asiakkaan tulee tilata jakeluverkkoyhtiöltään mittarin vaihto. Valtioneuvoston asetuksen (VNA 767/2021; jäljempänä myös mittausasetus) kuudennen luvun 7 §:n mukaisesti verkkoyhtiön tulee asentaa asiakkaansa erillisestä tilauksesta viimeistään neljän kuukauden kuluttua tämän käyttöpaikalle uusi etämittauslaitteisto kuormanohjausreleellä, mikäli verkonhaltija ei ole velvollinen asentamaan kuormanohjausreleellä varustettua mittauslaitteistoa asiakkaan käyttöpaikalle tätä edeltävän pykälän mukaisesti. Mittausasetus ei velvoita jakeluverkonhaltijaa asentamaan kuormanohjausrelettä sisältävää mittauslaitteistoa asuinrakennukseen, jonka pääsulakekoko on yli 3 x 63 ampeeria tai joka sisältää yli kaksi asuinkiinteistöä. Kuormanohjausreleellisen mittarin asennusvelvoite ei koske myöskään toimisto-, liike-, teollisuus- tai varastorakennuksia. Jakeluverkonhaltija voi periä erillisen korvauksen asiakkaalta uuden etämittauslaitteiston vaihdosta, mikäli mittausasetus ei velvoita verkonhaltijaa uusimaan mittaria.

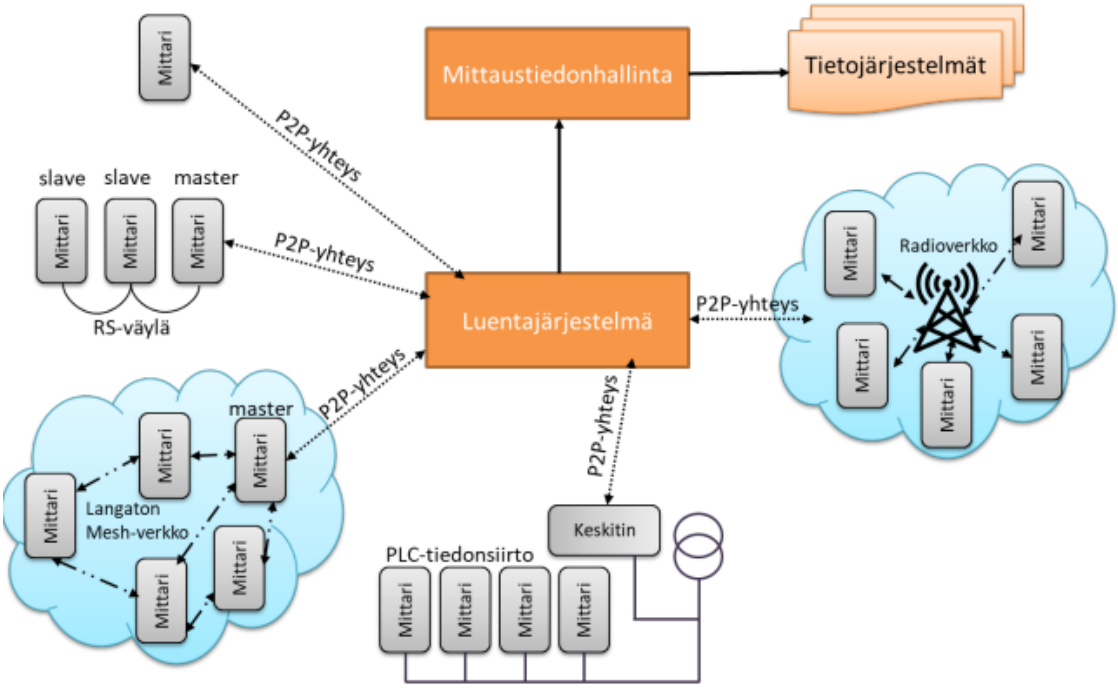
2.2 Mittausinfrastruktuuri

Jakeluverkon etämittauslaitteistojen tulee täyttää niitä velvoittava lainsäädäntö sekä keskeiset standardit. Mittauslaitteistojen ominaisuuksia määrittävät muun muassa seuraava lainsäädäntö:

- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2014/32/EU) (Mittauslaitedirektiivi, MID)
- Sähkömarkkinalaki (588/2013)
- Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (767/2021)
- Mittauslaitelaki (707/2021)

Tämän lisäksi mittareiden tulee täyttää relevanttien IEC- ja EN-standardien vaatimukset.

Vuoden 2026 alussa lain asettama kuormanohjausvelvoite koskee pääsulakekooltaan korkeintaan 3x63 A suuruisia omakoti- ja paritaloja sekä vapaa-ajan asuntoja, joille on asennettu uusi etämittauslaitteisto (Valtioneuvosto, 2021). Korkeintaan 3x63 A suuruisia omakoti- ja paritaloja sekä vapaa-ajan asuntoja on Carunan verkkoalueella tällä hetkellä noin 330 000. Kuvassa 5 on esitetty erilaisia tiedonsiirtotekniikoita mittareilta verkkoyhtiön tietojärjestelmiin.



Kuva 5. Tiedonsiirto mittarilta luentajärjestelmään. P2P tarkoittaa Point-to-point -yhteyttä. (Energiateollisuus, 2023)

Valtioneuvoston asetus (767/2021) velvoittaa jakeluverkkoihin uusien asennettavien sähkömittarien täyttävän uudelle etämittauslaitteistolle asetetut vaatimukset toukokuusta 2023 alkaen. Carunan uuden sukupolven etäluettavat mittauslaitteistot ovat NES Gen 5- sekä Landis+Gyr E360 -mittareita. Kuvan 5 tiedonsiirtotavoista Carunan NES Gen 5 -mittarit hyödyntävät PLC-tiedonsiirtoteknologiaa. NES Gen 5 -mittarista on saatavilla myös NB IoT -tiedonsiirtoa tukeva mittarimalli.

PLC (Power Line Communication) tarkoittaa viestintäteknologiaa, joka mahdollistaa tiedonsiirron sähköverkon kautta. PLC-teknologian keskeisimmät edut ovat kustannustehokkuus, laaja kattavuus, sekä helppo ylläpito. PLC-teknologian avulla mittarit muodostavat kuvan 5 mukaisen tiedonsiirtoverkon, joka käyttää olemassa olevaa sähköverkkoa datan siirtämiseen.

Sähköverkko mahdollistaa tiedonsiirtotopologian, jossa mittarit voivat olla yhteydessä keskittimeen ilman tarvetta uusille viestintätekniikoille. Mittarien määrä keskittimien alla voi vaihdella laajasti riippuen alueen sähköverkon rakenteesta ja mittareiden sijainnista. PLC-signaalin laatu voi kuitenkin vaihdella sähköverkon kunnon ja muiden häiriötekijöiden, kuten muiden sähkölaitteiden vuoksi. Teknologian muita heikkouksia ovat muun muassa sen häiriöherkkyys sekä rajoitettu tiedonsiirtonopeus -ja kapasiteetti. Vaikka PLC-tiedonsiirtoteknologia soveltuu hyvin mittausdatan siirtoon, suuremman datamäärän siirto voi olla hitaampaa verrattuna muihin viestintäteknologioihin.

Uuden sukupolven mittareissa on panostettu lisääntyneen tiedonsiirtomäärän ja tihentyneen luentavälin luomiin tarpeisiin. Uudet etäluettavat mittauslaitteet tukevat NB-IoT ja LTE-tiedonsiirtomalleja (P2P). Kuuden tunnin luentaväli ja tasejakson lyhentyminen varttiin lisäävät entistä tehokkaammalle ja luotettavammalle tiedonsiirrolle. Mittaustiedot tulee toimittaa uudelta etämittauslaitteistolta luentajärjestelmään vähintään kuuden tunnin välein 1.1.2026 alkaen, ja kaikkien verkonhaltijan etämittauslaitteistojen tulee olla päivitetty 15 minuutin resoluutioon 1.1.2029 mennessä (Valtioneuvosto, 2021).

NB-IoT (Narrowband Internet of Things) ja LTE (Long-Term Evolution) ovat kaksi viestintäteknologiaa, jotka tarjoavat luotettavan sekä tehokkaan tiedonsiirron etäluettavien sähkömittarien ja verkkoyhtiön relevanttien mittaustiedon hallinnan järjestelmien välillä. NB-IoT ja LTE mahdollistavat joustavan topologian älymittareiden tiedonsiirtoverkolle.

NB-IoT on suunniteltu vähäisen datamäärän siirtoon, mikä tekee siitä hyvin soveltuvan tiedonsiirtotekniikan älymittareiden kaltaisille laitteille, jotka lähettävät dataa jaksoittain. LTE puolestaan tarjoaa suuremman tiedonsiirtonopeuden ja -kapasiteetin, mikä sopii ympäristöihin, joissa on tarve siirtää suuria datamääriä nopeasti. Vaikka molemmat tekniikat tarjoavat laajan kuuluvuusalueen, on mahdollista, että tietyillä alueilla yhteyden laatu voi vaihdella infrastruktuurin ja ympäristön tekijöiden vuoksi. (DNA, 2024)

Landis+Gyrin E360-mittarin tiedonsiirto perustuu integroituun LTE-verkkoyhteyteen. Se pystyy siirtämään dataa kustannustehokkaasti ja luotettavasti verrattuna aiemmin käytössä olleisiin sähkömittarien tiedonsiirtoteknologioihin. Molemmat tiedonsiirtoteknologiat tarjoavat hyvän kantaman ja datasignaalien läpäisykyvyn, mikä on tärkeää älymittareiden sijainnista riippumatta. Lisäksi uuden sukupolven sähkömittarit sisältävät HAN-portin, joka

mahdollistaa mittarin liittämisen esimerkiksi asiakkaan kotiautomaatioliitäntään (Landis+Gyr 2024).

2.3 Ohjattavat kuormat

Arviolta kaksi kolmasosaa asuinrakennusten kokonaisenergiankulutuksesta kuluu asuintilojen lämmitykseen. Asuntojen lämmitykseen kului energiaa noin 43 TWh Suomessa vuonna 2022. Kaukolämmön jälkeen suosituimmat energianlähteet lämmitykselle olivat puu (27 %) sekä sähkö (24 %) (Tilastokeskus, 2023).

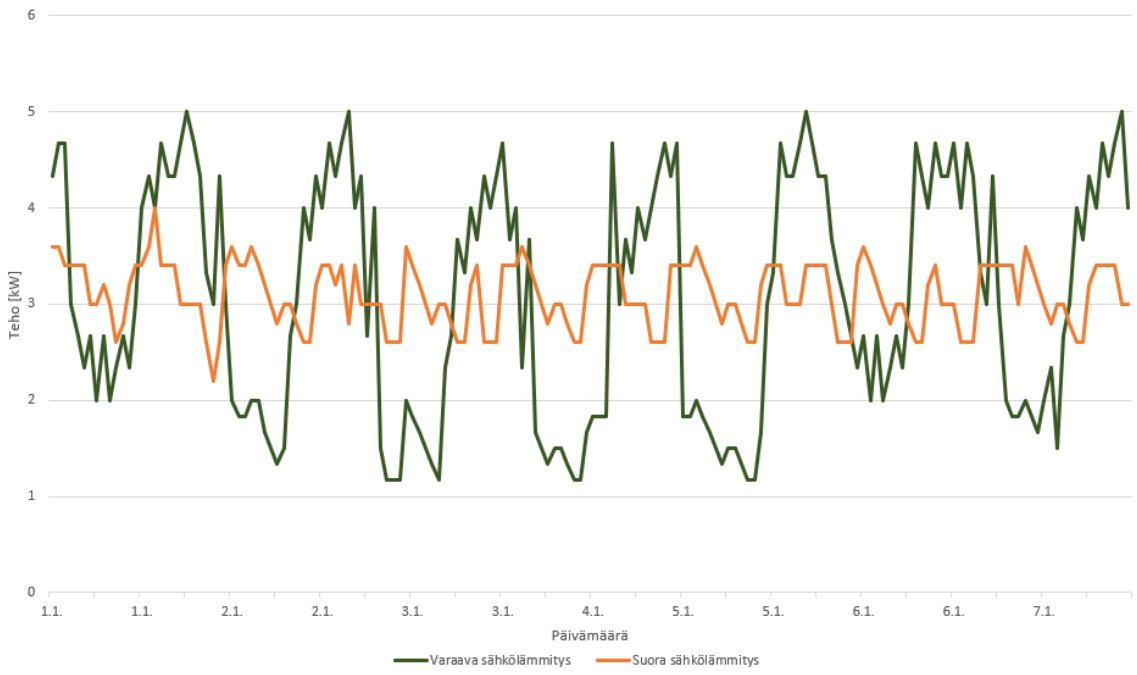
Carunan verkkoalueella sähkölämmitteisiä omakotitaloja on arviolta 205 000. Sähkölämmitteisten asuinrakennusten lisäksi ohjattavaa kuormaa löytyy myös öljylämmitteisistä kohteista, sillä öljylämmitys on mahdollista kytkeä kuormanohjauksen piiriin hyödyntämällä niissä varalla olevaa sähkövastusta tilojen lämmittämiseen.

Suora sähkölämmitys on lämmitysmenetelmä, jossa sähköenergia muunnetaan suoraan lämmöksi lämmityslaitteessa. Tavallisimpia suoran sähkölämmityksen muotoja ovat sähköpatterit ja lattialämmitys. Suoran sähkölämmityksen etuja ovat sen helppous, nopea säädettävyys ja luotettavuus, sillä se ei vaadi erillisiä lämmön varastointielementtejä tai jakelujärjestelmiä. Sen sijaan haasteena on lämmitysajanhetkien optimointi, joka voi johtaa suurempiin käyttökustannuksiin erityisesti kausina, jolloin sähkön hinta on korkealla.

Varaavan sähkölämmityksen toimintaperiaate perustuu sähköenergian muuttamiseen lämmöksi, joka varastoidaan lämmönvarastointimateriaaliin lämmityselementtien avulla. Lämpö vapautuu hitaasti ja tasaisesti ympäristöön lämmönvarastointimateriaalin jäähtyessä, mikä mahdollistaa tilojen tasaisen ja pitkäkestoisen lämmityksen. Varaavan sähkölämmityksen etuna on kyky hyödyntää edullisempia sähkötariffeja lämmitykseen esimerkiksi yöaikaan, jolloin sähkön hinta on tavallisesti alhaisempi, ja vapauttaa varastoitu lämpö myöhemmin päivän aikana. Tämä tekee varaavasta sähkölämmityksestä energiatehokkaan ja taloudellisen lämmitysmenetelmän. Suoran ja varaavan sähkölämmitysmenetelmän eroavaisuudet kulutusprofiilissa on esitetty kuvassa 6.

Osittain varaavan sähkölämmitys yhdistää varaavan lämmityksen ja suoran sähkölämmityksen ominaisuuksia. Osittain varaavassa järjestelmässä käytetään sekä lämpöä varastoivia

elementtejä että suoraan lämpöä tuottavia lämmityselementtejä. Se mahdollistaa nopeamman lämmön tuoton ja säädeltävyyden verrattuna täysin varaavaan järjestelmään, mutta säilyttäen samalla kyvyn varastoida osa tuotetusta lämmöstä myöhempää käyttöä varten. Osittain varaavassa lämmitysjärjestelmässä voidaan esimerkiksi käyttää yön aikana edullisempaa sähköä lämmön varaamiseen. Lisälämpöä voidaan tarvittaessa tuottaa suoralla sähkölämmityksellä päiväaikaan.

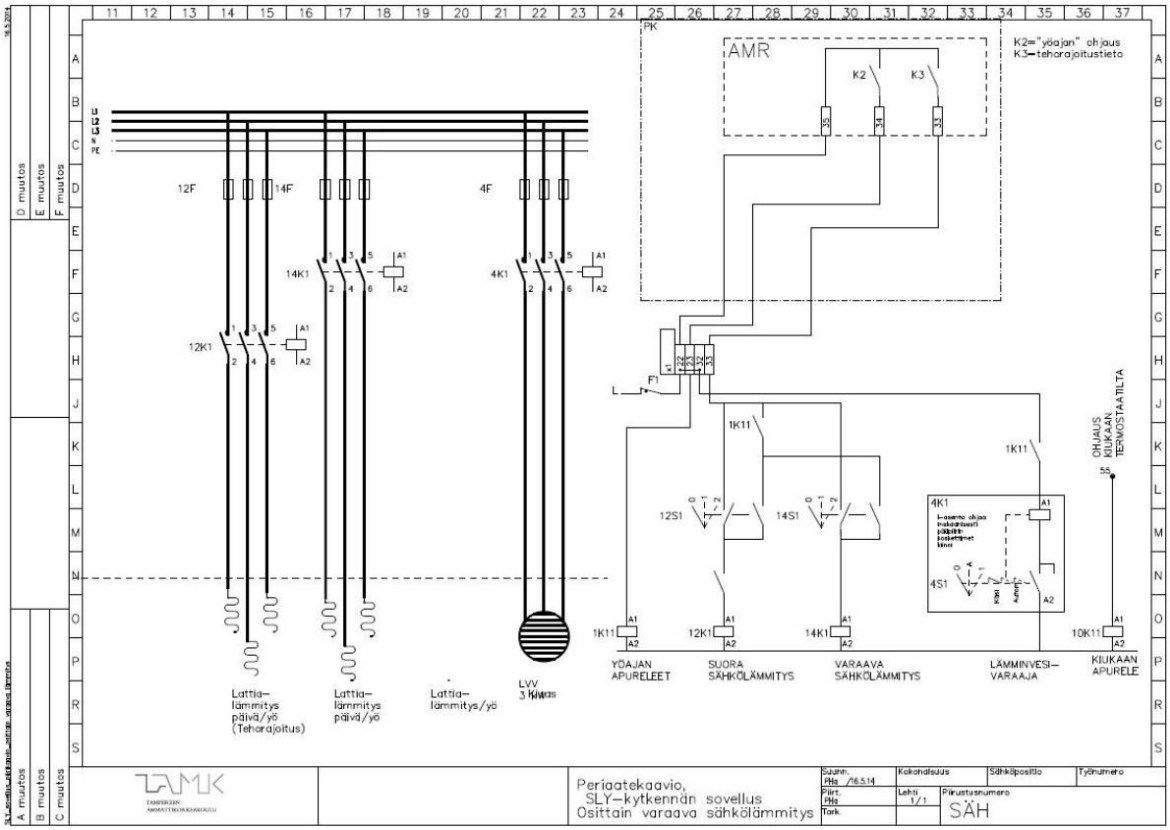


Kuva 6. Varaavan ja suoran sähkölämmitysyksikön tyypilliset tehoprofiilit

Varaavan sähkölämmityksen ohjaus on toteutettu yöaikaan ja tämä näkyy kulutushuippuina ilta- ja yöaikoihin kuvassa 6. Mittarin kuormanohjausrele ohjaa tavallisesti kaikkia käyttöpaikan varaavia lämmityksiä. Suoran sähkölämmityksen tehoprofiili on maltillisempi, ja huipputehon maksimiarvo jää pienemmäksi kuin varaavalla lämmityksellä. Suoran sähkölämmityksen käyttöajankohta voi kuitenkin osua sähköverkon huippukuormituksen kohdalle, jolloin lämmitystehon säätäminen näkyy varaavaa lämmitystä nopeammin kiinteistön sisälämpötilassa.

SLY-kytkentä (Sähkölaitosyhdistyksen julkaisu 7/92) on jakeluverkkoyhtiöiden laatima suositus sähkölämmityksen ohjaamiseen. SLY-kytkennän tärkeimpiä ominaisuuksia ovat tariffinohjaustieto (yösähkön hyödyntäminen), sähkölämmityksen ohjaaminen

verkkokäskyohjauksella (VKO) sekä huipputehon rajoitus, jolloin kiukaan ollessa päällä osa lämmityksestä kytketään pois. SLY-kytkennän periaatekaavio on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. SLY-kytkentä osittain varaavan lämmityksen ohjaamiseen (Tampereen yliopisto, 2019)

Kuvan 7 kytkentäpiirroksessa lämminvesivaraaja on yöohjauksessa kontaktorin K2 takana. Lämmityksen koko käyttöteho on tehorajoituksen ohjauksessa K3. Myös yöohjauksen kontaktori K2 ohjaa lämmitystä, mikäli ryhmäkohtaiset kytkimet ovat varaavan lämmityksen asennossa. Päivittämällä kuormanohjauskalenterin kuvan AMR-mittarille lämmitysajankohdan voi siirtää myös toiseen aikaan vuorokaudesta.

Sekä SLY-kytkentä että kuormanohjausreleellä varustettu sähkömittari löytyvät lähes jokaisesta sähkölämmitteisestä omakotitalosta, joten niiden hyödyntäminen joustomarkkinoilla ei vaadi asiakkaalta merkittäviä lisäinvestointeja (Järventausta et al, 2015).

Edellä mainittujen lämmityskuormien lisäksi kuormanohjausrele mahdollistaa esimerkiksi koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän sekä sähköautojen latauspisteiden ohjaamisen. Lainsäädännön tarjoama kuormanohjaus sähkömittarille tarjoaa loppuasiakkaan näkökulmasta

yksinkertaisen, kustannustehokkaan ja tasapuolisen alustan osallistua joustotoimenpiteisiin sähkömarkkinoilla.

2.4 Viat kuormanohjauksessa

Kuormanohjauspalvelun käyttöönotto ei kaikissa tapauksissa onnistu ilman lisäselvityksiä. Kuormanohjausryhmän päivittämisessä voi ilmetä virhetilanteita jakeluverkonhaltijan järjestelmien välillä. Yksi yleisimmistä järjestelmäteknisistä syistä on yhteysongelma mittarille. Tiedonsiirtoyhteyksien ohella ongelmatilanteen syynä voi myös olla asiakkaan laitteistosta johtuvat viat. Alla listatuissa tapauksissa asiakkaan tulee tilata oma sähköurakoitsija paikalle (Caruna, 2024d):

- Asuntokohtaisia ohjausjohtoja ei ole viety mittarille.
- Keskuksessa olevan yöreleen tai varaavien laitteiden releet/kontaktorit ovat viallisia, niissä on löysiä liitoksia tai jokin johtimista on irronnut.
- Lämmityksen ohjauksen sulake on palanut, jonka vuoksi suora sähkölämmitys ei toimi.
- Varaava laite on vioittunut, esimerkiksi lämmitysvastus tai lämmityksen sulake on palanut.
- Osa tai kaikki varaavista laitteista saattavat olla myös asiakkaan oman kellokytkimen ohjauksessa, joka on vioittunut.

Luotettavan asiakkaan omaehtoisen kysyntäjouston sekä asiakaskokemuksen kannalta on tärkeää, että asiakkaan kuormien etäohjaus onnistuu tehokkaasti ja ongelmitta.

3 Kysyntäjousto

Tässä luvussa tarkastellaan kysyntäjouston tavoitteita sekä joustotoimenpiteiden toteuttamista jakeluverkonhaltijan näkökulmasta. Kappaleissa 3.4 ja 3.5 tarkastellaan eri markkinapaikkojen tiedonvaihtoa joustotoimenpiteiden kanssa.

3.1 Jakeluverkonhaltijan rooli kysyntäjoustossa

Jakeluverkonhaltijat ovat keskeisessä roolissa kysyntäjouston toteuttamisessa. Verkkoyhtiöt vastaavat sähköverkkojen toimitusvarmuudesta ja mittaus- ja ohjausinfrastruktuurin hallinnoinnista, mikä mahdollistaa joustotoimenpiteiden tehokkaan implementoinnin. Mittausinfrastruktuuri sekä energiamittareiden etäohjattavuus mahdollistavat palveluyhtiöiden lähettämien kuormanohjauskäskyjen välittämisen loppuasiakkaiden mittareille, mikä mahdollistaa joustavamman energian käytön lähes reaaliajassa. Kysyntäjoustotoimien toteutumisen kannalta mittaustietojen ajantasainen hallinta on keskeisessä roolissa. Tarkka ja reaaliaikainen mittausdata mahdollistaa joustotoimenpiteiden todentamisen ja niiden vaikutusten analysoinnin, mikä tukee koko energiasektorin tehokkuutta (Empower IM Oy, 2020a).

Verkkoyhtiöt voivat myös hyödyntää markkinapohjaisen kuormanohjauksien tarjoamaa joustoa myös jakeluverkon käytön optimoinnissa, mikä lisää sähköverkon toimitusvarmuutta ja voi vähentää tarvetta uusille verkkoinvestoinneille.

Lisäksi verkkoyhtiöillä on mahdollisuus vaikuttaa asiakkaiden kulutustottumuksiin tarjoamalla tariffi- ja tehopohjaisia sopimuksia. Nämä hintakomponentit kannustavat kuluttajia osallistumaan aktiivisesti kysyntäjoustoon ja pienentämään käyttöpaikkansa huippukuormia. Verkkoyhtiöiden tarjoama infrastruktuuri ja palvelut ovat avainasemassa sähköjärjestelmän joustavuuden ja siirtokapasiteetin varmistamisessa.

3.2 Kysyntäjouston tavoitteet

Kuormanhallinta on keskeinen osa sähköverkkojen tehokasta ja joustavaa käyttöä. Verkon hallinta sisältää toimenpiteitä, joilla voidaan säädellä tai ohjata sähkönkulutusta ja -tuotantoa lähes reaaliaikaisesti vastaamaan sähköverkon tehotilanteen vaihteluita.

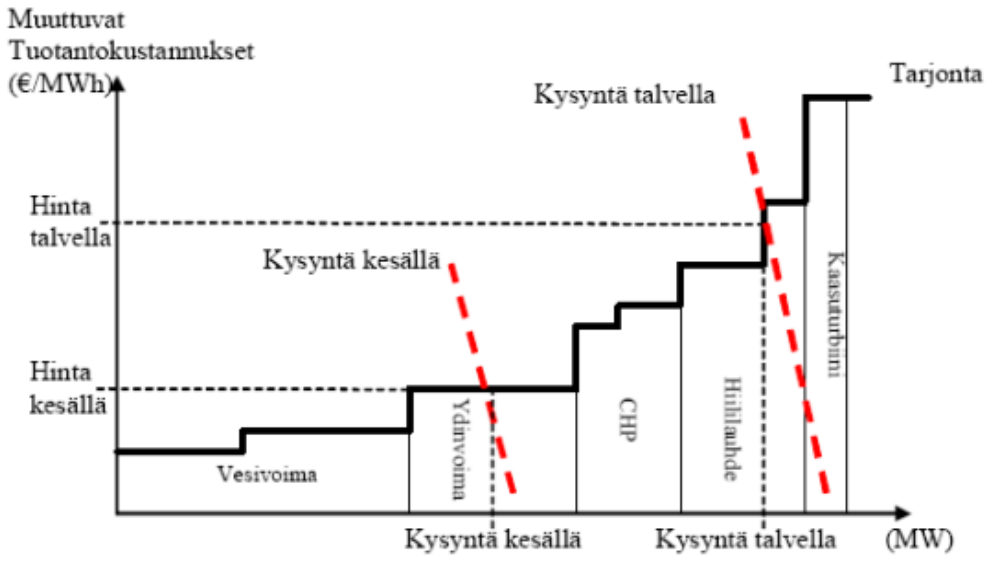
Yksi tapa hallita kuormia sähköverkossa on hyödyntää verkonhaltijan sähkömittareiden kuormanohjausreleitä, jotka kykenevät katkaisemaan tai rajoittamaan kiinteistöjen sähkönkulutusta automaattisesti. Kuormanhallinnan kehittäminen ja laajamittainen käyttöönotto edellyttävät kuitenkin verkko- ja tiedonsiirtoinfrastruktuuriin liittyviä investointeja sekä markkinamekanismien kehittämistä. Selkeät säännöt ja kannustimet rohkaisevat sekä yksittäisiä kuluttajia että suurempia asiakkaita osallistumaan kysyntäjouston piiriin. Lisäksi kuluttajien tietoisuuden lisääminen ja osallistumiskynnyksen madaltaminen ovat avainasemassa, jotta kuormanhallintatoimenpiteet saadaan laajasti käyttöön loppuasiakkaiden keskuudessa.

Kuormanohjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi ajastamalla kulutuksen vähentämistä tietyille ajanhetkille, jolloin sähkön hinta on korkeimmillaan, tai verkon kuormituksen ollessa suurimmillaan. Teknologia mahdollistaa tulevaisuudessa myös joustavan reagoinnin sähkön hinnan muutoksiin reaaliajassa, esimerkiksi hyödyntämällä yhteiseurooppalaisen vuorokausimarkkinan (day-ahead) hintoja.

Hintasignaalin mukaan toteutettava kuormanohjaus tarjoaa kuluttajille taloudellisia hyötyjä. Jakeluverkkoyhtiöille kuormien hallinta mahdollistaa verkon tehokkaamman käytön, ja voi vähentää tarvetta kalliille tehonlisäyksille huippukulutusaikoina. Kuluttajat puolestaan voivat hyötyä alentuneista sähkölaskuista ohjaamalla kulutustaan edullisempien hintojen aikaan. Kulutusjouston mekanismit, kuten kuormanohjaus, tukevat myös uusiutuvan energian integroimista sähköjärjestelmään, mikä on olennainen osa energiajärjestelmän kestävää kehitystä.

Sähkön tukkuhinta määräytyy markkinaperiaatteiden ehdoilla kysynnän ja tarjonnan mukaisesti. Sähköpörssin vuorokausimarkkinoilla (day-ahead) hinta määräytyy seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille markkinaosapuolien ilmoittamien osto- ja myyntitarjouksien perusteella. Tiettyä ajanhetkeä vastaavat tarjoukset yhdistetään kysyntä- ja tarjontakäyriksi. Kaupankäyntiä koskeva ajanjakso on tällä hetkellä yksi tunti. 15 minuutin

kaupankäyntijaksoon on määrä siirtyä vuonna 2025 eurooppalaisen aikataulun mukaisesti. Kaikille hyväksytyille tarjouksille muodostuu tukkumarkkinahinta kysyntä- ja tarjontakäyrien leikkauspisteessä. Kysynnän kasvaessa myös tuotannon tarjouksia tulee aktivoida enemmän. Markkinahinta kattaa kustannukset kalleimmasta tuotantotavasta, joka tarvitaan sähkön kysynnän täyttämiseksi (Partanen et al., 2023.) Sähkön hinnan muodostuminen on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Sähkön hinnan muodostuminen (Partanen et al. 2023)

Sähkön hinnassa day-ahead -markkinoilla voi esiintyä piikkejä, mikäli kysynnässä tai tarjonnassa tapahtuu merkittäviä muutoksia, joita markkinaosapuolet eivät ole ennakoineet. Suomessa sähkön vuorokausimarkkinan hinta nousi ennätyksellisen korkealle 5. tammikuuta 2024 kello 19–20, jolloin sähköenergian hinta arvonlisäveron kanssa nousi 2,35 euroon kilowattitunnilta (Yle, 2024).

Vuoden 2022 lopussa pörssisähkösopimusten osuus oli noin 14 prosenttia asiakkaiden sähkön myyntisopimuksista. (Energiavirasto, 2023). Viime vuosien aikana sähkönmyyjien sopimustarjontaan on tullut ns. hybridisopimuksia, joissa on kiinteän hinnan lisäksi spot-hinnan ja kulutuksen ajoittamisen perusteella määräytyvä kulutusvaikutus-komponentti. Pörssisähkösopimukset mahdollistavat reagoinnin sähkön markkinahinnan ja näin ollen sähkön tuotantokattavuuden vaihteluihin. Entistä joustavampien energiaratkaisujen ja hinnoittelumallien tavoitteena on motivoida yritys- ja kuluttaja-asiakkaita aktiivisempaan rooliin

sähkömarkkinoilla sekä pienentää sähkön myyntiyhtiöiden riskiä ennustaa väärin portfolionsa sähkön kulutusta ja tuotantoa.

Viime vuosina sähkön hintaan ovat vaikuttaneet erityisesti geopoliittinen kriisi Euroopassa, maakaasun korkea hinta, päästöoikeuksien hinnannousu, keskimääräistä alhaisemmat vesivarastot sekä sähköverkon siirtokapasiteetin rajoitteet yhteisellä verkkoalueella. Suomessa sähkön riittävyyteen on vaikuttanut positiivisesti muun muassa monipuoliset energiansäästötoimet sekä kysyntäjousto (Energiavirasto, 2023). Lisäksi sääriippuvaisen tuotannon lisääntyminen on vaikuttanut sähkön markkinahinnan heilahteluun. Hintavaihtelut kannustavat joustavaan kulutukseen ja tuotantoon sekä energian varastointiin.

Energiamurroksesta ja sähkön tuotantokapasiteetin vaihteluista selviytyminen vaatii pääosin joustoa sähkön kysynnän puolella. Euroopan viranomaisten tavoitteena on mahdollistaa tasapuoliset sekä kustannustehokkaat edellytykset lisätä joustavuutta sähkönkulutukseen (EU, 2023). Sähkön tehotasapainon ylläpitämiseksi kulutusjouston avulla voidaan tasoittaa piikkejä ja notkahduksia kysynnässä. Tehokkaan kulutusjouston ansiosta on mahdollista vähentää tarvetta ajaa hiilidioksidipäästöjä aiheuttavia voimalaitoksia erityisesti huippukysynnän aikana.

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid osallistuu eurooppalaisten sähkömarkkinoiden kehitykseen yhteistyössä muiden sidosryhmien kanssa, ja on vaikuttamassa sähkömarkkinoihin liittyvään päätöksenteon, kuten esimerkiksi uusien asetusten laadintaan (Fingrid Oyj, 2024b).

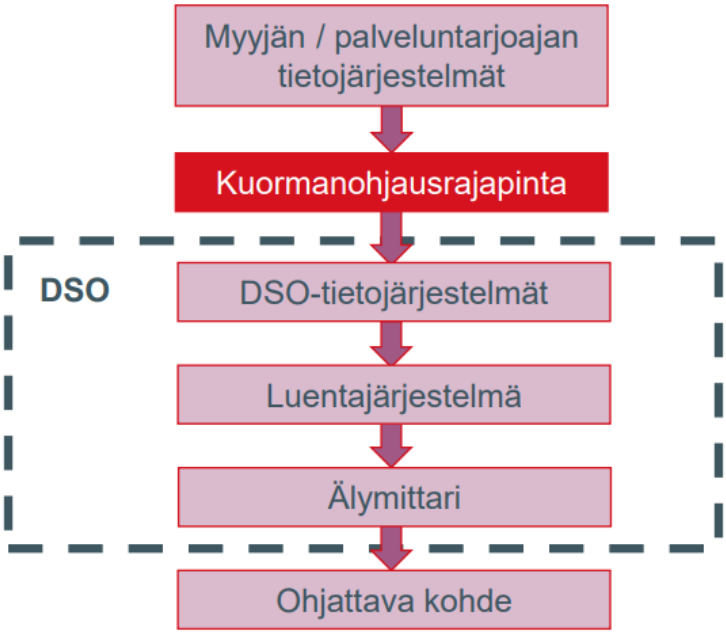
Energiaregulaattoreiden yhteistyövirasto ACER ((European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators) organisoi ja edistää kansallisten energia-alan sääntelyviranomaisten työtä. ACER:n tehtäviin sähkömarkkinoilla lukeutuu muun muassa sähkön sisämarkkinoiden toimivuuden valvonta sekä sähköverkkoja koskevien puiteohjeiden laadinta, joiden pohjalta EU:n järjestelmävastaavien kantaverkkoyhtiöiden yhdistys ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) valmistelee verkkosäännöt. Joustoa koskeva verkkosääntö tulee sisältämään edellytykset joustomarkkinalle, sekä määrittelyt ja vaatimukset verkkoyhtiöiden, tasevastaavien ja joustopalveluntarjoajien rooleille tällä markkinapaikalla.

Joustotoimenpiteet ovat sisällytetty myös Euroopan energiatehokkuusdirektiiviin. Keskeisinä haasteina ja kehityskohteina joustomarkkinan implementoinnin kannalta ovat kuluttajien osallistaminen markkinoille, jakeluverkkoyhtiöiden kannustinjärjestelmien

kehittäminen, aggregaattorien roolin tarkentaminen sekä markkinaosapuolten välisen yhteistyön tehostaminen (SEDC 2017.). Työ- ja elinkeinoministeriön alatyöryhmän raportin mukaan kuormanohjaustoiminnallisuus uuden sukupolven etämittauslaitteistoissa tarjoaa edellytykset kysyntäjouston toteuttamiselle suurelle asiakasmäärälle (Järventausta et al. 2018).

3.3 Joustorajapinta

Sähkönmyyjille ja muille palveluntarjoajille joustomarkkinapaikalla on pidetty tärkeänä, että erilaisia tietorajapintoja on mahdollisimman vähän. Erilaiset järjestelmäratkaisut, joissa palveluyhtiöt joutuisivat liittymään jokaisen verkkoyhtiön rajapintaan erikseen osallistuakseen joustomarkkinapaikalle ei pidetty kustannustehokkaina tai tavoiteltavina. Kuormanohjausrajapinnan on suunniteltu toimivan yhteisenä tietojärjestelmäalustana myyjien, palveluyhtiöiden ja jakeluverkonhaltijoiden välillä kuvan 9 mukaisesti.



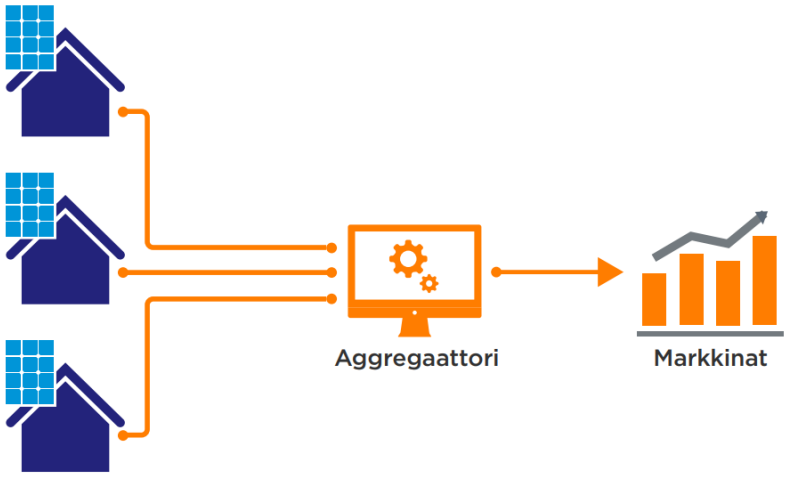
Kuva 9. Joustomarkkinan järjestelmäarkkitehtuuri (Fingrid Oyj, 2024d)

Markkinaehtoinen kuormanohjaus toteutetaan kuormanohjausrajapinnan kautta. Joustopalveluntarjoaja (FSP) lähettää verkonhaltijalle (DSO) ohjaussanoman, jossa kuormanohjausreleen tilaa ohjataan esimerkiksi päiväkohtaisesti toistaiseksi jatkuvana, kunnes ohjauskalenteria päivitetään tai kalenterille annettu voimassaoloaika päättyy.

Joustopalveluntarjoajana voi toimia esimerkiksi asiakkaan sähkönmyyjä tai itsenäinen aggregaattori. Keskitetyn kuormanohjausrajapinnan kautta välitetään myös verkonhaltijan suorittamien ohjausten raportointi palveluyhtiöille. Ohjauskalenterin rakenne on esitetty tarkemmin liitteessä 1.

3.3.1 Aggregointi

Sähkömarkkinalain (497/2023) mukaan aggregointi tarkoittaa toimintaa, jossa yhdistetään usean loppukäyttäjän kuluttamaa tai tuottamaa sähköä myytäväksi, ostettavaksi tai edelleen huutokaupattavaksi sähkömarkkinoilla. Aggregaattorit ovat sähkömarkkinatoimijoita, jotka yhdistävät useita pienempiä sähköntuotannon tai -kulutuksen lähteitä toimiakseen yhtenä isompana yksikkönä sähkömarkkinoilla. Tämä mahdollistaa myös pienempien asiakasryhmien osallistumisen markkinoille tavalla, joka ei yksittäin olisi taloudellisesti kannattavaa tai mahdollista markkinapaikkojen minimitarjouskokojen vuoksi. Aggregaattorit voivat hallita ja ohjata kuluttajien energiankulutusta, mikä auttaa tasapainottamaan kysyntää ja tarjontaa verkossa. Aggregaattorin rooli sähkömarkkinoilla on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Aggregaattorin rooli sähkömarkkinoilla. (TEM, 2018)

Itsenäinen aggregointi viittaa sähkömarkkinatoimintaan, joka ei sisällä sopimussuhdetta asiakkaan sähkönmyyjän tai tasevastaavan kanssa. Aggregaattorit toimivat aktiivisina osallistujina sähköpörssissä ja muilla energiamarkkinoilla, tarjoten ja hankkien sähköä tavalla, joka

maksimoi taloudellisen hyödyn yhdistetyille resursseille. Aggregointi mahdollistaa resurssien paremman hallinnan ja ennustettavuuden, mikä parantaa sähköverkon varmuutta ja luotettavuutta. Aggregaattorien ohjatessa sekä optimoidessa useiden lähteiden kulutusta ja tuotantoa, voidaan vastata nopeammin sähkömarkkinatilanteen muutoksiin (Fingrid Oyj, 2024c).

Aggregointi mahdollistaa uusiutuvien energialähteiden kattavamman hyödyntämisen sekä energiankäytön kustannustehokkaamman optimoinnin, mikä edistää päästöjen vähentämistä ja ympäristötavoitteiden saavuttamista. Aggregaattorin rooli sähkömarkkinoilla on moninainen, ja se kattaa teknisen hallinnan, markkinoiden toimintaan osallistumisen ja uuden teknologian soveltamisen, jotka kaikki tukevat tehokkaampaa ja kestävämpää energiataloutta.

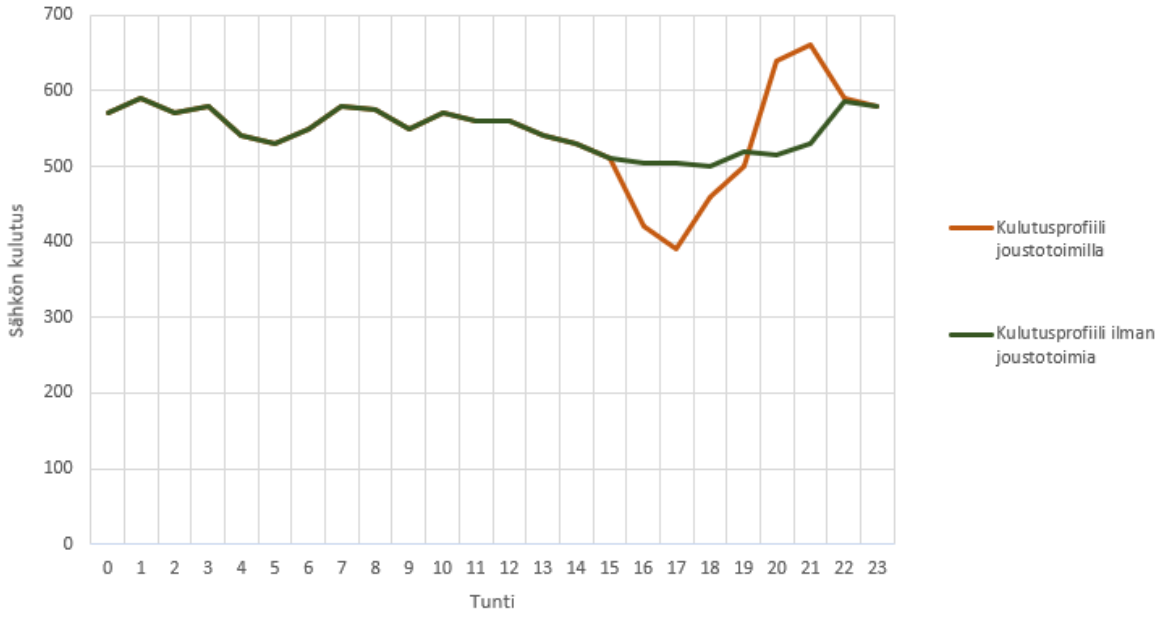
3.3.2 Joustontoimenpiteiden todentaminen

Kysyntäjousto toimii sähköverkoissa keinona tasapainottaa sähkön tarjontaa ja kysyntää, erityisesti huippukulutushetkinä. Baseline eli perustaso/perusjuuri on keskeinen käsite, jolla arvioidaan kysyntävasteen toimenpiteiden tuloksena syntyvän energiansäästön tai -siirron määrää. Perustason määrittely ja käyttö ovat olennaisia osia kysyntäjouston toteuttamisessa ja sen vaikutusten selvittämisessä sähköverkossa.

Baseline-termi viittaa vertailuarvoon tai lähtötasoon, joka kuvaa sähkönkulutuksen normaalia tasoa ennen kysyntäjoustotoimenpiteiden käyttöönottoa. Arvo lasketaan tyypillisesti kulutushistorian perusteella. Baselinen laskennassa täytyy ottaa huomioon erilaiset tekijät, jotka vaikuttavat sähkönkulutukseen, kuten sääolosuhteet, viikonpäivät sekä vuorokaudenaika.

Kuvassa 11 on esitetty hahmotelma käyttöpaikan kulutusprofiilista ja joustotoimien vaikutuksesta. Kulutuksen pudottamisesta klo 14–19 seuraa myöhemmin jälkipiikki, kun jouston toteuttanut kuorma, esimerkiksi lämmitysjärjestelmä kytketään päälle.

Hintaperusteinen kuormanohjaus voi aiheuttaa hetkellisen kuormituksen kasvun sähköverkossa jälkipiikin aikana. Verkon vahvistamisen ja investointien tarpeen välttämiseksi verkkoyhtiö voi motivoida asiakkaitaan käyttöpaikan huipputehon pienentämiseen lisäämällä tehokomponentin verkkopalvelun hinnoittelurakenteeseen (Honkapuro et al. 2020).



Kuva 11. Joustotoimenpiteiden vaikutus kulutusprofiiliin

Kun kuluttajat vähentävät sähkönkulutustaan tai siirtävät sitä toiseen ajankohtaan markkinan pyynnöstä, vertaillaan toteutunutta kulutusta baseline-arvoon. Erotus kertoo, kuinka paljon sähköä on säästetty tai kulutuksen huippua on onnistuttu siirtämään. Baseline-laskentametodi mahdollistaa kysyntäjouston vaikutusten objektiivisen arvioinnin. Lisäksi baseline-arvoon perustuva verkon kuormitusten tarkastelu auttaa markkinatoimijoita sekä kuluttajia ymmärtämään joustotoimenpiteiden konkreettisia hyötyjä. Baseline-arvon tarkka määrittäminen voi olla kuitenkin haastavaa, sillä sähkönkulutukseen vaikuttavia tekijöitä on useita. Mallin on oltava oikeudenmukainen ja läpinäkyvä, jotta kaikki osapuolet markkinoilla kokevat kysyntäjouston kannustimet ja hyödyt oikeudenmukaisiksi.

3.3.3 Muut rajapinnat

Kappaleessa 2.1 tarkasteltu nykyinen kuormanohjausprosessi on toteutettu jakeluverkonhaltijan hallinnoimien järjestelmien välillä. Asiakkaan tekemä kuormanohjausryhmän päivityspyyntö välitetään asiakastietojärjestelmän (ATJ) kautta mittarien luentajärjestelmään (AIM) ja käyttöpaikan mittarille. Nykyistä kuormanohjausprosessia on käsitelty aiemmin kappaleessa 2.1.

Tulevassa markkinaehtoisessa kuormanohjausprosessissa ohjauskäsky tulee palveluntarjoajalta joustorajapinnan kautta. Joustorajapinta välittää ohjaussanoman edelleen asiakastietojärjestelmään ja muihin jakeluverkonhaltijan järjestelmiin. Kuormanohjausrajapinta toimii keskitettynä ohjausrajapintana palveluyhtiöiden sekä jakeluverkonhaltijoiden välillä kuvan 9 mukaisesti. Joustorajapinnan esitetty toimivan datahubin rinnalla, hyödyntäen keskitettyyn järjestelmään koottuja asiakas-, sopimus- ja käyttöpaikkatietoja. Myös tieto asiakkaan ohjattavista kuormista on mahdollista päivittää datahubiin kuvan 11 mukaisesti.

Kuva 11. Datahubin tieto asiakkaan ohjattavista kuormista

Ohjattavan kuorman tiedot ovat tasapuolisesti ja ajantasaisesti saatavilla valtuutettujen markkinaosapuolten kesken. Joustotoimenpiteiden kannalta erityisesti kuorman maksimiteho, ohjauksen ajastukset ja ohjausta rajoittavat tekijät ovat keskeisiä tietoja verkkoyhtiöille.

3.4 Day-ahead -markkina

Day-ahead -markkinoilla (vuorokausimarkkinoilla) kaupankäynti tapahtuu päivittäin seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille. Markkinaosapuolet asettavat tarjouksensa sähkön tuotannosta ja kulutuksesta klo 13 mennessä sähköpörssien toteuttamaa huutokauppaa varten. Tarjoukset perustuvat markkinaosapuolten arvioihin tulevasta sähkön kysynnästä ja tarjonnasta sekä tuotantokapasiteetista ja -kustannuksista. Sähkön systeemihinta lasketaan annettujen osto- ja myyntitarjousten sekä siirtokapasiteettien perusteella jokaiselle tunnille. Systeemihinta heijastaa markkinoiden kalleimman tuotantomuodon kustannuksia, joka on katettava sähkön kysynnän ja tarjonnan tasapainottamiseksi. Menettely varmistaa, että

sähköntuotantomuotoja käytetään mahdollisimman tehokkaasti, alkaen edullisimmista vaihtoehdoista. Systeemihinnan laskenta ei kuitenkaan huomioi rajoitteita siirtoverkossa, vaan ne huomioidaan erikseen sähkön aluehintojen laskennassa. Siirtokapasiteetin lisäksi sähkön aluehintaan Suomessa vaikuttavat esimerkiksi tuontisähkön määrä, ulkolämpötila sekä paikallisen tuotantokapasiteetin määrä. Toukokuussa 2023 Fingrid arvioi verkkosivuillaan kysyntäjouston määräksi vuorokausimarkkinoilla noin 200–600 megawattia Suomen sähköverkossa (Fingrid Oyj, 2024a).

Tulevan vuorokauden tuntihinnat julkaistaan toimitusta edeltävänä päivänä noin klo 14 Suomen aikaa. Seuraavan päivän kuormanohjauskalenterin toimittamiselle jää aikaa noin 10 tuntia. Kuormanohjaus tulee välittää mittarille lainsäädännön mukaan kuuden tunnin kuluessa. Vuorokausimarkkinoilla on määrä siirtyä 15 minuutin kaupankäyntijaksoon vuonna 2025 (Fingrid Oyj, 2024c). Vuorokausimarkkinan mukaisia spot-hintaan perustuvia kuormanohjaustoiminnallisuuksia tarkastellaan kappaleessa 4.2.

3.5 Intraday-markkina

Toimitushetken lähestyessä tuotannon tilanne saattaa muuttua yllättäen, mikäli esimerkiksi sähkön siirtolinja vaurioituu, voimalaitoksen tuotantoa joudutaan rajoittamaan tai säätilanne muuttuu radikaalisti. Kulutuksen ja tuotannon tasapainottamiseksi intraday-markkina (päivänsisäinen markkina) tarjoaa markkinatoimijoille mahdollisuuden tarkistaa tuotanto- ja kulutussuunnitelmiaan lähempänä käyttöhetkeä. Päivänsisäinen markkina toimii tuntitasolla jatkuvan kaupankäynnin periaatteella, ja ne avautuvat vuorokausimarkkinan jälkeen.

Päivänsisäinen markkina sulkeutuu Suomessa juuri ennen toimitusjakson alkua. Työ- ja elinkeinoministeriö esitti raportissaan alustavaksi vaatimustasoksi kuormanohjausrajapinnalle, että uusi ohjauskäsky tulisi onnistua toimittamaan suurelle joukolle mittareita 30 minuutin kuluessa. Viive ohjauksen läpimenolle on merkittävästi lyhyempi kuin day-ahead -markkinalla. Tasejakson lyhentyessä päivänsisäisellä markkinapaikalla voidaan odottaa myös ohjauskomennon läpimenovaatimusten mahdollisesti lyhentyvän. Esitetty läpimenovaatimus ohjauskäskyille on puoli tasejaksoa, eli 15 minuutin tasejaksolla läpimenoaika olisi 7,5 minuuttia (Järventausta et al, 2018).

Työ- ja elinkeinoministeriön esityksen mukaan päivänsisäisellä markkinapaikalla ei edellytettäisi alustavasti varmuutta kuormanohjausviestin perillemenosta tiettyyn kohteeseen, vaan riittäisi, ettei viestin perillemenon vaikutuksessa taseeseen aiheudu merkittäviä ja vaikeasti ennustettavia eroja. Päivänsisäisen markkinan volyymi on huomattavasti pienempi kuin vuorokausimarkkinan. Ainoastaan noin 1 % Suomessa kulutetusta sähköenergiasta välitetään tällä hetkellä päivänsisäisen markkinan kautta (Järventausta et al, 2018).

Kysyntäjouston näkökulmasta päivänsisäisen markkinan merkitys tulee todennäköisesti jatkossa olemaan nykyistä volyymia suurempi, sillä etenkin sähkönmyyjät ovat osoittaneet kiinnostuksensa markkinapaikan kuormanohjauksia kohtaan.

Sähkönmyyjän toimiessa palveluyhtiönä (FSP) joustomarkkinoilla, se voi hyödyntää asiakkaidensa ohjattavaa kapasiteettia esimerkiksi siirtämällä kulutusta tasejaksojen välillä. Ohjaamalla käyttöpaikan kulutusta sähkönmyyjällä tai muulla palveluntarjoajalla olisi mahdollista myydä aiemmin ostamaansa energiaa kalliimmalla päivänsisäisen markkinan hinnalla tai vastaavasti hyödyntämään markkinan matalampaa hintatasoa ohjaamalla asiakkaan kulutusta lisää edullisimmille aikaväleille.

4 Tutkittavat skenaariot

Tässä luvussa tutkitaan kolmea erilaista skenaariota markkinaehtoisen kuormanohjauksen hyödyntämisen kannalta. Kappaleessa 4.1 tutkitaan Carunan verkkoalueen jouston mahdollisuuksia eri käyttäjäryhmien välillä. Kappaleissa 4.2, 4.3 ja 4.4 käsitellään markkinaehtoisia kuormanohjausprosesseja erilaisilla ohjausvaatimuksilla ja teknisillä ratkaisuilla.

4.1 Carunan verkkoalueen jouston mahdollisuudet

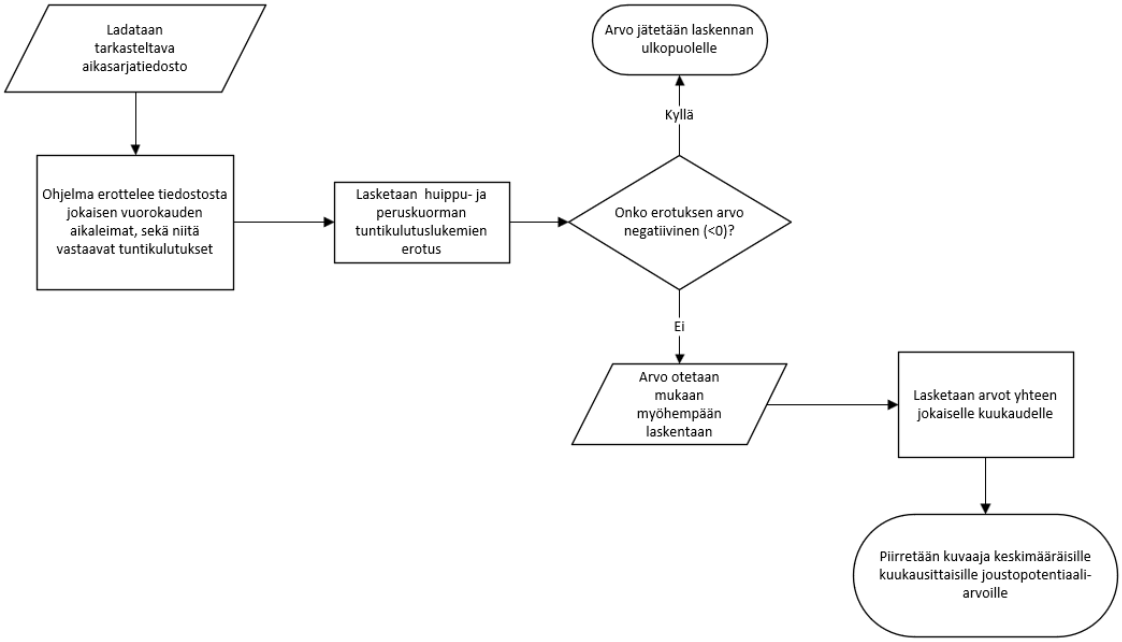
Carunan joustopotentiaalin selvityksen lähtöarvoina käytettiin vuoden 2023 eri tariffi- ja käyttöpaikkaryhmien tuntikulutuslukemia. Verkon joustopotentiaalin laskennassa hyödynnettiin Olli Latvasen diplomityössä esitettyä laskentamenetelmää, joka esiteltiin Sähkötutkimuspoolin työryhmässä maaliskuussa 2024. Latvasen esittämässä laskentatavassa A tuntilukemat ohjauspotentiaalin laskentaan valittiin tariffiasiakkaiden huippukulutuksen perusteella, jolloin lämmityskuorma oli suurimmillaan. Elenian verkkoalueella yleisin mittausarvo huippukuormitukselle sijoittui yötariffi-asiakkaille tunnille 23. Peruskuorman kulutuslukema saatiin tunnilta 13 (Latvanen, 2020). Vastaavasti Carunan verkkoalueen yö- ja kausitariffiasiakkaiden huippukulutus sijoittui yleisimmin tunnille 00 vuonna 2023.

Carunan kuormanohjausasiakkaiden ohjaus tapahtuu porrastetusti tuntien 22–00 välillä, ja huippukuormituksen vuorokausikohtainen kellonaika vaihtelee vuoden aikana. Laskentatapa B huomioi tehojen laskennalle pidemmän ajanjakson. Laskentatavalla B joustopotentiaali on määritetty huippukulutustuntien (22.00–01.00) ja peruskuorman (12.00–15.00) kulutuslukemien erotuksesta.

Näillä laskentamenetelmillä ryhmän 1 ohjauspotentiaali vaihteli 98–156 MW välillä vuodenajan mukaan. Tarkempia joustopotentiaaleja tarkasteltiin seuraavilla eri tariffi- ja käyttöpaikkaryhmillä:

- Ryhmä 1: Kaikki asuinrakennukset. joilla on yö- tai kausitariffi käytössä käyttöpaikallaan
- Ryhmä 2: Omakoti, pien- ja paritalot, rivitalot sekä vapaa-ajan asunnot. joilla on yö- tai kausitariffi käytössä käyttöpaikallaan
- Ryhmä 3: Sähkölämmitteiset omakotitalot, ei tariffierottelua
- Ryhmä 4: Sähkölämmitteiset omakotitalot, joilla on yö- tai kausitariffi käytössä käyttöpaikallaan

Eri käyttäjäryhmien joustopotentiaalia tarkasteltiin kuvan 12 mukaisen laskentaohjelman perusteella. Laskentaohjelma käsitteli käyttäjäryhmää koskevan tuntikulutustiedoston ja määritti jokaiselle kalenterikuukaudelle keskimääräisen tehoarvon joustopotentiaalille.



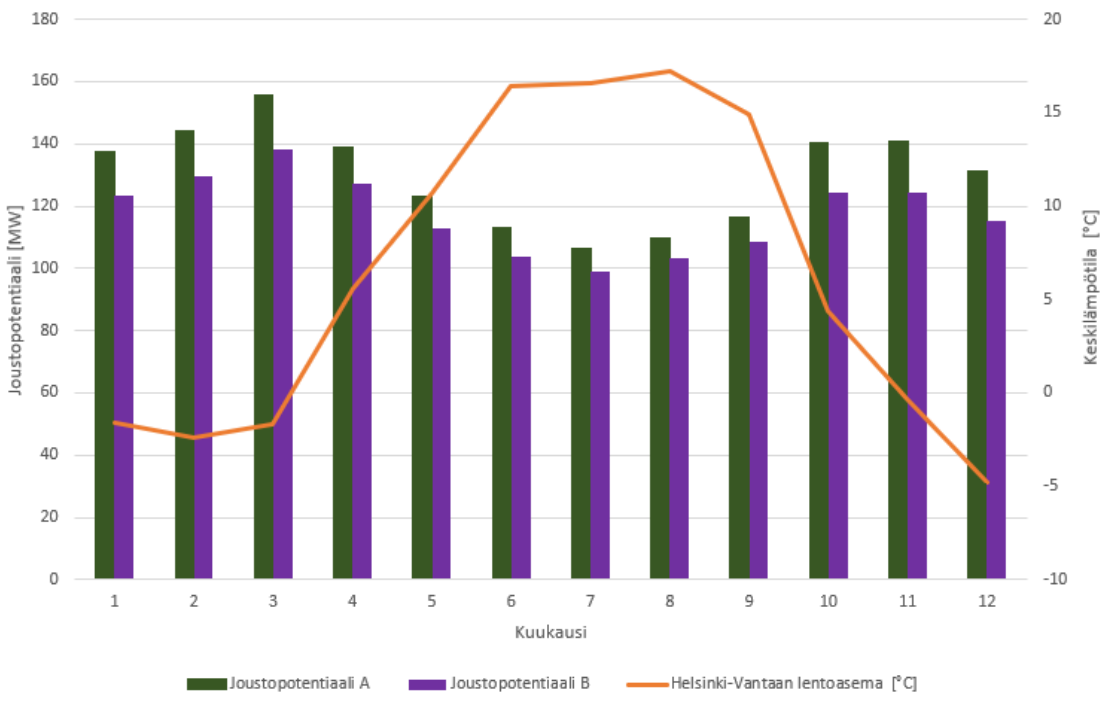
Kuva 12. Laskentaohjelman vuokaavio

Joustopotentiaalin analysoinnissa on hyödynnetty taulukon 4 mukaisia Ilmatieteen laitoksen julkaisemia kuukausittaisia keskilämpötiloja Helsinki-Vantaan lentoaseman mittauspisteeltä (Ilmatieteen laitos, 2024). Ulkolämpötilan kasvaessa lämmityskuorman tarve vähenee, jonka vuoksi myös verkon joustopotentiaali pienenee kesäaikaan.

Taulukko 4. Vuoden 2023 kuukausittaiset keskilämpötilat (Ilmatieteen laitos, 2024)

Kuukausi	Keskilämpötila °[C]
1	-1,6
2	-2,4
3	-1,7
4	5,6
5	10,7
6	16,4
7	16,6
8	17,2
9	14,9
10	4,4
11	-0,4
12	-4,8

Ensimmäinen tarkasteltava käyttäjäryhmä sisälsi kaikki Carunan verkkoalueen asuinrakennukset. joilla on yö- tai kausitariffi käyttöpaikallaan. Kuvassa 13 on esitetty ryhmän 1 joustopotentiaali kuukausittain vuoden 2023 kulutustietojen pohjalta.



Kuva 13. Käyttäjäryhmän 1 keskimääräinen joustopotentiaali kuukausittain laskentatavoilla A ja B

Carunan verkkoalueella yö- ja kausitariffiasiakkaita on arviolta 121 000. Käyttäjäryhmän 1 käyttöpaikkakohtaiseksi joustopotentiaalin määräksi saadaan 0,81–1,30 kW/käyttöpaikka.

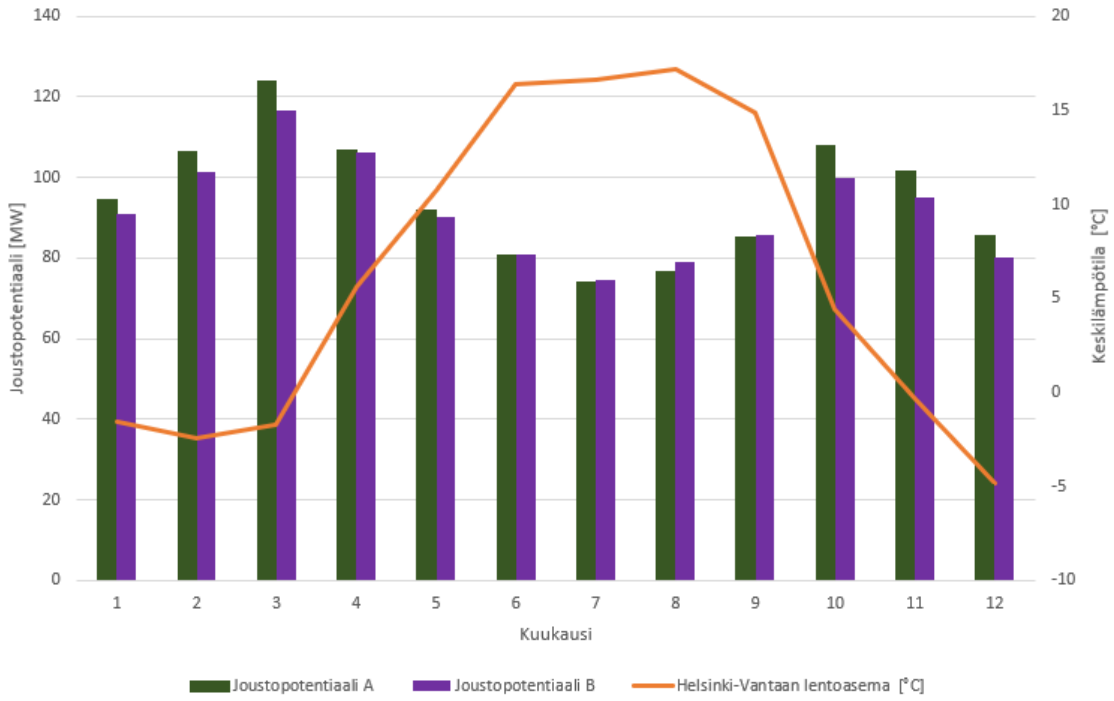
Seuraavana tarkasteluryhmänä oli omakoti-, pari- ja rivitalot sekä vapaa-ajan asunnot, joilla on yö- tai kausitariffituote käyttöpaikallaan. Huomioitavaa on, että lainsäädäntö ei velvoita kuormanohjausreleen asentamista yli kahden käyttöpaikan asuinrakennuksiin. Ryhmän 2 rivitalokiinteistöt kuitenkin sisältävät mahdollista joustopotentiaalia tulevaisuudessa.

Kuva 14. Käyttäjäryhmän 2 keskimääräinen joustopotentiaali kuukausittain laskentatavoilla A ja B

Carunan verkkoalueella käyttäjäryhmän 2 mukaisia käyttöpaikkoja arviolta 114 600. Käyttäjäryhmän 2 käyttöpaikkakohtaiseksi joustopotentiaalin määräksi saadaan 0,82–1,29 kW/käyttöpaikka.

Käyttäjäryhmä 3 sisältää kaikki Carunan verkkoalueen sähkölämmitteiset omakotitalot. Tämä tarkasteluryhmä ei sisällä tariffierottelua, eli tarkastelussa on kaikki yleis-, kaksiaika- ja kausitariffiasiakkaat. Yleistariffi ei sisällä varsinaista hintakannustinta kulutuksen

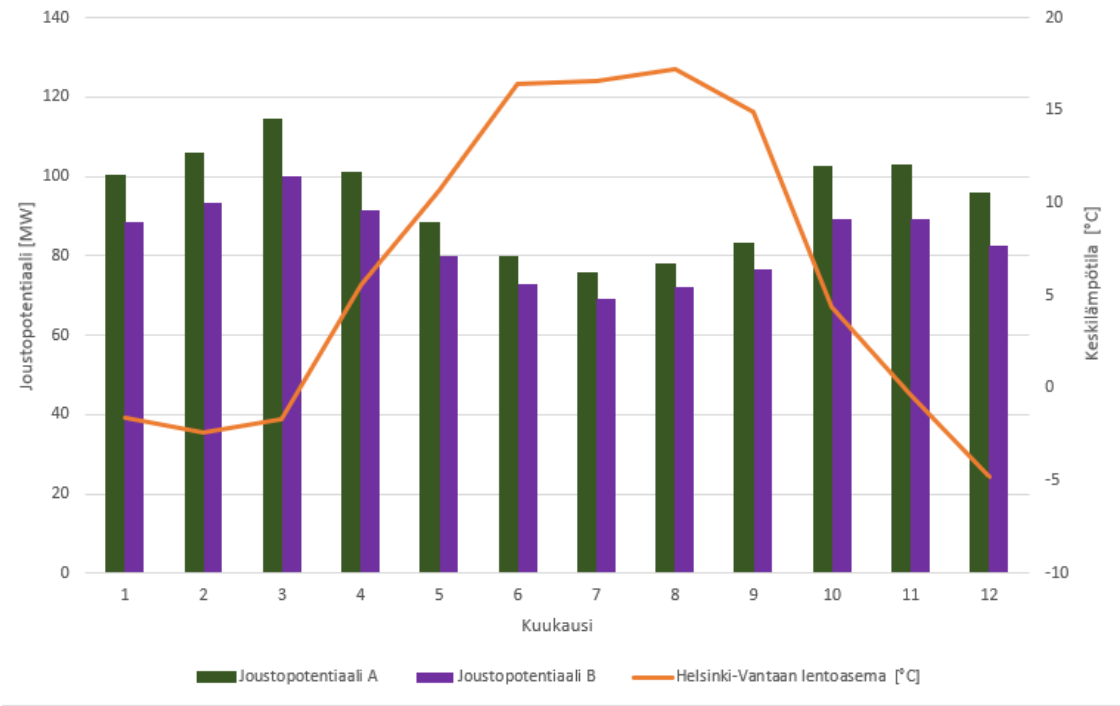
ajoittamiselle vuorokausikohtaisen huippukulutusajan ulkopuolelle. Käyttäjäryhmän 3 keskimääräinen joustopotentiaali vuoden 2023 mittaustietoihin perustuen on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Käyttäjäryhmän 3 keskimääräinen joustopotentiaali kuukausittain laskentatavoilla A ja B

Carunan verkkoalueella sähkölämmitteisiä omakotitaloja on arviolta 205 000. Näin ollen käyttäjäryhmän 3 käyttöpaikkakohtaiseksi joustopotentiaalin määräksi saadaan 0,36–0,61 kW/käyttöpaikka. Ryhmä 3 on ainoa tarkasteluryhmä, jolle laskentatapa B tarjoaa suuremman joustopotentiaalin tiettyjen kuukausien aikana. Poikkeava tulos laskentamenetelmien välillä viittaa siihen, että kesäkuukausien huippukulutustunnit tarkasteluryhmälle 3 eivät kohdistu laskentatavan A mukaiselle ajankohdalle klo 00.00–01.00, vaan suuremmalla hajonnalla aikavälille 22.00–01.00.

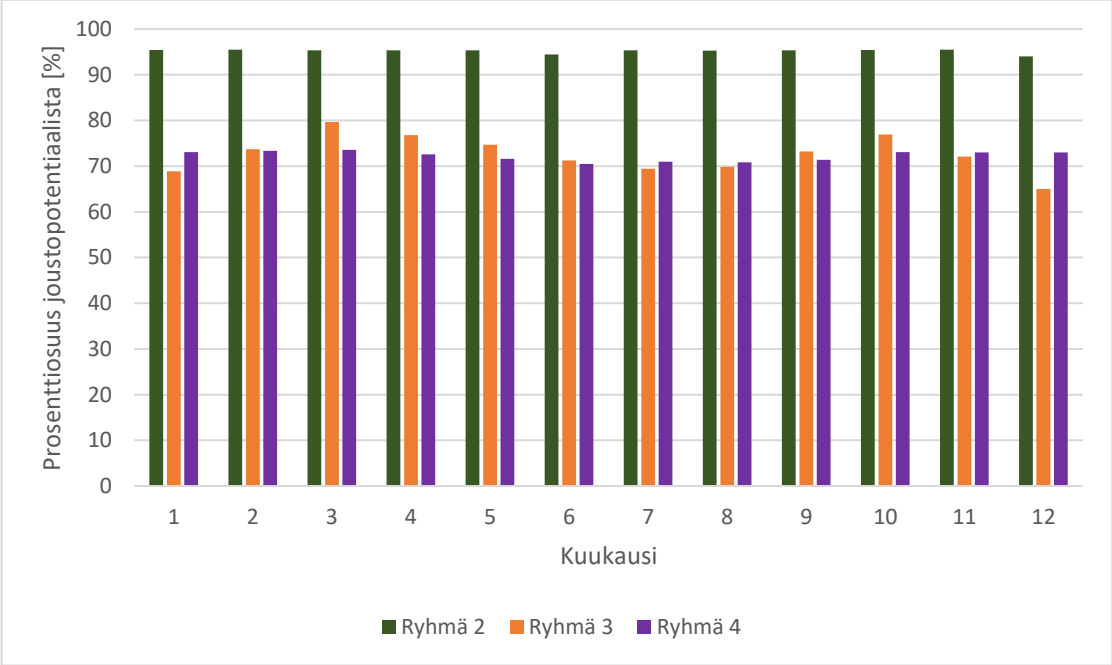
Viimeiseksi tutkittava tarkasteluryhmä 4 huomioi tariffivalinnan asiakkaiden kulutustottumuksissa. Ryhmä sisältää sähkölämmitteiset omakotitalot, joilla on yö- tai kausitariffi käyttöpaikallaan. Yö- ja kausitariffit tarjoavat asiakkaille hintakannustimen kulutuksen ajoittamiselle huippukulutusaikojen ulkopuolelle yön hiljaisimmille tunneille. Ryhmän 4 keskimääräinen joustopotentiaali vuoden 2023 mittaustietoihin perustuen on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Käyttäjäryhmän 4 keskimääräinen joustopotentiaali kuukausittain laskentatavoilla A ja B

Sähkölämmitteisiä omakotitaloja, joilla on yö- tai kausitariffi käyttöpaikallaan, on Carunan verkkoalueella noin 82 500. Käyttäjäryhmän 4 käyttöpaikkakohtaiseksi joustopotentiaalin määräksi saadaan 0,85–1,40 kW/käyttöpaikka eri kuukausien aikana.

Eri käyttäjäryhmien joustopotentiaalin vertailuarvona on käytetty ryhmän 1 (=kaikkien asuinrakennuksien, joilla yö- tai kausitariffi) sisältämää joustopotentiaalia. Joustopotentiaalien vertailu on toteutettu laskentatavalle A. Joustopotentiaalien jakautuminen eri tarkasteluryhmien kesken on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Ryhmien 2, 3, ja 4 prosenttiosuudet joustopotentiaalista.

Joustopotentiaalin prosenttiosuuksien jakautumiseen vaikuttaa merkittävästi tarkasteluryhmien sisältämä käyttöpaikkojen lukumäärä. Ryhmällä 3 jouston käyttöpaikkakohtainen osuus (kW/käyttöpaikka) jää maltillisemmaksi, mutta käyttöpaikkojen suurempi lukumäärä nostaa käyttäjäryhmän joustopotentiaalin osuutta verkossa. Eri tarkasteluryhmien joustopotentiaalien määrä, sekä niihin vaikuttavat parametrit ovat esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Tarkasteluryhmien 1–4 joustopotentiaalit Carunan verkkoalueella

Tarkastelu-ryhmä	Käyttöpaikkojen lukumäärä	Kokonaisjousto-potentiaali [MW]	Käyttöpaikkakohtainen jousto-potentiaali [kW/käyttöpaikka]	Yö- tai kausitariffi	Sähkö-lämmitys
Ryhmä 1	121 000	98–157	0,81–1,30	x	
Ryhmä 2	114 600	94–148	0,82–1,29	x	
Ryhmä 3	205 000	74–125	0,36–0,61		x
Ryhmä 4	82 500	70–116	0,85–1,40	x	x

Ryhmä 4 sisältää sähkölämmitteiset omakotitalot, joilla on käyttöpaikallaan yö- tai kausitariffi. Kuvan 10 mukaan kylmimpien talvikuukausien aikana ryhmän 4 joustopotentiaali kasvaa suuremmaksi kuin ryhmän 3, vaikka käyttöpaikkojen lukumäärä sekä kokonaissähkönkulutus ryhmällä 3 on huomattavasti korkeampi. Lisäksi taulukossa 5 esitetyt käyttöpaikkakohtaiset joustopotentiaalit ovat yö- ja kausitariffiasiakkailla yli kaksinkertaiset verrattuna

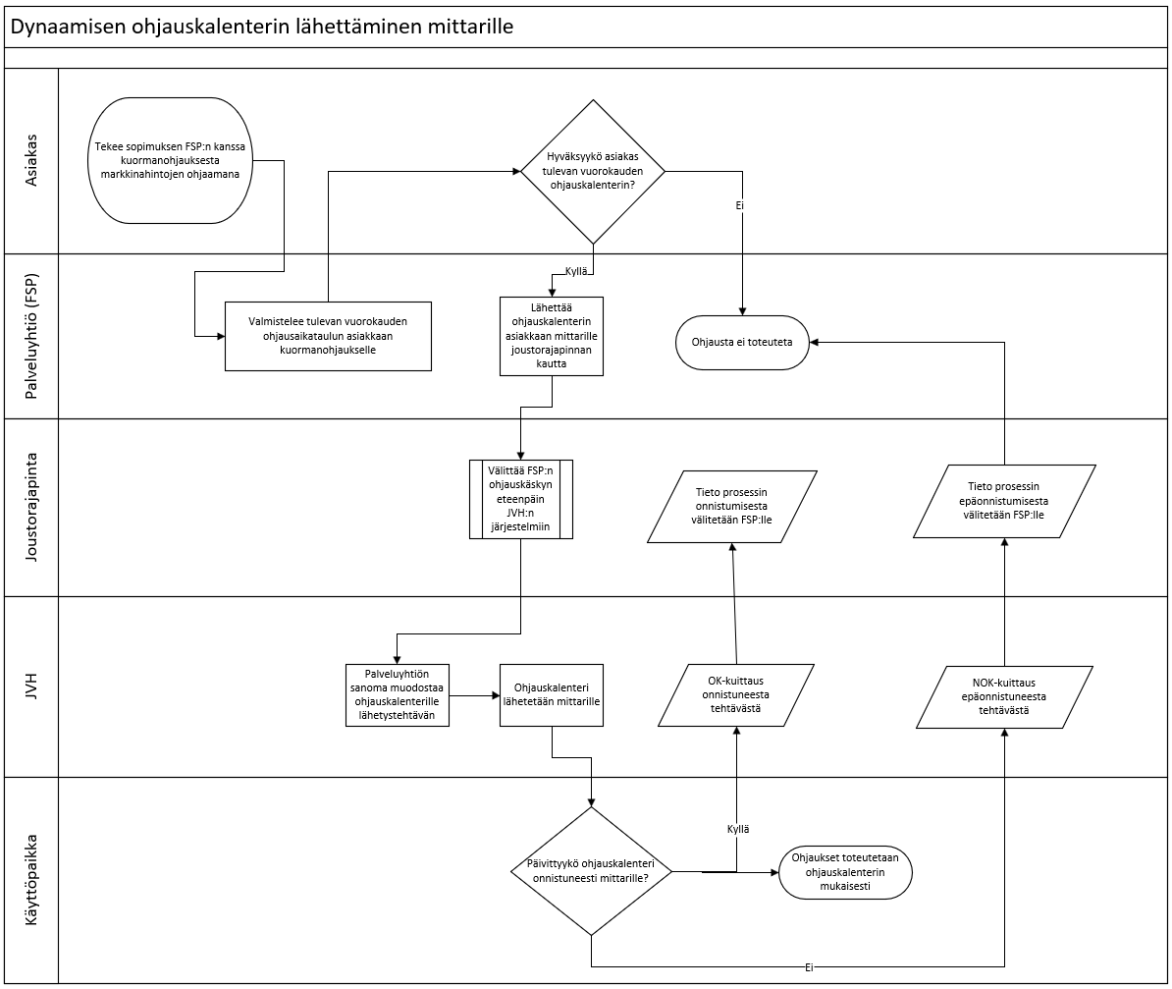
ryhmän 3 joustopotentiaaliin. Ryhmien 1,2 ja 4 korkeammat käyttöpaikkakohtaiset joustopotentiaaliarvot indikoivat tariffivalinnan ja sähkön hinnan vaikuttavan asiakasryhmien kulutuskäyttäytymiseen.

4.2 Lain asettamat vähimmäisvaatimukset markkinaehtoiselle kuormanohjaukselle

Valtioneuvoston asetuksen (767/2021) 6 §:n mukaan

> ”*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 sähkönkäyttöpaikkaan taikka sähkönkäyttöpaikkaan, joka sijaitsee:*
>
> *1) yli kahden asunnon asuinrakennuksessa; taikka*
>
> *2) toimisto-, liike-, teollisuus- tai varastorakennuksessa.*
>
> *Verkonhaltijan tietojärjestelmien tulee mahdollistaa verkonhaltijan välittämän tai antaman kuormanohjaustoiminnon toteuttaminen kuuden tunnin sisällä ohjauskäskyn antamisesta*” (Valtioneuvosto, 2021.)

AMR-mittarin kuormanohjausreleen käytettävyydelle on suositeltu, että ohjattavien kuormien avulla täytyisi pystyä osallistumaan päivänsisäiseen markkinaan, eli kuormanohjauksen tulisi olla käytettävissä useita kertoja päivässä. Kappaleen 4.2 skenaariossa tarkastellaan kuitenkin ainoastaan vuorokausimarkkinoille osallistumista lainsäädännön mukaisella kuuden tunnin säännöllä. Hintasignaalin perusteella suoritetut ohjauskomennot toteutetaan kalenteripohjaisella ohjaussekvenssillä kuvan 18 mukaisesti.



Kuva 18. Dynaamisen ohjauskalenterin lähettäminen mittarille

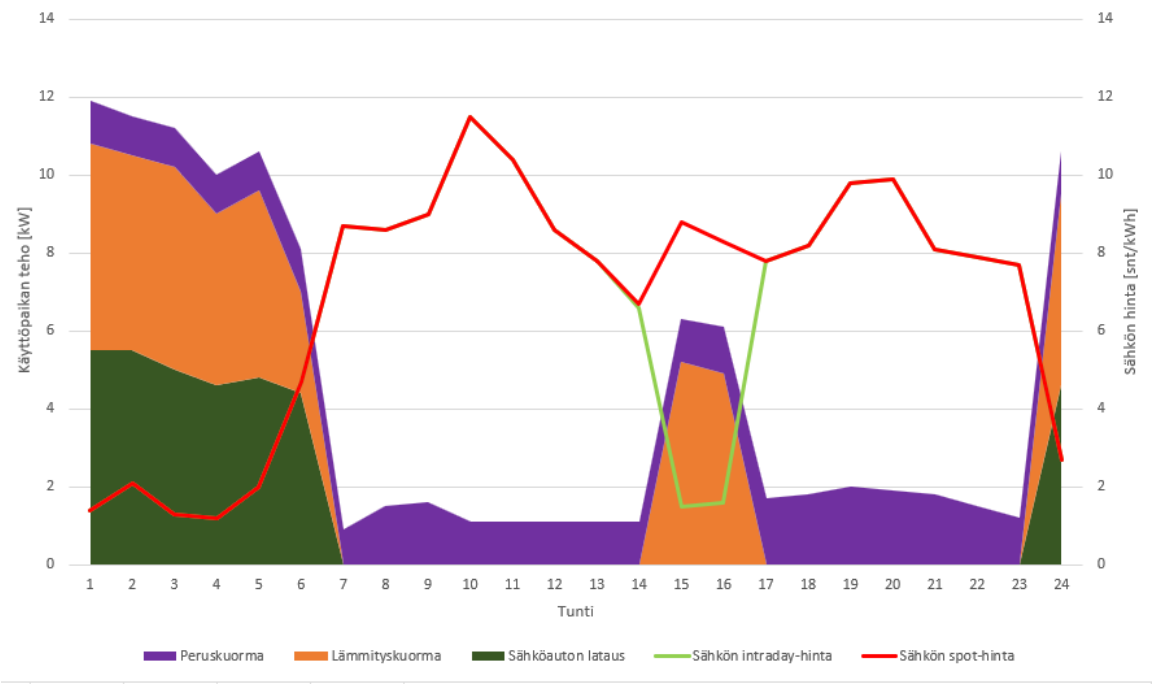
Varsinainen kuormanohjauspotentiaali Carunan verkkoalueella löytyy sähkölämmitteisistä omakotitaloista. Sähkölämmitteisiä omakotitaloja Carunan verkkoalueella on noin 205 000 kappaletta. Haasteena sähkölämmitteisten asuinrakennusten joustopotentiaalin laskennallisessa arvioinnissa on, että käyttöpaikoille ilmoitettu lämmitystapa ”sähkölämmitys” ei ota kantaa, onko asuinrakennuksen sähkölämmitysmenetelmä suora, osittain varaava vai täysin varaava. Sähkölämmitteisten omakotitalojen joustopotentiaalia on tarkasteltu aiemmin kappaleessa 4.1.

4.3 Suurempi hyödyntäminen

Tässä skenaariossa kuormanohjausta hyödyntävien asiakkaiden määrä on lisääntynyt. Omakoti- ja paritalojen sekä vapaa-ajan asuntojen lämmitys tapahtuu yhä useammalla sähköisesti. Verkon joustopotentiaali tälle käyttäjäryhmälle on esitetty aiemmin kuvassa 14. Vuoden 2023 kulutustietojen mukaan joustopotentiaalin määräksi muodostui noin 92–150 MW. Markkinaehtoisen kuormanohjauksen toteuttaminen 1.1.2026 alkaen koskee uuden etämittauslaitteiston vaatimukset täyttäviä mittareita, ja Carunan AMM 2.0 -projektin valmistuttua kuormanohjaus tullaan toteuttamaan uuden sukupolven etämittauslaitteistolla.

Älyverkkotyöryhmän AMR 2.0 -loppuraportissa on esitetty suositukseksi, että releistä toinen varataan yötariffiin perustuvalle kuormanohjaukselle ja toinen mahdollisille kysyntäjoustotoimiin keskittyville kuormanohjauksille (Pöyry Management Consulting, 2017). Kaksi erillistä kuormanohjausrelettä mittarilla mahdollistaa loppuasiakkaan monipuolisemman ja laajemman joustoresurssin eri markkinapaikoilla. DR-poolin loppuraportissa on arvioitu, että sähkölämmityksen osalta mittarien ohjausreleiden avulla ohjattavaa tehoa olisi käytettävissä arviolta vähintään kaksinkertainen määrä lämmityskausien aikana, mikäli mittareilla olisi käytössä kaksi kuormanohjausrelettä (Järventausta et al., 2015).

Kahden kuormanohjausreleen suositus koskee sähkölämmitteisiä käyttöpaikkoja, joissa hyödynnetään sekä suoraa että varaavaa lämmitystapaa. Tässä skenaariossa mittarin kuormanohjausrelettä 2 ohjataan palveluyhtiön dynaamisella ohjauskalenterilla. Rele 1 on kytketty asiakkaan sähköauton latauspisteeseen, jota asiakas ohjaa itse omalla yöajastuksella klo 23–07. Kuvassa 19 on esitetty käyttöpaikan eri kuormien tehoprofiilit sekä sähkön spothinta tarkasteltavalle vuorokaudelle. Lämmityskuorman ohjaus klo 14.00–17.00 toteutetaan päivänsisäisellä dynaamisella ohjauskalenterilla.



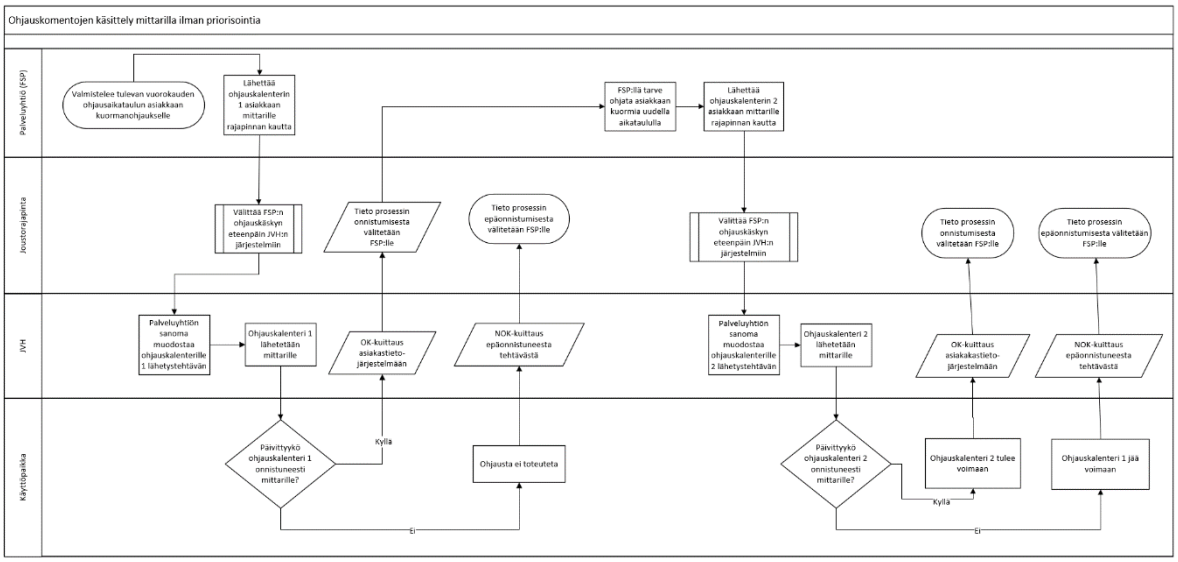
Kuva 19. Hintaperusteisten ohjausten vaikutus käyttöpaikan kulutusprofiiliin

Mittauslaitteistojen ensisijaiset ohjaustavat ovat suora ohjauskomento, dynaaminen kalenteriohjaus sekä mittarille asetettava pohjakalenteri. Ohjaustapojen priorisointijärjestykseksi on esitetty, että välitön yksittäisohjaus yliajaisi kalenteripohjaiset ohjauskomennot (Empower IM Oy, 2020a). Keskeisimmät ohjaustavat ovat lyhyesti esitettynä alla:

- Välitön ohjaus (ad hoc eli yksittäisohjaus), jossa ohjataan rele heti tai ajastetusti pakotettuna tiettyyn tilaan halutuksi ajaksi. Välitön ohjauskomento yliajaa dynaamisen ja pohjakalenterin mukaiset ohjaukset.
- Dynaaminen kalenteriohjaus (ajastettu ohjaus) mahdollistaa päiväkohtaisten kalentereiden asettamisen. Ohjauksia voidaan tehdä mittari- ja ohjelmistomallista riippuen kuluvalle tai tuleville vuorokausille. Dynaaminen kalenteri voi sisältää useita ohjausjaksoja. Dynaaminen ohjauskalenteri soveltuu sekä seuraavan päivän vuorokausimarkkinan hintoihin perustuviin ohjauksiin että ajastettuihin päivänsisäisiin ohjauksiin.
- Kalenteriohjaus (mittarilla toistaiseksi voimassa oleva pohjakalenteri)

Mikäli mittari tai järjestelmä ei kykene prosessoimaan eri ohjaustapojen priorisointia, jää mittarille toimitettu viimeisin ohjauskomento voimaan. Prosessikaavio priorisoimattomalle ohjaustoteutukselle on esitetty kuvassa 20. Mikäli päivänsisäinen ohjaus lämmityskuormalle

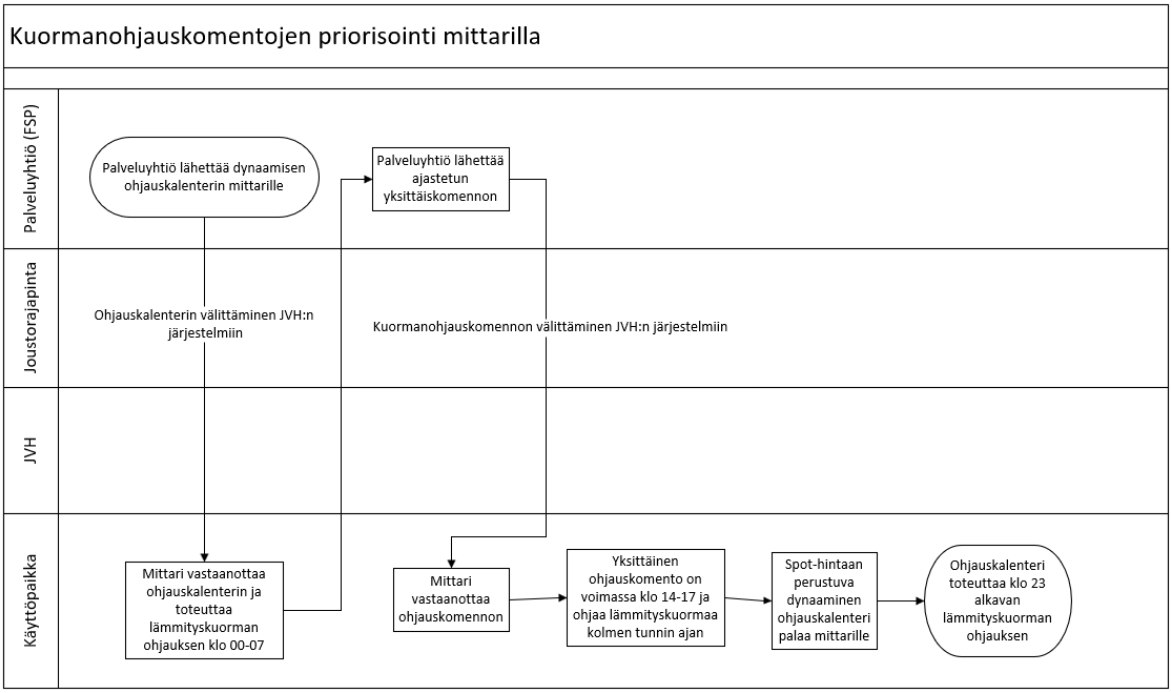
halutaan toteuttaa klo 14–17, tulee ohjauskalenteri lähettää uudelleen joko kuluvan vuorokauden loppuun (sisältäen ohjausajat klo 14–17 sekä klo 23–) tai kaksi erillistä ohjauskalenteria. Erillisissä ohjauskalentereissa ensimmäinen kalenteri sisältää iltapäivän ohjauksen klo 14–17 ja jälkimmäinen ohjauskalenteri toteuttaa illan ohjauskäskyn klo 23 alkaen. Lain asettama vaatimus kuormanohjauskomennon toteuttamiselle on kuusi tuntia, joten ohjausten läpimenon varmistamiseksi palveluyhtiön tulisi lähettää päivänsisäinen iltapäivää koskeva ohjauskäsky klo 08.00 mennessä.



Kuva 20. Ohjauskäskyjen käsittely ilman priorisointia

Kaikissa ohjausratkaisuissa yksittäiselle ohjauskomennolle ei voida asettaa ohjauksen kestoa, vaan releen palauttaminen edelliseen tilaan vaatii erillisen komennon. Tällainen ratkaisu sisältää riskin, että releen ohjaus aiempaan tilaan ei onnistu. Ohjausratkaisu vaatii erityistä tarkkuutta palveluyhtiöiltä sekä verkkoyhtiöiltä, sillä molempien komentojen toimittaminen tulee suorittaa viiveettä, ja ohjauskäskyn läpimeno tulee pystyä todentamaan.

Kuvassa 21 esitetyssä kuormanohjausprosessissa dynaaminen spot-hintoihin perustuva ohjauskalenteri tuodaan mittarille edeltävänä päivänä, ja suunnitellut ohjaukset toteutetaan tämän ohjauskalenterin mukaisesti klo 00–07 ja klo 23 alkaen. Lisäksi palveluyhtiö haluaa tarkastelupäivänä toteuttaa päivänsisäisen ohjauksen edullisen intraday-markkinahinnan vuoksi klo 14–17. Kuormanohjaus sisältää kaksi erillistä ohjausajastusta. Ensimmäinen ohjauskalenteri kattaa koko vuorokauden spot-hintaan perustuvat ohjaukset. Toinen ohjaus on voimassa yhden ohjaussekvenssin (ON/OFF) ajan klo 14–17.



Kuva 21. Kuormanohjausten priorisointi mittarilla

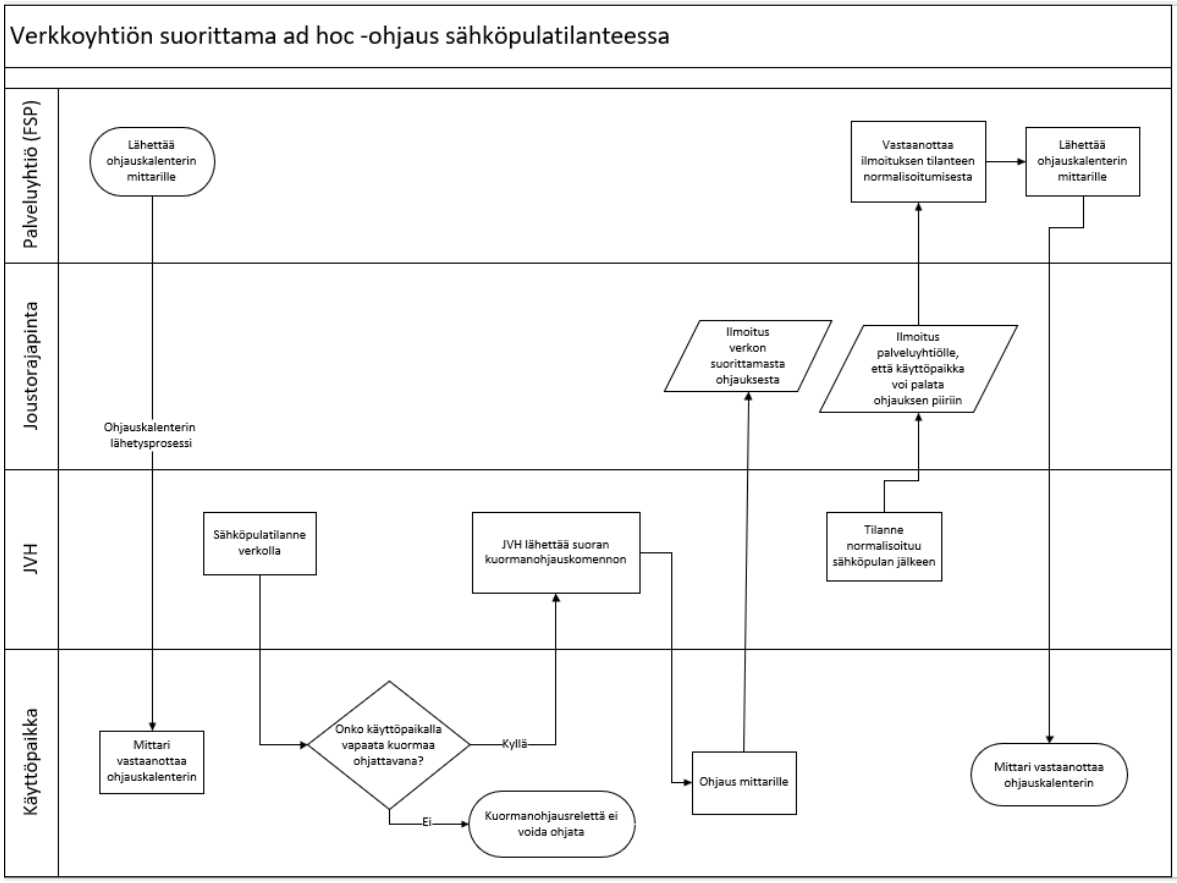
Ohjauskäskyjen priorisointi mittarilla vähentää kuormanohjauskomentojen lukumääriä palveluyhtiöiden ja jakeluverkonhaltijoiden välillä. Kuormanohjauskomentojen pienempi määrä vähentää myös tiedonsiirtokapasiteetin sekä ohjausten läpimenon seurannan tarvetta eri yhtiöissä.

4.4 Verkon ohjaus tehopulatilanteissa

Sähköverkot ovat mitoitettu kestämään tietyn enimmäiskuorman. Kysynnän tai tarjonnan vaihteluiden vuoksi tietyt osat verkosta voivat ylikuormittua. Sähkön tuotantomäärän pudotessa äkillisesti voi syntyä sähköpulatilanne, jolloin sähkön kulutusta on tarve vähentää. Eräänä viimeisimmästä korjauskeinoista on verkkoyhtiöiden varautumissuunnitelmasta löytyvä suunnitelma katkaista kuormaa johtolähdöittäin, jolloin verkon tehotasapaino saadaan takaisin hallintaan (Yle, 2022).

Tulevaisuudessa yksi mahdollinen tapa säännöstellä verkon kulutustasoa on ohjata käyttöpaikkojen kuormia. Mikäli käyttöpaikalla on kuormanohjauskapasiteettia käytettävissä, tulisi verkkoyhtiöllä olla mahdollisuus toteuttaa ohjaus asiakkaan energiamittarin kuormanohjausreleelle. Tehotasapainon tasapainottamisesta viime kädessä vastaa Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid.

Jakeluverkonhaltijan ohjatessa asiakkaan kuormia poikkeustilanteessa, toimittaa se yhteiselle joustorajapinnalle tiedon, että palveluyhtiön ohjaus ei ole kyseisellä hetkellä voimassa. Tilanteen normalisoiduttua käyttöpaikka palaa takaisin palveluyhtiön ohjausten piiriin, ja tämä lähettää tarvittaessa uuden ohjauskalenterin käyttöpaikan mittarille. Verkkoyhtiön ohjaus toteutetaan ohjaamalla kuormanohjausrelettä. Yksittäisen suoran kuormanohjauskomennon rakenne on esitetty liitteessä 2. Jakeluverkkoyhtiön tulee varmistaa, että ennen poikkeustilannetta voimassa olleet ohjausaikataulut saadaan palautettua takaisin asiakkaan mittarille. Ohjausten toteuttaminen sähköpulatilanteessa on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Verkkoyhtiön suorittama suora ohjauskomento

Verkkoyhtiön tulee suunnitella, kuinka verkon kuormituksen sekä jännitetason hallinta huomioidaan kustannustehokkaasti. Tämän lisäksi kysyntäjoustotoimien mahdollistaminen sähköverkossa voi vähentää tarvetta verkon rakentamiselle lisäkapasiteettia varten. Kuormien hallinta tukee jakeluverkon tehokasta ja turvallista käyttöä.

5 Tulosten analysointi ja yhteenveto

Jakeluverkkoyhtiöiden tarjoama infrastruktuuri ja palvelut ovat avainasemassa sähköjärjestelmän joustavuuden ja kestävyyden varmistamisessa. Energiamurros ja ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttävät jatkuvaa yhteistyötä eri markkinaosapuolten kesken.

Yksi työn päätavoitteista oli kartoittaa Carunan verkkoalueen joustopotentiaali sekä tarkastella siihen vaikuttavia tekijöitä. Joustopotentiaalin laskennassa tarkasteltiin eri asiakasryhmien keskimääräisiä kulutuslukemia huippukulutuksen ja peruskuormituksen välillä. Tämän laskentamenetelmän tulokset kohdistuivat ensisijaisesti kaksiaikatariffia hyödyntävien asiakkaiden joustopotentiaaliin, sillä yleistariffiasiakkaiden päivittäinen kulutusprofiili säilyi pitkälti tasaisena, ja erot päiväkohtaisten huippukuormitusarvojen sekä peruskuormituksen välillä jäivät hyvin pieniksi. Noin 80 % Carunan verkkoalueen kotitalouksista hyödyntää käyttöpaikallaan yleistariffia. Diplomityössä hyödynnetty laskentamenetelmä ei sovellu sellaisenaan yleistariffiasiakkaiden joustopotentiaalin määrittämiseen asiakasryhmän kulutusprofiilin muodon vuoksi. Yleistariffia hyödyntävän asiakasryhmän joustopotentiaalin tarkasteluun edellytetään monipuolisempia tutkimusmenetelmiä.

Ohjattavan lämmityskuorman osuus on mahdollista arvioida kuvaajista talvi- ja kesäkuukausien erotuksen avulla. Todellisen joustopotentiaalin suuruus tulee kuitenkin määräytymään ohjauksiin kytkettyjen kuormien perusteella. On huomioitava, että kuormien ohjaaminen voidaan toteuttaa sähkömittarin releohjauksien lisäksi esimerkiksi älykkäillä kotiautomaatiojärjestelmillä. Erilaisilla kotiautomaatiojärjestelmillä toteutettujen ohjausten todentaminen ei välttämättä ole verkkoyhtiöille mahdollista, vaikka ohjausten vaikutus kulutusprofiiliin olisi asiakkaan käyttöpaikalla merkittävä.

Sähkön hinta ohjaa vahvasti asiakkaiden kulutuskäyttäytymistä. Jakeluverkkoyhtiöt voivat tarjota lisäkannustimia kuormanohjaukseen esimerkiksi tehopohjaisella hinnoittelumallilla. Lämmitysmenetelmien sähköistyessä verkon kuormituksen määrään vaikuttaa merkittävästi myös ulkolämpötila. Vuoden 2023 keskilämpötila oli tavallista korkeampi, joten verkon lämmityskuorman osuus joustopotentiaalista tulevina vuosina voi olla esitettyjä tuloksia suurempi.

Verkon joustopotentiaalin määrittäminen ei ole kiistatta yksiselitteistä historia-arvojen perusteella, sillä tulevaa kuormitusta verkossa on vaikea ennustaa. Lisäksi loppuasiakkaiden kiinnostuksella ja aktiivisuudella joustotoimenpiteisiin on merkittävä rooli markkinan kehittymisen kannalta.

Toinen diplomityön keskeisistä tutkimuskohteista oli tarkastella teknisiä edellytyksiä markkinaehtoiselle kuormanohjaukselle. Kuormanohjausten määrän lisääntyessä ohjauskomentojen toimitusketju tulee kattavasti sekä reaaliaikaisesti seurattavissa. Useampi kuormanohjausrele mahdollistaa kattavamman ja monipuolisemman joustoresurssin kytkemisen käyttöpaikalle. Prosessikaavioista havaittiin ohjausten priorisoinnin vähentävän tietoliikenteen määrää eri järjestelmien välillä. Lisäksi ohjausten priorisointi ja puskurointi mittarille tarjoaa luotettavuutta koko prosessin toimitusketjulle, sillä useamman ohjauskomennon lähettäminen on mahdollista suorittaa huomattavasti suunniteltuja ohjaushetkiä aiemmin.

Yksittäisten ohjaussekvenssien, jotka sisältävät ajastettuna ON- ja OFF-komennot, etuna on niiden sisältämä ajastettu poiskytkentä kuormanohjaukselle. Erilliset ohjauskomennot, joissa kuorma ohjataan päälle ensimmäisellä käskyllä ja kytketään pois päältä seuraavalla käskyllä sisältää riskin ohjausten läpimenon ongelmatilanteille. Joustomarkkinoille osallistuvien osapuolten tehtävien ja vastuualueiden kartoittaminen on tärkeää markkinapaikan kompleksisuuden takia.

Keskeiset jatkotutkimusaiheet joustomarkkinoilla liittyvät joustotoimenpiteiden todentamiseen erityisesti ongelmatilanteiden sattuessa. Käyttöpaikan mittaustietojen toimituksissa voi esiintyä viiveitä ja puutteita esimerkiksi vikaantuneen mittarin vuoksi. Toimialan tulee linjata, miten puuttuvien mittaustietojen arviointi ja toimitus tapahtuu jouston piirissä oleville asiakkaille vikatilanteen sattuessa, sillä joustotoimenpiteet tulee olla todennettavissa mahdollisimman täsmällisesti ja pian.

Verkon tehotasapainon ylläpidossa tärkeä tieto joustomäärän ohella on myös jouston sijainti. Verkkotietojärjestelmien kehittäminen mahdollistanee tulevaisuudessa joustoresurssien kattavaan tarkastelun muodostamalla lähes reaaliaikaisen kokonaiskuvan käytettävissä olevasta ohjauskapasiteetista sekä toteutuneista ohjauksista.

Lähteet

Caruna. 2024a. Caruna lyhyesti. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://caruna.fi/tietoa-meista/caruna-lyhyesti

Caruna. 2024b. Caruna vuosiraportti 2023. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Caruna%20vuosiraportti%202023.pdf

Caruna. 2024c. Kulutusjousto lisääntyi - jopa 8000 Carunan asiakasta ajasti sähkönkulutusta. Saatavissa: https://caruna.fi/ajankohtaista/kulutusjousto-lisaantyi-jopa-8-000-carunan-asiakasta-ajasti-sahkonkulutusta

Caruna. 2024d. Kuormanohjaus. Sisäinen koulutus.

DNA. 2024. IoT-teknologiat. Saatavissa: https://www.dna.fi/yrityksille/iot/iot-teknologiat#nb-iot

Empower IM Oy. 2020a. Kuormanohjausrajapinnan määrittely. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Kuormanohjausrajapinta_loppuraportti.pdf

Empower IM Oy. 2020b. Kuormanohjausrajapinta käyttötapauskuvaus. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Kuormanohjausrajapinta_kayttotapaukset.pdf

Energiateollisuus. 2023. Sähkön mittauksen periaatteita 2023. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Sahkon-mittauksen-periaatteita-2023.pdf

EU. 2023. Energiatehokkuusdirektiivi. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001&qid=1695186598766

Fingrid Oyj. 2024a. Kulutusjousto. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyys/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/#kulutusjouston-projektit

Fingrid Oyj. 2024b. Eurooppalainen yhteistyö. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyys/eurooppa-yhteistyo/

Fingrid Oyj. 2024c. Itsenäinen aggregointi. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/contentassets/c59a6b9b7dbe4ea49200652ac3757962/itsenainen-aggregaattori-tietopaketti-022024-1.pdf

Fingid Oyj. 2024d. Kuormanohjausrajapinnan määrittely älymittareiden kautta toteutettavan ohjauksen mahdollistamiseksi. Fingrid Datahub Asiakastoimikunnan kokous 1/2024. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://palvelut.datahub.fi/api/documents/file/0-442453-1-589612

Honkapuro, S., Sihvonen, V., Partanen, J., Harsia, P., Kallioharju, K., Kortetmäki, A., ... & Ketomäki, J. 2020. Jousto 2035 visio–Energiajärjestelmän jouston tarpeet ja toteutuspotentiaali 2035. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-582-8

Ilmatieteen laitos. 2024. Kuukauden keskilämpötila. Havaintojen lataus. Saatavissa: https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., ... & Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3485-0

Järventausta, P., Heinimäki, R., Lehto, I., Lindroos, M., Pylvänäinen, J., Hyvärinen, M. 2018. Kuormanohjausrajapinta AMR-mittarin kautta toteutettaviin ohjauksiin. Raportti. Saatavissa: https://tem.fi/documents/1410877/3481825/%E2%80%A2%09Kuormanohjausrajapinta+AMR-mittarin+kautta+toteutettaviin+ohjauksiin+4.9.2018/

Landis+Gyr. 2024. Landis+Gyr E360. Saatavissa: https://www.landisgyr.fi/product/landis-gyr-e360/?__hstc=70452495.4967084ea0a32b5d480ef36ff2ccb140.1705660083625.1712215766526.1712304758049.5&__hssc=70452495.2.1712999682358&__hsfp=191606704

Latvanen, O. 2020. Sähkömittareiden mahdollistaman kulutusjouston tuottomahdollisuudet. Diplomityö. Saatavissa: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202005064974

Partanen, J., Annala, S., Lassila, J., Honkapuro, S., Jaanto, J. 2023. Sähkömarkkinat – opetusmoniste.

Pöyry Management Consulting. 2017. Älyverkkotyöryhmä: Seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareiden vähimmäistoiminnallisuudet. Saatavissa:

https://tem.fi/documents/1410877/3481825/AMR+2.0+loppura-portti+15.12.2017/6a2df7e6-a963-40c0-b4d8-d2533fbca488/AMR+2.0+loppura-portti+15.12.2017.pdf

SEDC. 2017. Explicit demand response in Europe - mapping the markets 2017. Smart Energy Demand Coalition. Verkkodokumentti. Saatavissa: https://www.smarten.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf

Sähkömarkkinalaki. 2013. Sähkömarkkinalaki 2013/588. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#O6.

Tampereen yliopisto. 2019. Lämmityksen ohjaus SLY-kytkennällä. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://projects.tuni.fi/uploads/2019/03/d337132b-sly_esitys2014.pdf

There. 2016. Kysynnänjouston pilottiprojektin loppuraportti. Raportti. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/kysynnan-jouston-pilottiprojekti-loppuraportti-julkinen.pdf

TEM. 2018. Työ- ja elinkeinoministeriö. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä; Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161119

Tilastokeskus 2023. Asumisen energiankulutus. Verkkojulkaisu. ISSN=2323-3273. Helsinki: Saatavissa: https://stat.fi/julkaisu/cl8mx9epk1wsa0cw1umy88pku

Valtioneuvosto. 2021. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Saatavissa: https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210767

Yle. 2022. Monista omakotitaloista löytyy unohduksiin jäänyt kytkentä, jonka avulla kiertävät sähkökatkot voitaisiin välttää. Saatavissa: https://yle.fi/a/3-12676880

Yle. 2024. Ennätyskallista sähköä huomenna: jopa yli 2 euroa kilowattitunnilta – Fingrid: Välttäkää sähkön käyttöä. Saatavissa: https://yle.fi/a/74-20067808

Liite 1. Kalenteripohjainen kuormanohjauskomento (Empower IM Oy. 2020b)


```xml
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<FlexibilityMessage xmlns="http://xxx.fi/FlexibilityInterface/0.0.0.1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchemainstance" xsi:schemaLocation="http://xxx.fi/FlexibilityInter-
face/0.0.0.1 C:\XSD\FlexibilityInterface.xsd">
        <Header>
                <MessageIdentifier>b5a34a46-6ef0-48c3-9085-558e9e230f53</MessageIdentifier>
                <CreatedAt>2019-12-17T10:22:43Z</CreatedAt>
                <SenderParty>64YYYYYYYAAAT</SenderParty>
                <ReceivingParty>64YYYYYYYAAAT</ReceivingParty>
                <RequestingParty>64YYYYYYYAAAT</RequestingParty>
                <NetworkParty>64YYYYYYYAAAT</NetworkParty>
        </Header>
  <MeteringPoint>
                <GSRN>6433443347900331122</GSRN>
        <Token>sdffbGciOiJIUzI1NiIsInR543eertytpXVCJ9.eyJ3aWtpcGVkssfwi-
OiIxMjM0In0.jk2o0hIX5rWWquUJKY4jSiBzlDYubTZY kZi7S44rryhd</Token>
                <ResourceIdentifier>1</ResourceIdentifier>
                <Command>
                        <TransactionIdentifier>48caabe2-b590-45ca-9264-11f300c3f505</TransactionIdentifier>
                        <CalendarCommand>
                                <DayOfWeek>MON</DayOfWeek>
                                <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
                                <CalendarCommandTimeSpan>
                                        <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                                        <SwitchCommand>
                                                <State>OFF</State>
                                        </SwitchCommand>
                                </CalendarCommandTimeSpan>
                                <CalendarCommandTimeSpan>
                                        <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                                        <SwitchCommand>
                                                <State>ON</State>
                                        </SwitchCommand>
                                </CalendarCommandTimeSpan>
                        </CalendarCommand>
                        <CalendarCommand>
                                <DayOfWeek>TUE</DayOfWeek>
                                <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
                                <CalendarCommandTimeSpan>
                                        <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                                        <SwitchCommand>
                                                <State>OFF</State>
                                        </SwitchCommand>
                                </CalendarCommandTimeSpan>
                                <CalendarCommandTimeSpan>
                                        <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                                        <SwitchCommand>
                                                <State>ON</State>
                                        </SwitchCommand>
                                </CalendarCommandTimeSpan>
                        </CalendarCommand>
                        <CalendarCommand>
                                <DayOfWeek>WED</DayOfWeek>
                                <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
                                <CalendarCommandTimeSpan>
                                        <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                                        <SwitchCommand>
                                                <State>OFF</State>
                                        </SwitchCommand>
                                </CalendarCommandTimeSpan>
                                <CalendarCommandTimeSpan>
```

```
                <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>ON</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
        </CalendarCommand>
        <CalendarCommand>
            <DayOfWeek>THU</DayOfWeek>
            <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>OFF</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>ON</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
        </CalendarCommand>
        <CalendarCommand>
            <DayOfWeek>FRI</DayOfWeek>
            <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>OFF</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>ON</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
        </CalendarCommand>
        <CalendarCommand>
            <DayOfWeek>SAT</DayOfWeek>
            <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>OFF</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                                                <Start-
From>22:00:00+02:00</StartFrom>                <SwitchCommand>
                    <State>ON</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
        </CalendarCommand>
        <CalendarCommand>
            <DayOfWeek>SUN</DayOfWeek>
            <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>OFF</State>
                </SwitchCommand>
            </CalendarCommandTimeSpan>
            <CalendarCommandTimeSpan>
                <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                <SwitchCommand>
                    <State>ON</State>
                </SwitchCommand>
```

```
                        </CalendarCommandTimeSpan>
                    </CalendarCommand>
                </Command>
            </MeteringPoint>
            <MeteringPoint>
                <GSRN>6411223347900336689</GSRN>
            <Token>eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJ3aWtpcGVkaWEi-
OiIxMjM0In0.jk2o0hIXHbkQ0uUJKY4jSiBzlDYubTZY kZi7SrSeZSM</Token>
                <ResourceIdentifier>1</ResourceIdentifier>
                <Command>
                    <TransactionIdentifier>4d7e704b-152a-4efa-8db7-7e7266781def</TransactionIdentifier>
                    <CalendarCommand>
                        <DayOfWeek>MON</DayOfWeek>
                        <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
                        <CalendarCommandTimeSpan>
                            <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                            <SwitchCommand>
                                <State>OFF</State>
                            </SwitchCommand>
                        </CalendarCommandTimeSpan>
                        <CalendarCommandTimeSpan>
                            <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                            <SwitchCommand>
                                <State>ON</State>
                            </SwitchCommand>
                        </CalendarCommandTimeSpan>
                    </CalendarCommand>
                </Command>
                <Command>
                    <TransactionIdentifier>4d7e704b-152a-4efa-8db7-7e726677445</TransactionIdentifier>
                    <CalendarCommand>
                        <DayOfWeek>TUE</DayOfWeek>
                        <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
                        <CalendarCommandTimeSpan>
                            <StartFrom>07:00:00+02:00</StartFrom>
                            <SwitchCommand>
                                <State>OFF</State>
                            </SwitchCommand>
                        </CalendarCommandTimeSpan>
                        <CalendarCommandTimeSpan>
                            <StartFrom>22:00:00+02:00</StartFrom>
                            <SwitchCommand>
                                <State>ON</State>
                            </SwitchCommand>
                        </CalendarCommandTimeSpan>
                    </CalendarCommand>
                </Command>
            </MeteringPoint>
            <MeteringPoint>
                <GSRN>6422334458900446699</GSRN>
                <To-
ken>auJhbGciOiJIUzI1kkkkkcCI6IkpXVCJ9.eyJ3aWtpcGVkaWEizxcvbeewjM0In0.jk2o0hjh-
kiiukl0uUJKY4jSiBzlDYubTZYk Zi7SrSeZSM</Token>
                <ResourceIdentifier>1</ResourceIdentifier>
                <Command>
                    <TransactionIdentifier>ee4d2a8d-167c-4931-89f1-f4e8fbccb061</TransactionIdentifier>
                    <CalendarCommand>
                        <DayOfWeek>MON</DayOfWeek>
                        <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
                        <CalendarCommandTimeSpan>
                            <StartFrom>06:00:00+02:00</StartFrom>
                            <QuantityCommand>
                                <Unit>kW</Unit>
                                <LowerLimit>0.2</LowerLimit>
                                <LowerLimitState>ON</LowerLimitState>
                                <UpperLimit>0.6</UpperLimit>
                                <UpperLimitState>OFF</UpperLimitState>
                            </QuantityCommand>
```

```
                    </CalendarCommandTimeSpan>
                    <CalendarCommandTimeSpan>
                        <StartFrom>18:00:00+02:00</StartFrom>
                        <QuantityCommand>
                            <Unit>kW</Unit>
                            <LowerLimit>0.1</LowerLimit>
                            <LowerLimitState>ON</LowerLimitState>
                            <UpperLimit>0.9</UpperLimit>
                            <UpperLimitState>OFF</UpperLimitState>
                        </QuantityCommand>
                    </CalendarCommandTimeSpan>
                </CalendarCommand>
            </Command>
            <Command>
                <TransactionIdentifier>XS4d2a8d-145c-4931-89f1-f4e8112Wb022</TransactionIdentifier>
                <CalendarCommand>
                    <DayOfWeek>TUE</DayOfWeek>
                    <ExecutionReportRequested>false</ExecutionReportRequested>
                    <CalendarCommandTimeSpan>
                        <StartFrom>06:00:00+02:00</StartFrom>
                        <QuantityCommand>
                            <Unit>kW</Unit>
                            <LowerLimit>0.2</LowerLimit>
                            <LowerLimitState>ON</LowerLimitState>
                            <UpperLimit>0.6</UpperLimit>
                            <UpperLimitState>OFF</UpperLimitState>
                        </QuantityCommand>
                    </CalendarCommandTimeSpan>
                    <CalendarCommandTimeSpan>
                        <StartFrom>18:00:00+02:00</StartFrom>
                        <QuantityCommand>
                            <Unit>kW</Unit>
                            <LowerLimit>0.1</LowerLimit>
                            <LowerLimitState>ON</LowerLimitState>
                            <UpperLimit>0.9</UpperLimit>
                            <UpperLimitState>OFF</UpperLimitState>
                        </QuantityCommand>
                    </CalendarCommandTimeSpan>
                </CalendarCommand>
            </Command>
        </MeteringPoint>
</FlexibilityMessage>
```

Liite 2. Yksittäinen ajastettu kuormanohjauskomento, ad hoc (Empower IM Oy, 2020b)


```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<FlexibilityMessage xmlns="http://xxx.fi/FlexibilityInterface/0.0.0.1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchemainstance" xsi:schemaLocation="http://xxx.fi/Flexibil-
ityInterface/0.0.0.1 C:\XSD\FlexibilityInterface.xsd"> <Header>
    <MessageIdentifier>b5a34a46-6ef0-48c3-9085-558e9e230f53</MessageIdentifier>
    <CreatedAt>2019-12-17T10:22:43Z</CreatedAt>
    <SenderParty>64YYYYYYYAAAT</SenderParty>
    <ReceivingParty>64YYYYYYYAAAT</ReceivingParty>
    <RequestingParty>64YYYYYYYAAAT</RequestingParty>
    <NetworkParty>64YYYYYYYAAAT</NetworkParty>
</Header>
<MeteringPoint>
    <GSRN>6411223347900336689</GSRN>
    <Token> eyJhbGciOi-
JIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJ3aWtpcGVkaWEi-
OiIxMjM0In0.jk2o0hIXHbkQ0uUJKY4jSiBzlDYubTZYkZi7SrSeZSM
    </Token>
    <ResourceIdentifier>1</ ResourceIdentifier >
    <Command>
        <TransactionIdentifier>6bf72700-ef90-40b9-8b5b-73d0884fc5b5</TransactionIdentifier>
<DirectCommand>
            <StartFrom>2019-12-17T10:22:43Z</StartFrom>
            <EndTo>2019-12-17T11:00:00Z</EndTo>
            <SwitchCommand>
                <State>OFF</State>
            </SwitchCommand>
        </DirectCommand>
    </Command>
    <Command>
        <TransactionIdentifier>32727304-2fe1-4e96-8a40-f957379fe721</TransactionIdentifier>
<DirectCommand>
            <StartFrom>2019-12-17T14:15:00Z</StartFrom>
            <EndTo>2019-12-17T14:30:00Z</EndTo>
            <SwitchCommand>
                <State>OFF</State>
            </SwitchCommand>
        </DirectCommand>
    </Command>
</MeteringPoint>
<MeteringPoint>
    <GSRN>6422334458900446699</GSRN>
    <To-
ken>
auJhbGciO
i-
JIUzI1kkkkkcCI6IkpXVCJ9.eyJ3aWtpcGVkaWEizxcvbeewjM0In0.jk2o0hjh-
kiiukl0uUJKY4jSiBzlDYubTZYkZi7SrSeZSM
    </Token>
    < ResourceIdentifier >1</ ResourceIdentifier >
    <Command>
        <TransactionIdentifier>491981e8-2242-432d-bd41-fa068f0f9f4e</TransactionIdentifier>
        <DirectCommand>
            <StartFrom>2019-12-17T05:00:00Z</StartFrom>
            <EndTo>2019-12-17T11:00:00Z</EndTo>
            <QuantityCommand>
                <Unit>kVa</Unit>
                <LowerLimit>0.03</LowerLimit>
                <LowerLimitState>ON</LowerLimitState>
                <UpperLimit>0.09</UpperLimit>
                <UpperLimitState>OFF</UpperLimitState>
            </QuantityCommand>
        </DirectCommand>
```

```
    </Command>
    <Command>
        <TransactionIdentifier>03e27b4f-65f1-41ff-9634-e4676924224b</TransactionIdentifier>
<DirectCommand>
            <StartFrom>2019-12-22T05:00:00Z</StartFrom>
            <EndTo>2019-12-22T11:00:00Z</EndTo>
            <QuantityCommand>
                <Unit>kW</Unit>
                <LowerLimit>0.2</LowerLimit>
                <LowerLimitState>ON</LowerLimitState>
                <UpperLimit>0.6</UpperLimit>
                <UpperLimitState>OFF</UpperLimitState>
            </QuantityCommand>
        </DirectCommand>
    </Command>
 </MeteringPoint>
</FlexibilityMessage>
```