

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# JOUSTOPALVELUT SÄHKÖNJAKELUVERKOSSA

Keminmaan Energia ja Vesi Oy

TEKIJÄ Sami Alm

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Kehittyneet sähköenergiajärjestelmät tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Sami Alm			
Työn nimi Joustopalvelut sähkönjakeluverkossa: Keminmaan Energia ja Vesi Oy			
Päiväys	10.10.2024	Sivumäärä/Liitteet	62
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Keminmaan Energia ja Vesi Oy			
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee joustopalveluita työn toimeksiantajana toimineen Keminmaan Energia ja Vesi Oy:n sähkönjakeluverkossa. Työ tuli ajankohtaiseksi, kun Sähkömarkkinalaki päivittyi ja Energiavirasto alkoi vaatia tämän vuoksi joustopalveluiden huomioimista kehityssuunnitelmassa. Työn tavoitteena oli selvittää, miten joustopalveluita voidaan hyödyntää Keminmaan Energia ja Vesi Oy:n jakeluverkossa ja mitä muutoksia joustopalvelut mahdollisesti tulevat toimeksiantajalta vaatimaan.</p> <p>Työn alkuvaiheessa tarkastellaan Sähkömarkkinalakia ja Energiaviraston näkemyksiä joustopalveluista viranomaissäädöksinä. Tämä antaa perustan ymmärtää, miksi joustopalvelut ovat tärkeitä ja miten ne vaikuttavat jakeluverkkoyhtiöiden toimintaan. Teoreettisessa osuudessa käydään läpi erilaisten joustopalveluiden perusteita ja niiden käyttöä.</p> <p>Eri joustopalveluiden teoria perustuu alakohtaisiin julkaisuihin, jotka tarjoavat ajankohtaista tietoa joustopalveluiden kehityksestä ja vallitsevista käytännöistä. Empiirinen osuus toteutettiin haastatteluilla ja kyselyiden avulla, joita järjestettiin toimeksiantajan sähköverkon parissa työskentelevien toimihenkilöiden kanssa. Näin saatiin arvokasta tietoa yhtiön nykytilasta, resurssien käytettävyydestä ja potentiaalisista haasteista.</p> <p>Työn tulokset osoittavat, kuinka joustopalveluilla on merkittävää potentiaalia toimeksiantajan sähkönjakeluverkossa. Joustopalveluiden käyttöönotto edellyttää kuitenkin infrastruktuurisia ja organisaatiollisia muutoksia. Riittävän kapasiteetin ja joustavan energianjakelun mahdollistamiseksi tarvitaan uusi sähköasema. Järjestelmäintegraatiot kuormanohjausta varten vaativat uusien teknologisten rajapintojen rakentamista ja olemassa olevien järjestelmien päivittämistä. Nykyisten tariffirakenteiden läpikäynti ja mahdollinen päivittäminen tähän päivään ovat myös tarpeellisia, jotta ne tukevat joustopalveluiden käyttöä ja kannustavat kuluttajia osallistumaan joustoihin.</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan todeta, että joustopalvelut tarjoavat huomattavia etuja toimeksiantajalle, mutta niiden onnistunut käyttöönotto vaatii merkittäviä investointeja ja huolellista suunnittelua. Sähköaseman ja teknologisten rajapintojen kehittäminen sekä tariffirakenteiden optimointi ovat keskeisiä toimenpiteitä, joiden avulla toimeksiantaja voi parantaa energianjakelun joustavuutta ja tehokkuutta. Näiden edellä mainittujen toimenpiteiden avulla toimeksiantaja voi vastata viranomaisten vaatimuksiin ja valmistautua tulevaisuuden haasteisiin.</p>			
Avainsanat Joustopalvelut, Kulutusjousto, Kuormanohjaus, Tehomaksu, Sähkönjakeluverkko			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme in Advanced Electrical Energy Systems	
Author(s) Sami Alm	
Title of Thesis Flexible Services in the Electricity Distribution Network: Keminmaan Energia ja Vesi Oy	
Date 10.10.2024	Pages/Appendices 62
Client Organisation Keminmaan Energia ja Vesi Oy	
<p>The thesis explores the research on flexible services at Keminmaan Energia ja Vesi Oy, the organization commissioning the work. The project gained relevance following updates to the Electricity Market Act, which led to the Energy Authority's mandate for considering flexible services in the development plan. The goal was to assess how Keminmaan Energia ja Vesi Oy could leverage flexible services in its distribution network and what changes the company might need to make to accommodate these services.</p> <p>The initial stages of the project involved an examination of the Electricity Market Act and the Energy Authority's perspectives on flexible services as regulatory frameworks. This laid the groundwork for understanding the significance of flexible services and their impact on the operations of distribution network companies. The theoretical section delved into the practical theory of various flexible services and their application in other distribution network companies.</p> <p>The technical theory of flexible services was based on industry-specific publications offering present information on the development of flexible services and best practices. The empirical phase involved technical meetings and surveys with employees working on the company's electricity network. This approach provided valuable insights into the company's current state, resource availability, and potential challenges.</p> <p>The study results indicated that flexible services hold significant potential within the company's electricity distribution network. However, implementing these services would require infrastructural and organizational changes. A new substation is necessary to improve capacity and to enable flexible energy distribution. Additionally, system integrations for load control would require the construction of new technological interfaces and the updating of existing systems. Reviewing and potentially updating the current tariff structures is also essential to support the use of flexible services and encourage consumer participation in flexibility programs.</p> <p>In conclusion, while flexible services offer substantial benefits to the company, their successful implementation calls for significant investments and meticulous planning. Developing the substation and technological interfaces, along with optimizing tariff structures, are crucial steps in enhancing the flexibility and efficiency of energy distribution. By undertaking these actions, the company can comply with regulatory requirements and prepare for future challenges.</p>	
Keywords Flexible services, Demand response, Load control, Capacity charge, Energy storage	

## KÄSITTEET

AC	Sähkövirta, jonka suunta vaihtuu säännöllisesti.
Aggregaattori Toimija	joka kokoaa yhteen useiden pienempien sähkökäyttäjien tai tuottajien kapasiteettia ja tarjoaa sitä markkinoille yhtenä kokonaisuutena.
BTM-akusto	Sähkövarasto, joka on sijoitettu kuluttajan puolelle sähkömittaria ja jota käytetään omassa kulutuksessa, esimerkiksi aurinkosähkön varastointiin.
DC	Sähkövirta, jonka suunta ei muutu.
Datahub	Keskittetty tiedonhallintajärjestelmä Suomessa, jossa säilytetään sähkön vähittäismarkkinoiden tietoja, kuten kulutustietoja ja sopimuksia.
FCR-D	Dynaaminen taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi.
FCR-N	Normaali taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi.
FFR	Nopea taajuusreservi.
Fingrid	Suomen kantaverkkoyhtiö, joka vastaa sähkönsiirrosta valtakunnallisessa sähköverkossa.
GWh	Gigawattitunti. Energiayksikkö, joka vastaa miljardia wattituntia. Sitä käytetään suurten energiamäärien mittaamiseen.
KJ	Sähköverkossa käytettävä jännitetaso, joka on yleensä välillä 1 kV - 36 kV. Keskijännitettä käytetään sähkön jakeluun paikallisverkoissa ja se on välivaihe korkeajännitteisen siirtoverkon ja matalajännitteisen jakeluverkon välillä.
Loisteho	Sähköverkossa oleva teho, joka ei tee varsinaista työtä, mutta on välttämätön sähköjärjestelmän toiminnalle.
PJ	Sähköverkossa käytettävä matalin jännitetaso, joka on 1 kV tai alle. Pienjänniteverkkoa käytetään sähkön jakeluun suoraan kuluttajille, kuten kotitalouksiin ja pieniin yrityksiin.
SLY	Suomessa toiminut yhdistys, joka edusti sähkölaitoksia ja muita sähköalan toimijoita. SLY:llä oli tärkeä rooli sähköalan yhteistyön ja kehityksen edistämisessä, mutta se on sittemmin yhdistynyt muiden toimijoiden kanssa osaksi suurempia järjestöjä.
Tuntimittaus	Sähkönkulutuksen mittaus tuntikohtaisesti. Tämä mahdollistaa tarkemman seurannan ja kulutuksen optimoinnin.
V2G	Vehicle-to-Grid. Tekniikka, jossa sähköauto voi syöttää sähköä takaisin sähköverkkoon.
V2H	Vehicle-to-Home. Tekniikka, jossa sähköauto voi syöttää sähköä talon sähköjärjestelmään.
V2L	Vehicle-to-Load. Tekniikka, jossa sähköauto voi toimia sähkönlähteenä ulkopuolisille kuormille, kuten sähkölaitteille.
VPP	Virtuaalivoimalaitos. Hajautettujen energiantuotantolaitosten, kuten tuuli- tai aurinkovoimaloiden, ja kulutuksenhallinnan yhdistelmä, joka toimii kuin yksi suuri voimalaitos.

Varttimittaus	Sähkönkulutuksen mittaus 15 minuutin välein. Tämä mahdollistaa tarkemman kulutuksen seurannan ja optimoinnin.
kWh	Kilowattitunti. Energiayksikkö, joka vastaa tuhatta wattituntia. Käytetään yleisesti sähkönkulutuksen mittaamiseen.
Tariffi	Sähköstä perittävä hinta, joka voi perustua esimerkiksi kulutettuun määrään, aikaan tai kiinteään maksuun.

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on vaatinut paljon aikaa ja panostusta, ja sen valmistuminen ei olisi ollut mahdollista ilman useiden ihmisten tukea ja kannustusta.

Ensimmäiseksi haluan kiittää vaimoani ja lapsiani, jotka ovat kärsivällisesti antaneet minulle tilaa ja aikaa keskittyä tähän työhön. Olette olleet korvaamaton tuki, ja ilman teidän ymmärrystänne ja rakkauttanne en olisi saanut tätä työtä valmiiksi.

Suuri kiitos kuuluu myös Keminmaan Energia ja Vesi Oy työkavereilleni. Vitsailu kahvipöydässä on arjen piristys ja keventää työpäiviä, mutta samalla olette olleet tukemassa ja auttamassa, kun sitä on tarvittu. Tämä on ollut arvokasta työn edistymisen kannalta, ja arvostan suuresti teidän panostanne.

Lopuksi haluan kiittää työn ohjaajaani Janne Karppasta erinomaisesta ohjauksesta. Sinun asiantunteva opastuksesi ja arvokkaat neuvosi ovat auttaneet minua suunnistamaan tämän prosessin läpi, ja olen erittäin kiitollinen kaikesta saamastani tuesta.

Sami Alm

Keminmaassa

10.10.2024

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Tutkimusmenetelmät.....	9
1.2	Keminmaan Energia ja Vesi Oy .....	10
1.3	KMEV sähkönjakeluverkko .....	12
1.4	KMEV kehityssuunnitelma .....	14
2	VIRANOMAISÄÄDÖKSET .....	17
2.1	Sähkömarkkinalaki .....	17
2.2	Kehittämissuunnitelma lainsäädännössä .....	17
2.3	Energiavarastoliiketoiminta lainsäädännössä .....	18
2.4	Joustopalvelut lainsäädännössä.....	19
2.5	Jakeluverkon käytön johtajan vastuu.....	20
3	VERKON JOUSTAVUUDEN MAHDOLLISTAJAT.....	23
3.1	Kulutusjousto.....	24
3.2	Energiavarastot.....	27
3.2.1	Kiinteistöakustot, Behind-the-meter (BTM) .....	32
3.2.2	Ajoneuvot energiavarastona, Vehicle-to-Grid (V2G).....	33
3.3	Varavoima .....	34
3.4	Mikroverkot .....	35
3.5	Energiayhteisö .....	38
3.6	Kuormanohjaus.....	40
3.7	Tehomaksut .....	45
4	KEHITYSEHDOTUKSET JOUSTOPALVELUIDEN TOTEUTTAMISEKSI KMEV OY VERKOSSA.....	51
4.1	Sähköasemat.....	51
4.2	Kuormanhallinta.....	53
4.3	Tehomaksut .....	53
4.4	Nelikenttäanalyysi .....	55
5	YHTEENVETO.....	58
	LÄHTEET .....	60

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Keminmaan kunnan ja KMEV OY sijainti (KMEV sisäinen).....	11
Kuva 2. KMEV Oy verkkokaavio ja KJ-lähdöt väritettynä (KMEV sisäinen 2024).....	13
Kuva 3. Sähkönkäytön ohjaaminen markkinahinnalla .....	24
Kuva 4. Kallin haara (KMEV sisäinen 2024) .....	29
Kuva 5. Ulkoilukivaloiden haara (KMEV sisäinen 2024).....	30
Kuva 6. Elijärven haara (KMEV sisäinen 2024).....	31
Kuva 7. V2G periaate (Polestar, 2024) .....	33
Kuva 8. Mikroverkon esimerkkejä (Eaton, 2024).....	37
Kuva 9. Energiayhteisön periaate .....	39
Kuva 10. Kuormanohjauksen nykytilanne.....	43
Kuva 11. Kuormanohjauksen visio 2025.....	44
Kuva 12. KMEV jakeluverkon kuormituksen muutokset talvella (KMEV sisäinen 2024) .....	47
Kuva 13. Sähkölämmittäjän tehomaksun mahdollinen vaikutus huipputehoon (KMEV sisäinen 2024) .....	48
Kuva 14. Loistehon ilmaisosuusmalli .....	49
Kuva 15. Kehitysehdotukset aikajanalla .....	55
Kuva 16. SWOT joustopalveluista .....	56



## 1 JOHDANTO

Loppuvuodesta 2021 Energiavirasto asetti uuden vaatimuksen sähköjakeluverkon haltijoille velvoittaen heidät laatimaan kattavan jakeluverkon kehittämissuunnitelman (Energiavirasto, 2024). Tämän määräyksen tarkoituksena on varmistaa toiminnan laatuvaatimusten täyttyminen sekä mahdollistaa verkon kehittämistoimien kustannustehokkuuden ja erilaisten joustopalvelujen hyödyntämisen osana sähköjakeluratkaisuja. Lisäksi määräys edellyttää, että verkonhaltijat kuulevat muita alan toimijoita ja asiaankuuluvia verkon käyttäjiä suunnitelmia laatiessaan.

Vuonna 2023 sähkömarkkinalakiin tehtiin lisäyksiä, jotka koskivat joustopalveluiden käyttöä sähköjakeluverkon käytön ja kehittämisen tehostamiseksi. Samana vuonna Energiavirasto edisti joustopalveluiden hyödyntämiseen liittyvää valvontaa, minkä lisäksi se toimitti verkonhaltijoille valvontakirjeen, joka ohjaa näitä joustopalveluiden hankinnassa. Energiaviraston toimet tähtäävät joustomarkkinoiden kehityksen varmistamiseen sekä verkonhaltijoiden kannustamiseen tunnistamaan ja hyödyntämään potentiaalisia joustopalveluiden käyttökohteita verkoissaan. Joustopalveluiden lainsäädännölliset puitteet käsitellään yksityiskohtaisemmin luvussa kaksi.

Joustopalveluita tarkastellaan erityisesti toimeksiantajan verkon näkökulmasta luvussa kolme. Tämän tarkastelun avulla pyritään huomioimaan joustopalvelut yhtiön liittymisehdoissa. Lisäksi tavoitteena on tunnistaa verkon rajoittavat ongelmakohdat, joihin kehittämistoimenpiteitä tulee kohdistaa tulevaisuudessa joustopalveluiden mahdollistamiseksi. Näin voidaan varmistua verkon käytön tehokkuudesta ja huomioidaan kapasiteetin riittävyys. Lyhyen ja pidemmän aikavälin kehityskohteita käsitellään yksityiskohtaisemmin luvussa neljä.

### 1.1 Tutkimusmenetelmät

Työ on luonteeltaan kehittämistyö, jossa syvennyttään joustopalveluiden lainsäädäntöön sekä tutkitaan monipuolisesti erilaisia joustopalvelutyyppejä ja niiden soveltamismahdollisuuksia eri verkkoyhtiöiden jakelualueilla. Kehittämistyössä keskeisenä tavoitteena on arvioida, miten joustopalveluita voidaan käytännössä hyödyntää toimeksiantajan verkon hallinnassa ja kehittämisessä, ja kuinka nämä palvelut voidaan sisällyttää yhtiön liittymisehtoihin. Työssä pyritään tunnistamaan ne verkon osa-alueet, jotka rajoittavat joustopalveluiden käyttöä ja joiden osalta tarvitaan tulevaisuudessa kohdennettuja kehittämistoimenpiteitä. Näin varmistetaan, että verkon käyttö on tehokasta ja että kapasiteetti riittää sekä lyhyellä että pidemmällä aikavälillä.

Työn teoreettinen tausta perustuu kirjallisuuskatsaukseen, jossa käydään läpi joustopalveluihin liittyviä alan julkaisuja, sääntelyä ja lainsäädäntöä. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta muodostetaan kokonaisvaltainen kuva siitä, miten joustopalvelut toimivat, ja mitkä ovat niiden soveltamisen mahdollisuudet ja haasteet jakeluverkoissa. Lisäksi työn teoreettinen viitekehys pohjautuu kirjoittajan aiempaan työkokemukseen käytön johtajana ja sähkö- sekä kaukolämpöliiketoimintojen johdon parissa, mikä antaa syvällistä näkemystä ja asiantuntemusta kehittämistyön tueksi.

Työn käytännön toteutuksessa hyödynnetään monipuolisesti eri menetelmiä, jotta saadaan mahdollisimman kattava ja syvä ymmärrys joustopalveluista ja niiden soveltamisesta. Työn alkuvai-

heessa suoritetaan puolistrukturoituja teemahaastatteluja, mitkä kohdennetaan erityisesti niille teknisen toimihenkilöstön jäsenille, jotka työskentelevät sähkö- ja kaukolämpöliiketoimintojen johdossa. Nämä haastattelut tarjoavat arvokasta tietoa ja näkemyksiä alan ammattilaisilta, ja ne toteutetaan siten, että haastateltavilta saadaan yksityiskohtaista tietoa juuri niistä asioista, jotka ovat olennaisia tutkimuskysymysten kannalta.

Lisäksi työssä hyödynnetään viikoittaisia palavereita, jotka tarjoavat säännöllisen foorumin työn edistymisen seurantaan ja keskusteluihin työn eri osa-alueista. Näissä palavereissa kaikki osapuolet voivat tuoda esiin omia näkemyksiään ja ehdotuksiaan, mikä varmistaa, että työ etenee suunnitelmallisesti ja että kaikki keskeiset näkökulmat tulevat huomioiduiksi. Viikoittaisten palavereiden lisäksi työssä käytetään myös epämuodollisia haastatteluja, joissa käydään vapaamuotoisia keskusteluja joustopalveluista ja niiden soveltamisesta jakeluverkkoon. Nämä epäviralliset keskustelut mahdollistavat avoimemman ajatustenvaihdon, ja niissä saattaa nousta esiin uusia näkökulmia ja ideoita, joita ei ehkä olisi tullut esiin muodollisemmissa haastatteluissa.

Kokonaisuutena työ tuottaa kattavan ja monipuolisen näkemyksen siitä, miten joustopalvelut voidaan käytännössä soveltaa toimeksiantajan jakeluverkossa, ja millaisia muutoksia ja kehittämistoimenpiteitä tämä edellyttää. Työtä tullaan käyttämään toimeksiantajan kehityssuunnitelman ja verkon strategian laadinnan tukena.

## 1.2 Keminmaan Energia ja Vesi Oy

Keminmaan Energia ja Vesi Oy (KMEV) on toimija Keminmaan alueen energian ja vedenhuollon parissa. Yhtiö vastaa energianjakelusta ja vesihuollosta alueellaan, mikä tekee siitä keskeisen palveluntarjoajan paikalliselle väestölle ja yrityksille. Yhtiö on täysin Keminmaan kunnan omistama. Yhtiöllä on omia työntekijöitä 19 henkilöä. Joitain palveluita yhtiö ostaa ulkopuolelta, kuten laskutuksen ja siivoukset. Yhtiön liikevaihto oli 7,5 miljoonaa euroa vuonna 2023.



Kuva 1. Keminmaan kunnan ja KMEV OY sijainti (KMEV sisäinen)

Yhtiö harjoittaa sähköverkkoliiketoimintaa, jonka piiriin kuuluu sähköverkon ylläpito ja kehittäminen Keminmaan alueella. Tämä käsittää sekä keskijännite- että pienjänniteverkot sekä näihin liittyvät laitteistot ja rakenteet. Yhtiö pyrkii varmistamaan, että sähköntoimitus on luotettavaa ja keskeytyksetöntä kaikille alueen asiakkaille.

KMEV Oy:llä on oma kiinteän polttoaineen polttolaitos, joka sijaitsee Keminmaan teollisuusalueella. Yhtiön oma kaukolämpöverkko sijaitsee varsin pienellä alueella, mutta tuottaa lämmön merkittäväälle osalle kunnan asukkaista. Yhtiön kaukolämpöliiketoiminnan strategiasta käydään keskusteluja, ja kaukolämmön tuotantotapa tulevaisuudessa on vielä valitsematta nykyisten kiinteän polttoaineen arinakattiloiden tilalle. Tässä vaiheessa harkinnassa ovat myös vaihtoehtoiset lämmöntuotantomuodot, kuten sähkökattilat ja joustopalveluihin perustuvat lämmitysmuodot. Yhtiö tutkii huolellisesti eri vaihtoehtoja varmistaakseen optimaalisen lämmöntuotantotavan, joka täyttää sekä asiakkaiden tarpeet että ympäristövaatimukset.

Lisäksi KMEV Oy vastaa vesihuollosta kuntansa alueella. Tämä sisältää veden tuotannon, jakelun ja jäteveden käsittelyn. Yhtiö varmistaa, että alueen asukkailla on jatkuvasti puhdasta juomavettä saatavilla ja jätevesien käsittely tapahtuu säädösten mukaisesti ympäristöystävällisellä tavalla.

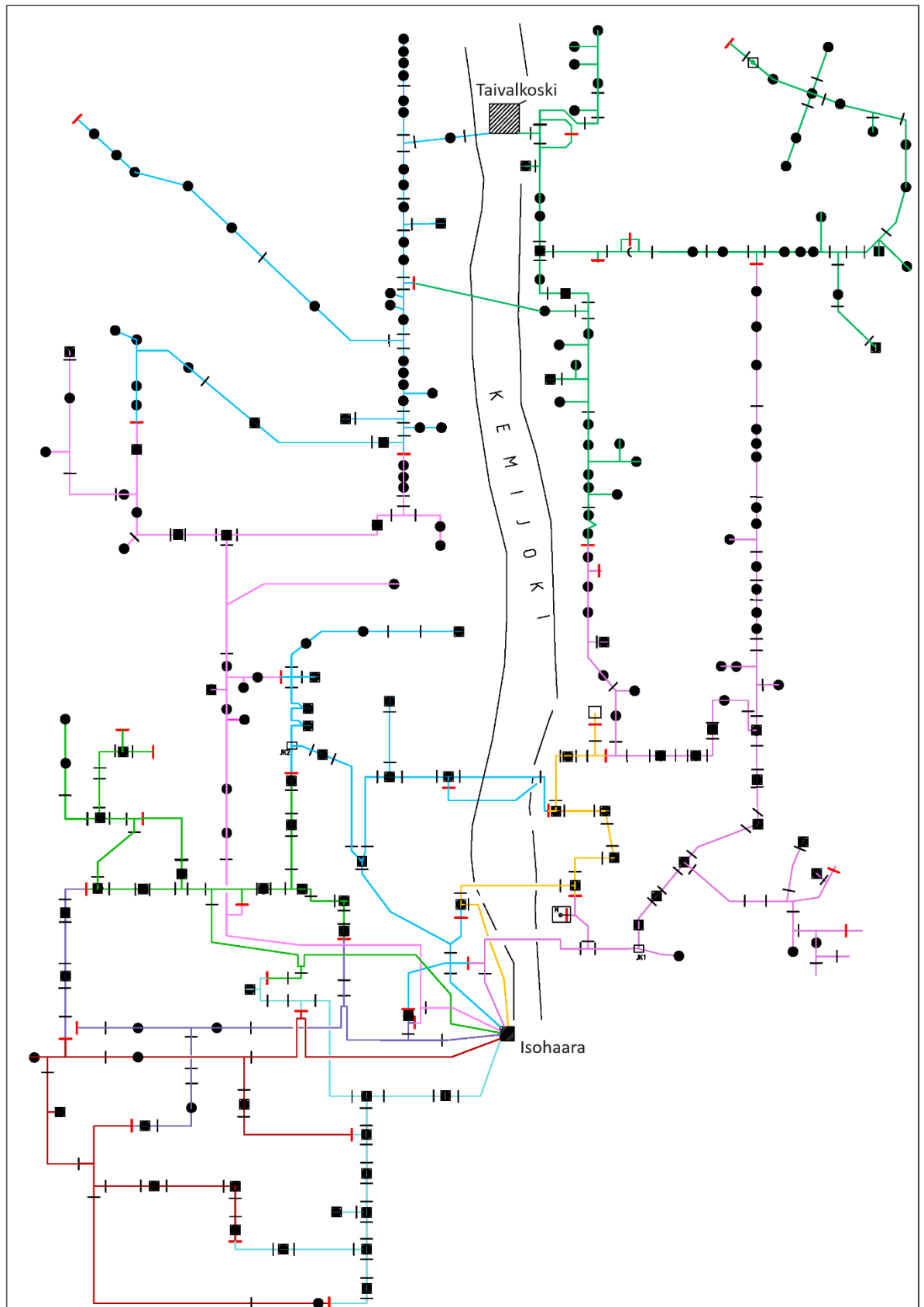
### 1.3 KMEV sähköjakeluverkko

KMEV Oy:n sähköjakeluverkko on Suomen mittakaavassa pieni, mutta se on silti tärkeä osa alueen sähköinfrastruktuuria. Yhtiöllä on noin 220 kilometriä keskijänniteverkkoa ja noin 550 kilometriä pienjänniteverkkoa. Merkillepantavaa on, että yhtiöllä ei ole omia sähköasemia eikä 110 kV verkkoa, vaan yhtiön keskijänniteverkko on liitetty kunnan alueella sijaitseviin vesivoimalaitoksiin, kuten Isohaaraan ja Taivalkoskeen. (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024)

Jakeluverkolla on noin 5500 asiakasta pääasiassa Keminmaan kunnan alueella, mutta myös muutamia asiakkaita kuntarajojen ylitse Kemissä, Tervolassa ja Torniossa. Yhtiöllä on sähköverkkoa n. 140 metriä per asiakas. Sähköä on vuonna 2023 vastaanotettu verkkoon 69 GWh ja vuosittaiset häviöt ovat n. 5 % tuntumassa.

Sähkömarkkinalain mukaisia vakiokorvauksien alaisia keskeytyksiä ei ole ollut yhtiön asiakkailla lainkaan vuoden 2015 jälkeen. Pienjänniteverkon kaapelointiaste on noin 67 % ja keskijänniteverkon noin 28 %. KJ-verkon odottamattomista pysyvistä keskeytyksistä asiakkaille aiheutunut, vuosienergi-oilla painotettu keskeytysaika on vuonna 2023 ollut 33 minuuttia.

Kuten seuraavan sivun kuvan 2 verkkokaaviosta nähdään, niin yhtiöllä on yhteensä kymmenen keskijännitelähtöä, joista kaksi sijaitsee Taivalkosken voimalaitoksella kunnan pohjoispäässä, ja kahdeksan sijaitsee Isohaaran voimalaitoksessa Kemijoen suulla. Kuvassa on väreillä esitetty eri keskijännitelähdöt normaalitilanteessa. Tämä järjestely mahdollistaa sähköjakelun paikallisesti ja tehokkaasti ilman tarvetta omille sähköasemille. Paikallisen jakelun tehokkuuden lisäksi yhtiön verkossa on suunniteltu varayhteyksiä naapuriyhtiöiden jakeluverkkoihin pisimpien haarajohtojen päissä, mikä parantaa toimitusvarmuutta ja vähentää riskiä sähkökatkojen aikana.



Kuva 2. KMEV Oy verkkokaavio ja KJ-lähdöt väritettynä (KMEV sisäinen 2024)

Voimalaitosten strateginen sijainti tukee myös verkon toiminnan joustavuutta ja luotettavuutta. Taivalkosken ja Isohaaran vesivoimalaitosten sijainti mahdollistaa tehokkaasti rengasyhteydet molemmista päistä kuntaa, mikä vahvistaa sähköverkon vakautta. Nämä rengasyhteydet takaavat sen, että sähköä voidaan syöttää useasta suunnasta, mikä vähentää yksittäisten vikaantumisten vaikutuksia ja parantaa verkon kokonaisluotettavuutta.

Lisäksi tämä verkkojärjestely tuo mukanaan useita etuja. Ensinnäkin paikallisen sähköjakelun mahdollistaminen ilman tarvetta omille sähköasemille säästää investointikustannuksissa ja ylläpitokustannuksissa. Toiseksi varayhteydet naapuriyhtiöiden verkkoihin tuovat joustavuutta ja mahdollistavat sähkötoimituksen jatkumisen myös poikkeustilanteissa. Kolmanneksi rengasyhteyksien ansiosta sähköverkko pystyy reagoimaan nopeasti mahdollisiin häiriötilanteisiin, mikä minimoi sähkökatkojen keston ja vaikutukset asiakkaille. (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024)

Keminmaata voisi sähköjakelutermein kuvailla jakorasiaksi, sillä se toimii merkittävänä solmupisteinä useille suurjänniteverkkojen yhteyksille. Kunnan alueella sijaitsee useita valtakunnallisesti keskeisiä suurjännitteen solmupisteitä, jotka tekevät siitä tärkeän sähköjakelukeskuksen. Näihin kuuluvat yhtiönkin verkkoa syöttävät Isohaaran ja Taivalkosken kytkinkentät, jotka jo itsessään ovat merkittäviä sähköjakelun kannalta.

Kunnassa sijaitsee lisäksi Keminmaan sähköasema. Tämä sähköasema toimii tärkeänä solmukohdana, jossa kantaverkko hajautuu Ruotsin puolelle ja muualle Lappiin. Tämän lisäksi Keminmaan merkitystä sähköjakelussa kasvattaa uusi, vielä rakennusvaiheessa oleva Fingridin Viitajärven sähköasema. Tämä uusi sähköasema on suunniteltu vastaamaan tulevaisuuden sähköntarpeisiin ja parantamaan verkon kapasiteettia. Viitajärven sähköaseman valmistuminen lisää entisestään Keminmaan alueen roolia keskeisenä sähköjakelun solmupisteinä, sillä se tarjoaa uusia mahdollisuuksia verkon laajentamiseen ja vahvistamiseen.

#### 1.4 KMEV kehityssuunnitelma

Kehityssuunnitelmasta kerrotaan lainsäädännön näkökulmasta enemmän luvussa 2.2 ja tämä luku kertoo KMEV Oy:n kehityssuunnitelmasta ja lähtötiedoista työlle.

Suomen Ilmastopaneelin raportin mukaan Etelä-Lapin alueella on odotettavissa keskilämpötilan nousua tulevaisuudessa (Gregow, et al., 2021). Sään ääri-ilmiöt, kuten myrskyt sekä lumikuormat, todennäköisesti yleistyvät nykytilanteeseen verrattuna, mikä vastaa pääosin muuta Suomea. Tämä voi aiheuttaa haasteita sähköjakelulle, erityisesti haja-asutusalueilla, joissa verkko koostuu suurelta osin kustannustehokkuussyiden takia ilmajohdoista.

Ääri-ilmiöihin varaudutaan ja haasteita pyritään hallitsemaan muun muassa maakaapeloinnilla ja ilmajohtojen reittien siirtämisellä säävarmemmille sekä helpommin korjattaville paikoille. Tärkeää on myös varmistaa riittävä viankorjauskapasiteetti, jotta sähköjakelun toimitusvarmuustaso voidaan säilyttää myös vaikeissa sääolosuhteissa.

Kaapelointiasteen odotetaan nousevan nykyisestä 6 prosenttiyksikköä ollen vuonna 2036 34 prosentin luokkaa. Pienjännitteen osalta kaapelointiasteen odotetaan nousevan nykyisestä 18 prosenttia ollen vuonna 2036 85 prosentin tasolla

Erityisenä riskinä on Kemijoen kulku verkkoalueen halki. Jokialitukset voivat aiheuttaa myös haasteita sähköjakelulle. Lisäksi ilmastomuutoksen lisäämät rankkasateet voivat johtaa syys- ja kesätulvien lisääntymiseen, vaikka kevättulvien vaikutukset eivät ennustetusti kasva merkittävästi. Kevättulvien ajankohdat saattavat kuitenkin keskimäärin aikaistua.

Kemijoen vesistöalueen tulvariskejä hallitaan säännöllisesti päivitettävällä hallintasuunnitelmalla, jolla pyritään minimoimaan riskejä. Lisäksi Kemijoen Isohaaran voimalaitoksen yläpuolisia osuuksia säännöstellään vesivoimalaitoksilla veden pinnankorkeuden hallitsemiseksi.

Vesivoimaloiden KJ-lähtöihin on todennäköisesti tarpeen luoda uusia liityntöjä. Myös kojeistoja on tarkoitus modernisoida niiden korkean iän, sekä käytetyn suojaustekniikan vuoksi. Lisäksi maakaapeloinnin osuuden kasvaessa verkon kompensointiin liittyvät vaatimukset edellyttävät kompensattoreiden ja verkon maasulun sammutuslaitteistojen koon lisäämistä lähivuosina.

Keskijänniteverkon asiakasliityntätehot ovat tasaisessa kasvussa. Tämä voi vaatia verkon kapasiteetin lisäämistä ja mahdollisesti uusien liityntöjen rakentamista. Näillä toimenpiteillä varmistetaan sähkön tuotannon tehokas ja luotettava jakelu alueella.

Asemakaava-alueen keskijännite- ja pienjänniteverkko on pääosin rakennettu maakaapelointina. Tämä on hyvä ratkaisu monilla tavoin, kuten vähäisemmän alttiuden sääilmiöille ja ympäristöystävällisyyden kannalta. Alueella tapahtuu suurin osa käyttöpaikkojen ja kulutuksen kasvusta, mutta nykyinen verkko on jo tasolla, joka pystyy pääosin vastaamaan ennustettuun kasvuun.

Asemakaava-alueen verkko on suunniteltu vastaamaan korkeampiin kuuden tunnin toimitusvarmuusvaatimukseen. Suurin osa sekä keskijännite- että pienjänniteverkosta on rakennettu maakaapelilla, mikä parantaa toimitusvarmuutta entisestään. Alueella on myös useita rengasyhteyksiä, mikä lisää verkoston luotettavuutta ja varmistaa sähkönjakelun jatkuvuuden myös mahdollisten vikatilanteiden sattuessa. Tämä on tärkeää varsinkin alueella, jossa sään ääri-ilmiöt voivat aiheuttaa häiriöitä sähkötoimitukselle.

Asemakaava-alueen ulkopuolinen, eli käytännössä haja-asutusalueen verkko koostuu pääasiassa keskijännitelinoista, jotka ovat ilmajohtoina. Tärkeimmät runkoyhteydet erityisesti Kemijoen lähiympäristössä, ovat rakennettu mahdollistamaan rengasyhteydet, joka parantaa verkon luotettavuutta sekä käyttöä.

Kehittämisyöhykkeen verkko on suunniteltu vastaamaan 36 tunnin toimitusvarmuustasoa, mikä kattaa suurimman osan verkkoalueesta. Käyttöpaikoista noin kolmasosa sijaitsee tällä vyöhykkeellä, mutta ne ovat keskittyneet Kemijoen ja sen vieressä kulkevien tärkeiden teiden varsille. Suurin osa vyöhykkeestä on maantieteellisesti harvaan asuttua tai kokonaan asumatonta seutua. Mutta alueella on myös jonkin verran asuinrakennuksia ja vapaa-ajan asuntoja. Suurempia kuluttajia vyöhykkeellä ovat maatilat ja kaivosteollisuus.

Vaikka vyöhykkeen toimintaympäristön ennustetaan muuttuvan samansuuntaisesti kuin koko verkkoalueella, eli väestön vähenemisen myötä käyttöpaikkamäärä saattaa vähentyä, niin sähkökäytön yleisen kehityksen myötä verkon siirto- ja vastaanotettavan energian määrä voi silti hieman kasvaa. Kulutuksen merkittävä lisääntyminen ei ole odotettavissa ilman yksittäisiä suuria liittyjiä. Verkon laajuuden ja ilmajohtopainotteisuuden vuoksi tulevat investoinnit suunnataan pääosin tälle alueelle (KMEV Oy, 2024).

Pieni verkkoyhtiö on asettanut keskeiseksi tavoitteekseen hyödyntää alalla vakiintuneita toimintamalleja, jotka ovat osoittautuneet tehokkaiksi ja luotettaviksi. Samalla se seuraa aktiivisesti uusien

teknologisten ratkaisujen, kuten joustopalveluiden kehittymistä. Tavoitteena on varmistaa, että yhtiö pystyy tarjoamaan asiakkailleen parhaan mahdollisen palvelun nykyisessä toimintaympäristössä samalla kun se valmistautuu tuleviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Tämä strategia auttaa yhtiötä säilyttämään kilpailukykyä ja reagoimaan nopeasti alan muutoksiin ja kehitykseen.

Yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittiset kohteet on tunnistettu verkkoyhtiön tasolla, ja niiden sähköjakelun luotettavuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. Tämän ansiosta vaikeidenkin häiriötilanteiden aikana voidaan lyhentää sähköjakelun keskeytyksien pituutta kriittisimmissä kohteissa viankorjauksen priorisoinnin avulla. Vaikka suurin osa näistä kohteista sijaitsee asemakaava-alueella, samat periaatteet koskevat molempia vyöhykeitä.

Seuraavan viiden vuoden aikana verkkoyhtiössä on odotettavissa kaivosalan toimijoiden liittymisiä keskijänniteverkkoon. Tällä hetkellä suurempia liittyjiä ei ole vielä tiedossa, mutta tulevaisuudessa on odotettavissa uusia kuormia, erityisesti sähköautojen lataukseen ja palvelinlaskentaan liittyen.

Sähköautojen yleistyminen tuo mukanaan merkittävän lisäyksen sähköverkon kuormitukseen, sillä yhä useammat kuluttajat ja yritykset siirtyvät sähköisten ajoneuvojen käyttöön. Tämä kehitys luo tarpeen uusille latauspisteille sekä kotitalouksissa että julkisissa tiloissa. Näiden latausasemien rakentaminen ja käyttöönotto vaatii verkon kapasiteetin kasvattamista ja sähköntoimituksen varmistamista, jotta lataus tapahtuu luotettavasti ja tehokkaasti ilman keskeytyksiä.

Toinen merkittävä uusi kuorma liittyy palvelinlaskentaan, eli datakeskuksiin ja pilvipalveluihin. Digitalisaation ja tiedon määrän jatkuva kasvu lisäävät datakeskusten tarpeita, jotka vaativat huomattavia määriä sähköä toimiakseen tehokkaasti. Datakeskukset ovat suuria sähkösyöppöjä, ja niiden toimintavarmuuden takaaminen edellyttää vakaita ja hyvin suunniteltuja sähköjakeluratkaisuja. Teollisuuskäyttöjen ennustetaan myös kasvavan lähivuosina, mikä edellyttää 20 kV:n -lähtöjen määrän ja sijainnin tarkistamista vesivoimalaitoksissa. Lisäksi aurinkoenergian pientuotannon odotetaan lisääntyvän jonkin verran, vaikkakin Lapissa vähemmän kuin muualla Suomessa.

Yhtiöllä ei ole tiedossa suuria uudisinvestointitarpeita pitkällä aikavälillä seuraavan 5–10 vuoden aikana, ellei jokin taho yllättäen halua suurta tehoa laitteistoaan varten, jolloin sähköaseman rakentaminen voi tulla ajankohtaiseksi. Valtakunnallinen kehitys näyttää jatkuvan samankaltaisena seuraavien viiden vuoden aikajaksolla. Vesivoiman katkaisijalähtöjen investointi on vasta alustava suunnitelma, joten se voi sijoittua myös tälle aikavälille. Tuulivoima- ja aurinkopaneelipuistot liittyvät todennäköisesti suoraan kantaverkkoon.



## 2 VIRANOMAISÄÄDÖKSET

### 2.1 Sähkömarkkinalaki

Sähkön jakeluverkkoliiketoiminnassa verkon hallinta on kriittinen osa nykyaikaista energiainfrastruktuuria. Jakeluverkonhaltijan vastuu ulottuu sähköverkon varman, luotettavan ja tehokkaan käytön varmistamiseen sekä tarpeellisten lisäpalveluiden tarjoamiseen. (Energiavirasto, 2024)

Jakeluverkonhaltijan on tärkeää huolehtia sähköverkon varmuudesta, mikä tarkoittaa sitä, että verkko on suunniteltava ja ylläpidettävä siten, että se kestää erilaiset häiriöt, kuten myrskyt, tekniset viat tai muut odottamattomat tapahtumat (Energiavirasto, 2024). Varman sähköverkon takaamiseksi tarvitaan jatkuvaa investointia verkkoon ja häiriöiden hallintajärjestelmiin.

Sähköverkon on oltava myös luotettava eli asiakkaat voivat luottaa sähköverkon toimivuuteen joka tilanteessa. Myrskyn ja lumikuorman seurauksena linjojen vioittuminen ei saisi aiheuttaa asema-kaava-alueilla yli kuuden tunnin keskeytystä, kun asemakaava-alueen ulkopuolella tämä raja on 36 tuntia (Sähkömarkkinalaki, 2013). Luotettavuus edellyttää nopeaa häiriöiden korjausta sekä joustavaa ja tehokasta energiatoimitusta. Verkonhaltijan on pyrittävä, että verkko pystyy vastaamaan kysyntään ja että energiatoimitukset ovat jatkuvia ja katkeamattomia.

Tehokkuus on keskeistä sekä taloudellisista että ympäristösyistä sähköverkossa. Tehokkaasti toimiva verkko minimoi energiahukan ja mahdollistaa resurssien optimaalisen käytön. Verkonhaltijan on pyrittävä jatkuvasti parantamaan verkoston tehokkuutta älyverkkoteknologialla (Sähkömarkkinalaki, 2013). Esimerkiksi lisäämällä verkkoon valvontaa, joka osaa rajata häiriöt automaattisesti mahdollisimman pienelle alueelle saadaan kuluttajien sähkökatkojen kestoa lyhennettyä ja korjaushenkilöstö saa nopeasti tiedon vian sijainnista.

Verkonhaltijan on myös varmistettava riittävien tietojen toimittaminen sähköverkkonsa kanssa yhteen liitettyjen muiden sähköverkkojen haltijoille. Tämä varmistaa, että eri verkkoyhtiöt voivat työskennellä yhdessä varmistaakseen yhteen liitetyn sähköverkon luotettavan ja tehokkaan käytön sekä koordinoitun kehityksen (Sähkömarkkinalaki, 2013). Yhteistoimivuuden varmistaminen edellyttää avointa ja jatkuvaa tiedonvaihtoa eri toimijoiden välillä, mikä on keskeistä sähköverkkojen toiminnan turvaamisessa ja kehittämisessä.

### 2.2 Kehittämissuunnitelma lainsäädännössä

Vaatimukset jakeluverkon kehittämiselle ovat tärkeitä sähköverkon kestävä kehityksen ja toiminnan varmistamisessa. Ne ohjaavat jakeluverkonhaltijoita suunnittelemaan ja toteuttamaan tarvittavat toimenpiteet varmistaakseen sähköverkon tehokkaan ja luotettavan toiminnan tulevaisuudessa.

Sähkömarkkinalain 52. §:ssä säädetään jakeluverkonhaltijan velvollisuudesta toimittaa Energiavirastolle jakeluverkon kehittämissuunnitelma vähintään joka toinen vuosi. Jakeluverkon kehittämistoimenpiteiden tulee perustua avoimeen ja kattavaan kehittämissuunnitelmaan, joka sisältää useita keskeisiä näkökohtia. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Kehittämissuunnitelman tulee sisältää suunnitelma keskeisistä investoinneista, jotka ovat tarpeen siirtokapasiteetin ylläpitämiseksi sekä uuden tuotannon ja kuormien liittämiseksi verkkoon seuraavan

kymmenen vuoden aikana. Lisäksi suunnitelmassa on kuvattava toimenpiteet, joilla täytetään laissa säädettyjen vaatimusten noudattamiseen ja verkon ylläpitämiseen liittyvät vaatimukset.

(Sähkömarkkinalaki, 2013)

Kehittämissuunnitelmassa on myös otettava huomioon mahdollisuus hyödyntää sähkökulutuksen jouston, energiatehokkuustoimenpiteiden ja sähkövarastojen käyttöä verkon siirtokapasiteetin lisäämiseksi. Lisäksi suunnitelmassa on tehtävä asianmukaiset vertailut eri kehittämistoimenpiteiden kustannustehokkuudesta. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Lisäksi on huomioitava asiakkaiden kuulemisen velvoite. Jakeluverkonhaltijan on kuultava verkon käyttäjiä ja muita asianosaisia suunnitelman laadinnassa. (Energiavirasto, 2024). Tämä varmistaa, että suunnitelmaan sisältyvät näkökulmat ja päätökset heijastavat asiakkaiden tarpeita ja odotuksia, ja että lopputulos on mahdollisimman hyvin linjassa sidosryhmien odotusten kanssa.

### 2.3 Energiavarastoliiketoiminta lainsäädännössä

Energiavarasto tarkoittaa teknologiaa, jonka avulla energiaa voidaan varastoida tulevaa käyttöä varten. Energiavarastointia käytetään tasapainottamaan energian tarjontaa ja kysyntää, erityisesti uusiutuvien energialähteiden, kuten aurinko- ja tuulivoiman, yhteydessä, joissa energiantuotanto ei aina vastaa energian kulutuksen huippuja (IEA, 2024).

Lähtökohtaisesti verkonhaltija ei saa harjoittaa energiavarastoliiketoimintaa. (Energiavirasto, 2024). Verkonhaltija saa omistaa, kehittää, hallinnoida ja käyttää energiavarastoja, jotka ovat verkonhaltijan kiinteitä verkkokomponentteja. Energiaviraston on verkonhaltijan hakemuksesta myönnettävä verkonhaltijalle lupa omistaa, kehittää, hallinnoida ja käyttää tällaisia energiavarastoja.

(Sähkömarkkinalaki, 2013)

Sähköverkkojen kehityksen ja ylläpidon näkökulmasta energiavarastot ovat keskeinen osa nykyaikaista energiainfrastruktuuria. Verkonhaltijat ovat keskeisessä roolissa näiden varastojen omistamisessa, kehittämisessä ja hallinnoinnissa, sillä haltijoilla on olennainen rooli verkon toiminnassa tarjota varmaa, luotettavaa ja tehokasta sähköntoimitusta. Energiavirastoilla on tehtävänä valvoa sekä säännellä tätä prosessia varmistaakseen energiavarastojen palvelevan tehokkaasti sähköverkon tarpeita ja että niiden omistaminen sekä käyttö tapahtuvat avoimesti ja läpinäkyvästi.

(Sähkömarkkinalaki, 2013)

Energiavirastolla on valtuus myöntää verkonhaltijoille enintään viiden vuoden mittainen poikkeuslupa omistaa, kehittää, hallinnoida ja käyttää muita energiavarastoja kuin ne, jotka on määriteltä kiinteiksi verkkokomponenteiksi. Tämä poikkeuslupa myönnetään silloin, kun verkonhaltija on osoittanut tarvitsevan tällaisia energiavarastoja täyttääkseen vastuunsa sähköverkon varmasta, luotettavasta ja tehokkaasta käytöstä (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Poikkeuslupan myöntämisen edellytyksenä on, että verkonhaltija ei ole voinut hyväksyä avoimessa, läpinäkyvässä ja syrjimättömässä tarjouskilpailussa tehtyjä tarjouksia energiavarastojen palveluista tai jos tarjouskilpailussa ei ole saatu kohtuullisiin kustannuksiin perustuvia ja oikea-aikaisia tarjouksia. Energiaviraston on vahvistettava tarjouskilpailun ehdot ennen sen aloittamista. Tämän lisäksi on

varmistettava, että energiavarastoja ei käytetä sähkön hankintaan tai toimitukseen sähkömarkkinoilla ja että poikkeus on tarpeen verkonhaltijan vastuuden täyttämiseksi. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Energiaviraston on huolehdittava siitä, että poikkeusluvan saaneen verkonhaltijan vastuualueella järjestetään julkinen kuuleminen energiavarastojen palvelujen saatavuudesta. Tämä auttaa varmistamaan, että energiavarastojen palveluja on riittävästi saatavilla ja että myös muilla osapuolilla on mahdollisuus investoida tällaisiin energiavarastoihin. Jos kuuleminen osoittaa, että muut osapuolet kykenevät tuottamaan energiavarastojen palveluja vastuualueella kustannustehokkaasti, energiaviraston tulee velvoittaa verkonhaltija luopumaan energiavarastoistaan asteittain 18 kuukauden kuluessa poikkeusluvan päättymisestä. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Energiaviraston on ilmoitettava kantaverkonhaltijalle myönnetystä kiinteän verkkokomponentin luvasta ja ehtojen täytyessä poikkeusluvasta komissiolle sekä Euroopan unionin energia-alan sääntelyviranomaisen yhteistyövirastolle. Ilmoitukseen on sisällytettävä päätökseen vaikuttaneet merkitykselliset tiedot ja päätöksen perustelut. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

## 2.4 Joustopalvelut lainsäädännössä

Jakeluverkonhaltijan vastuulla on hyödyntää joustopalveluja tehokkaasti jakeluverkon käytössä ja kehittämisessä sekä siirtorajoitusten hallitsemiseksi. Joustopalveluiden hankinta tulee toteuttaa avoimilla, syrjimättömillä ja markkinapohjaisilla menettelyillä, joissa ehtojen on oltava tasapuolisia kaikille palveluntarjoajille. Mikäli markkinapohjainen hankinta ei ole taloudellisesti tehokasta tai se aiheuttaisi merkittäviä markkinoiden vääristymiä tai lisäisi siirtorajoituksia, Energiavirasto voi myöntää poikkeusluvan hankintavelvollisuudelle erillisestä hakemuksesta (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Hankintaehtojen on edistettävä energiatehokkuutta ja oltava kustannustehokkaita. Jakeluverkonhaltijan on julkaistava nämä ehdot avoimesti, ja sillä on oltava julkiset yleiset sopimusehdot enintään 20 kV:n nimellisjännitteellä jakeluverkkoon liittyville käyttäjille. Lisäksi jakeluverkonhaltijan on tiedotettava riittävästi jouston tarpeesta sekä hankitun ja aktivoituneen joustokapasiteetin määrästä. Nämä vaatimukset takaavat läpinäkyvyyden ja oikeudenmukaisuuden joustopalveluiden hankinnassa ja käytössä (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Verkonhaltijan verkkopalvelujen myyntiehtojen on luotava edellytykset kulutusjouston osallistumiselle sähkömarkkinoille, jos osallistumisen järjestäminen kuuluu verkonhaltijan tehtäviin. Verkkopalvelujen hinnoittelussa ei saa olla ehtoja, jotka estävät verkonhaltijoita tarjoamasta sähkömarkkinoilla järjestelmäpalveluja kulutusjoustoa ja kysynnän ohjaustoimenpiteitä varten. Myyntiehdoissa on huomioitava sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja tehokkuus. Ehdot eivät saa perusteettomasti estää aggregaattorien tarjoaman kulutusjouston osallistumista sähkömarkkinoille (Sähkömarkkinalaki, 2013). Aggregaattorit kokoavat pieniä kulutuksia yhteen ja muodostavat niistä suurempia joustokokonaisuuksia (Fingrid1, 2024).

Itsenäisen aggregaattorin on korvattava asiakkaansa avoimelle toimittajalle tai tämän tasevastavalle vuorokausimarkkinalla, päivänsisäisellä markkinalla tai tasehallintamarkkinalla toteuttamansa kulutusjouston aktivoinnista aiheutuneet kustannukset. Korvauksessa voidaan huomioida myös itse-

näisten aggregaattoreiden tuottamat hyödyt muille sähkömarkkinoiden osapuolille. Korvauksen hyödyistä ei kuitenkaan saa ylittää kulutusjouston aktivoinnista asiakkaan avoimelle toimittajalle tai tasevastaavalle aiheutuneita kustannuksia (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Loppukäyttäjällä on oikeus tarjota kulutusjoustoja järjestäytyneellä markkinapaikalla joko itsenäisesti tai aggregaattorin välityksellä. Markkinapaikan ylläpitäjä ei saa asettaa ehtoja kulutusjouston pääsulle, jotka perusteettomasti syrjivät kulutusjoustoja sähköntuotantoon verrattuna (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Loppukäyttäjän on korvattava itsenäisesti toteuttamansa kulutusjouston aktivoinnin aikana aiheutuneet kustannukset vuorokausimarkkinalla, päivänsisäisellä markkinalla tai tasehallintamarkkinalla avoimelle toimittajalleen tai tasevastaavalleen. Loppukäyttäjän itsenäisesti aktivoiman kulutusjouston aiheuttama tasepoikkeama on korjattava loppukäyttäjän avoimen toimittajan tai tasevastaavan sähkötaseessa (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Järjestelmävastaavan kantaverkonhaltijan tehtävänä on määrittää loppukäyttäjän ja aggregaattorin kappaleissa mainitun korvauksen laskentamenetelmä (Sähkömarkkinalaki, 2013). Käytännössä tällä tarkoitetaan kantaverkonhaltija Fingridin Datahub-palvelua.

Laskentamenetelmän tulee perustua kulutusjouston energiavaikutukseen loppukäyttäjän avoimen toimittajan tai tasevastaavan sähkötaseessa sekä viitehintaan, joka voi vaihdella markkinapaikoittain. Laskentamenetelmän on oltava tasapuolinen ja syrjimätön sähkömarkkinoiden osapuolten kannalta, eikä se saa estää loppukäyttäjän mahdollisuutta osallistua markkinoille itsenäisesti tarjoamallaan kulutusjoustolla (Sähkömarkkinalaki, 2013).

## 2.5 Jakeluverkon käytön johtajan vastuu

Sähkölaitteiston käytön johtaja on rooli, joka on määritelty sähköturvallisuuslainsäädännössä. Henkilö, joka toimii tässä tehtävässä sähköverkkoyhtiössä, on vastuussa tämän yhtiön sähköverkon eli luokan kolme sähkölaitteistojen turvallisesta käytöstä. Käytön johtajan tulee olla luonnollinen henkilö, jolla on riittävät pätevyudet ja todistukset osoittamaan osaamisensa ja kykynsä hoitaa nämä vastuut. Tämän tulee olla sähkölaitteiston haltija tai haltijan palveluksessa, sillä henkilö, joka ei ole sähkölaitteiston haltijan palveluksessa, voi toimia käytön johtajana vain, kun sähkölaitteistoon kuuluu enintään kolme nimellisjännitteeltään enintään 20 kV muuntamoita tai muuntamoon rinnastettavaa erillistä yli 1 000 voltin nimellisjännitteistä kytkinlaitosta (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016). Sähkönjakeluverkkoja koskee kuitenkin lisäys missä sähköverkkoluvan myöntämisen ehtona luvan hakijalla on oltava palveluksessaan käytön johtaja (Sähkömarkkinalaki, 2013). Käytön johtajan tehtävät voidaan jakeluverkkoyhtiöissä jakaa useammalle pätevyyden omaavalle henkilölle esimerkiksi jännitetasojen tai maantieteellisen alueen mukaan.

Joustopalveluiden käyttö verkossa lisää merkittävästi haasteita käytön johtajan näkökulmasta. Verkkoa syötetään nykyään lukuisista eri pisteistä, ei pelkästään perinteisten sähköasemien lähtöjen kautta. Tämä monimutkaistaa huomattavasti verkon vikojen turvallista selvitystä ja hallintaa. Verkossa on entistä enemmän eri syöttöpisteitä, kuten aurinko- ja tuulivoimaloita, jotka voivat sijaita hyvinkin hajallaan. Näiden syöttöpisteiden hallinta ja verkossa käytössä olevan kapasiteetin valvonta

on tehtävä, joka edellyttää jatkuvaa seurantaa ja optimointia.

Sähkön laadun varmistaminen on myös keskeinen haaste joustopalveluiden myötä. Eri syöttöpisteiden ja hajautetun tuotannon lisääntyminen voi aiheuttaa jännitevaihteluja verkossa. Käytön johtajan on huolehdittava, että nämä vaihtelut pysyvät sallituissa rajoissa, jotta loppukäyttäjille toimitettava sähkö on laadukasta ja luotettavaa. Tämä vaatii monimutkaisia teknisiä ratkaisuja ja ennakkoivaa analytiikkaa, jotta mahdollisiin ongelmiin voidaan puuttua nopeasti ja tehokkaasti.

Lain edellyttämän turvallisuustason ylläpitämiseksi käytön johtajan tulee käytännössä vastata ja huolehtia useista tärkeistä tehtävistä. Ensinnäkin hänen on varmistettava, että sähkölaitteiston käyttö on turvallista sekä suur- että pienjännitteisten osien osalta. Lisäksi sähkölaitteistolle on laadittava laitteistokohtainen kunnossapito-ohjelma, joka ylläpitää sähköturvallisuutta ja on sidottu kalenteriaikaan ja mahdollisesti käyttöön.

Käytön johtajan tulee huolehtia siitä, että laitteistolle tehdään kunnossapitosuunnitelman mukaiset toimenpiteet, ja töiden suorittamisesta pidetään kirjaa (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016). Sähkölaitteiston kuntoa tulee valvoa paitsi huollon ja kunnossapidon kautta, myös käyttäjien omien toimien ohella tehtävällä ns. käyttöseurannalla. Havaitut puutteet ja viat on poistettava riittävän nopeasti.

Sähkölaitteistolle on suoritettava säädösten edellyttämät määräaikaistarkastukset valtuutetun tarkastajan tai laitoksen toimesta. Mahdollisesti tarkastuspöytäkirjoissa todetut puutteet on korjattava ja dokumentoitava siten, että korjaukset voidaan osoittaa tehdyiksi. Laitteiston lisäys-, muutos- ja laajennustöille on tehtävä säädösten edellyttämät käyttöönotto- ja varmennustarkastukset (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016).

Käytön johtajan tehtävässä tulee myös varmistaa, että sähkölaitteiston haltijalle on luovutettu tarkastuspöytäkirjat ja havaitut puutteet on korjattu. Sähkölaitteiston käyttöön ja hoitoon tarvittavat välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet on pidettävä ajan tasalla ja helposti saatavilla (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, Finlex, 2016). Lisäksi laitteistoa koskevat ilmoitukset ja niihin liittyvät muutokset on tehtävä Tukesin rekisteriin (TUKES, 2024).

Käytön johtajan on varmistettava, että sähkölaitteiston käyttötöitä ja niihin rinnastettavia töitä itsenäisesti tekeillä ja valvovilla henkilöillä on riittävä kelpoisuus tai muuten riittävä ammattitaito, ja että heidät on opastettu tehtäviinsä (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016).

Käytön johtajan tehtävänä on johtaa laitteiston turvallista käyttöä. Hän toimii sähköturvallisuuden asiantuntijana ja varmistaa, että kaikki hänen ja sähkölaitteiston haltijan vastuulle annetut tehtävät tulevat suoritetuiksi (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016). Usein sähkölaitteiston korjaus-, huolto- ja kunnossapitotyöt suorittaa sähköalan palveluntarjoaja, mutta tällöinkin käytön johtaja vastaa siitä, että laitteiston turvallisuuteen ja erityispiirteisiin liittyvät seikat huomioidaan.

Käytön johtajan tehtävien asianmukainen hoitaminen edellyttää perusteellista laitteiston ja toiminnan tuntemusta, sekä riittävää seurantaa ja valvontaa. Tehtäväalue on laaja ja sen asianmukainen hoito ei yleensä riitä vain kerran tai kaksi vuodessa tehtäviin tarkastuskäynteihin sähkölaitteistossa.

Kaiken kaikkiaan joustopalveluiden käyttö verkossa vaatii käytön johtajalta uudenlaista ajattelua ja osaamista. Hänen on oltava perillä uusimmista teknologioista ja hallittava monimutkaisia järjestelmiä, jotta verkon toiminta voidaan varmistaa kaikissa tilanteissa. Tämä tekee työstä vaativampaa mutta myös entistä tärkeämpää sähköverkon luotettavuuden ja tehokkuuden kannalta.

### 3 VERKON JOUSTAVUUDEN MAHDOLLISTAJAT

Joustopalvelut voivat tarjota erilaisia keinoja energiankulutuksen ja sähköjärjestelmän toiminnan hallintaan ja optimointiin. Joustopalveluita on erilaisia mutta pääasiassa ne voidaan jakaa kolmeen erilaiseen ryhmään, eli kulutusjoustoon, kapasiteettijoustoon ja toimitusvarmuusjoustoon (Fingrid2, 2024).

Joustopalvelujen käyttöönotto edellyttää palveluntarjoajien mukanaoloa, sillä pienistä kohteista saatavaa joustoa voidaan hyödyntää tehokkaasti vain aggregoimalla niitä. Pienten kohteiden omistajilla ei yksinään ole riittäviä kannustimia tai kykyä osallistua joustomarkkinalle. Alkuvaiheessa on perusteltua kartoittaa potentiaaliset toimijat, jotka voivat toimia joustopalveluntarjoajina. (Enerim Oy, 2022) Näin varmistetaan, että suunnitellut joustoratkaisut ovat toteutettavissa. Joustomarkkinoiden tarjonnan varmistamiseksi on tärkeää tunnistaa toimijat, jotka voivat aggregoida pieniä resursseja ja tarjota niitä markkinoille. Nykyiset sähkön myyntiä tai kulutuksen optimointia tarjoavat osapuolet voivat jo osittain toimia joustomarkkinoilla. (Enerim Oy, 2022)

Huhtikuussa 2024 julkaistussa Vanguard Consulting Oy tekemässä raportissa: ”Selvitys markkinaehtoisten joustopalveluiden saatavuudesta jakeluverkoille” käy ilmi, että Suomessa ei nykyhetkellä ole tarjolla markkinaehtoisia joustopalveluita (Energiateollisuus2, 2024). Vaikka osa tutkimukseen vastanneista toimijoista on mukana yhteistyöprojekteissa jakeluverkkojen kanssa akkuvarastojen parissa, niin nämä projektit on toteutettu joko suoraan hankintana tai osana laajempia tutkimushankkeita. Vastaajista kukaan ei ilmoittanut olevansa valmis tarjoamaan joustopalveluita markkina-alustan kautta Suomessa (Vanguard Consulting Oy: Toivanen. A, 2024).

Selvitykseen osallistuneet vastaajat ilmoittivat, että heillä on käytettävissään yhteensä 337 megawatin teoreettinen nimelliskapasiteetti paikallisjoustoon. Tämä kapasiteetti kuitenkin vähenee merkittävästi, jos kuorman pysyvyysvaatimukset kasvavat. (Vanguard Consulting Oy: Toivanen. A, 2024). Pienelle jakeluverkkoyhtiölle on käytännössä mahdotonta toteuttaa uuden teknologian projektia itsenäisesti ja omilla resursseillaan. Tällaisen hankkeen onnistuminen edellyttäisi joko markkinaehtoisen palveluntarjoajan osallistumista tai toteutusta osana laajempaa ryhmää.

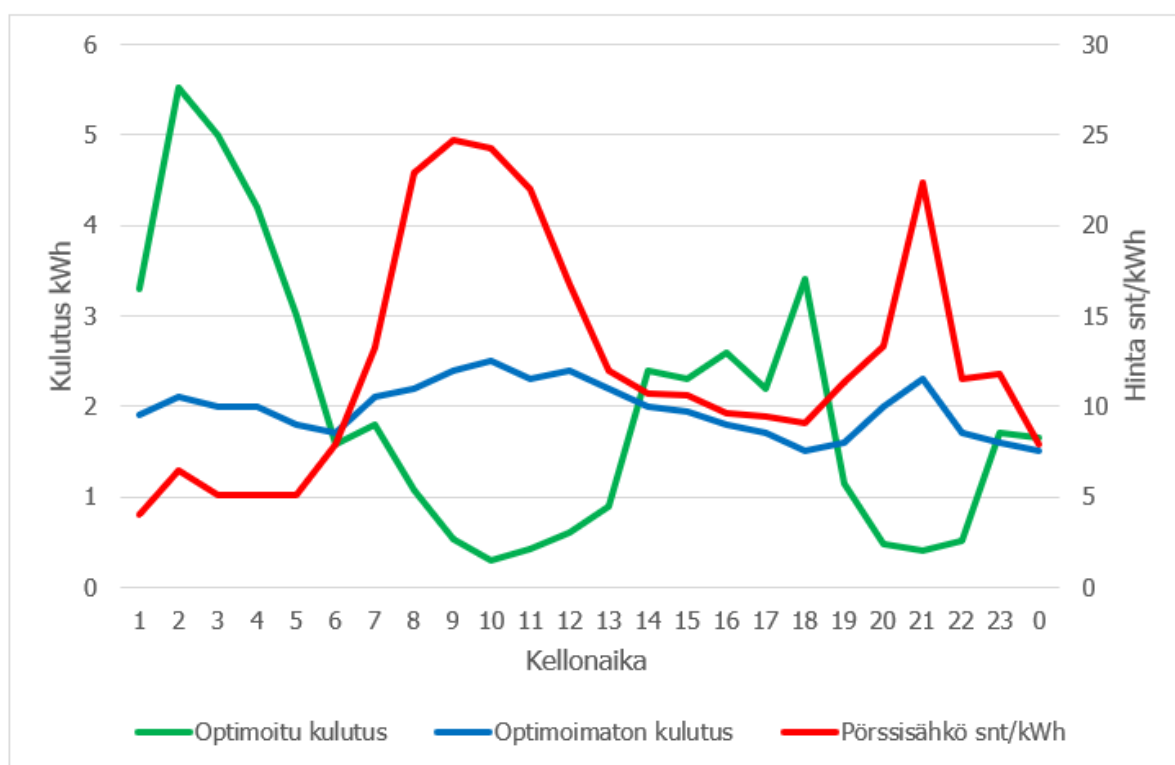
Joustopalveluiden kustannusten arviointi koetaan haastavaksi, sillä tarvittavia tuotemäärittelyjä ja markkinarakenteita ei vielä ole olemassa. Tämän epävarmuuden vuoksi joustopalvelutarjoajat toivovat kevyitä ja yhdenmukaisia markkinarakenteita, jotka olisivat yhteensopivia jo olemassa olevien sähkömarkkinoiden kanssa. He korostavat myös, että markkinoille tulon esteet tulisi pitää mahdollisimman matalina, jotta uudet toimijat voivat liittyä markkinoille helpommin ja edistää näin innovatiivisten joustoratkaisujen kehittämistä ja käyttöönottoa. (Vanguard Consulting Oy: Toivanen. A, 2024)

Joustopalveluiden tarjoajat Suomessa tuntevat huonosti paikallisten jakeluverkkoyhtiöiden joustomarkkinoiden kehitystä, eivätkä ole vielä investoineet niiden tutkimiseen tai kehitysprojekteihin merkittävästi. Kyselyssä käy ilmi, että vastaajat eivät ole tutustuneet Sähkötutkimuspoolin vuonna 2022 julkaisemaan Joustohanke-raportti tai sen tuotemäärittelyihin ei ole perehdytty laajalti. (Vanguard Consulting Oy: Toivanen. A, 2024)

Suurin osa vastaajista kuitenkin ilmaisi kiinnostuksensa tarjota joustopalveluita jakeluverkkoyhtiöille ja pitivät markkinaehtoisten hankintamenetelmien kehittämistä myönteisenä asiana. Muutamat vastaajat kuitenkin suosivat kahdenvälisiä pitkäaikaisia sopimusmalleja kaupankäyntijärjestelmien sijaan, peläten jälkimmäisten johtavan liian monimutkaisiin markkinarakenteisiin suhteessa paikallisiin joustomarkkinoiden kokoon. (Vanguard Consulting Oy: Toivanen. A, 2024)

### 3.1 Kulutusjousto

Kulutusjousto viittaa sähkönkäytön muokkaamiseen hintojen ohjaamana, mikä voi sisältää esimerkiksi kulutuksen siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan (Fingrid2, 2024). Seuraavassa kuvassa on esitetty kulutus mitä ohjataan markkinoiden hinnoilla, sekä kulutus mitä ei ohjata. Sama energiamäärä on ohjattuna maksanut 4,1€ ja ohjaamattomana 6,2€, jolloin ohjauksella on saavutettu pelkästään sähköenergiassa 33% säästö.



Kuva 3. Sähkönkäytön ohjaaminen markkinahinnalla

Kuluttajat voivat hyödyntää joustoa myös myymällä sitä sähkömarkkinoille, kuten kantaverkkoyhtiön ylläpitämille reservimarkkinoille. Kulutusjoustoa tarvitaan erityisesti lisää, kun joustamattoman ja sääriippuvaisen tuotannon, kuten ydin-, tuuli- ja aurinkovoiman, osuus Suomen sähköntuotannosta kasvaa. Tasapainon ylläpitäminen sähkön kulutuksen ja tuotannon välillä on kriittisen tärkeää jatkuvan toiminnan kannalta, ja kulutusjousto on merkittävässä roolissa tämän tasapainon ylläpitämisessä kustannustehokkaasti (Fingrid4, 2024).

Suomessa sähkön kulutus on perinteisesti tuettu tehotasapainon ylläpitämiseen käytettävillä reservimarkkinoilla, keskittyen erityisesti suurteollisuuteen. Kulutusjouston potentiaalia on edelleen mahdollista hyödyntää lisäämällä tarjontaa reservimarkkinoilla. Teollinen sähkönkulutus on myös joutunut hintaporrastamalla sähkönostotarjouksiaan vuorokausimarkkinoilla, edistäen kulutuksen ja tuo-



tannon tasapainoa (Fingrid2, 2024). Lisäksi loppukuluttajille tarjotaan nykyään erilaisia sopimusvaihtoehtoja, kuten tuntihinnoiteltu pörssisähkö, jotka mahdollistavat kustannussäästöjä kulutuksen ajoituksesta.

Kulutusjoustossa on verkkojen kannalta kriittinen haaste, joka liittyy sähkön hinnan vaihteluihin ja kulutuksen ajoittumiseen. Kun sähkön hinta laskee ja on markkinoilla halvempaa, kuluttajat ja palveluntarjoajat voivat ohjata kulutuksen siirtymään tähän ajankohtaan hyödyntäen alhaisempia kustannuksia. Jos suuri osa kuluttajista siirtää energiankulutuksensa samaan aikaan, se voi aiheuttaa odottamattoman suuria kuormahuippuja verkossa.

Vaikka kulutusjousto pyrkii tasapainottamaan kulutusta ja vähentämään valtakunnallisesti kuormitusta huippuaikoina, niin hallitsematon ja yhtäaikainen kulutus voi itse asiassa vaarantaa kantaverkkojen vakauden (Fingrid3, 2023). Hallitsematon kulutusjousto voi myös aiheuttaa haasteita jakeluverkkoyhtiölle esimerkiksi tilanteessa missä on alueellisesti hyvin kylmä, mutta tuulivoiman tuotanto on valtakunnallisesti korkealla tasolla (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024). Tämä voi johtaa sähkönjakelun häiriöihin ja jopa laajamittaisiin sähkökatkoksiin, mikäli verkon infrastruktuuri ei ole suunniteltu kestämaan tällaisia kuormituspiikkejä.

Kulutus- ja kapasiteettijoustop toteuttaminen edellyttää aggregaattorin läsnäoloa, jonka avulla voidaan solmia pitkäaikaisia sopimuksia joustop tarjoamiseksi. Aggregaattorit kokoavat pieniä kulutuksia yhteen ja muodostavat niistä suurempia joustokokonaisuuksia, jotka voidaan sitten tarjota sähkömarkkinapaikoille. Itsenäiset aggregaattorit, jotka eivät ole sähkönmyyjiä tai tasevastaavia, voivat toimia taajuusohjatuilla reservimarkkinoilla Suomessa (Pölönen, 2022).

Kuluttajan oma pientuotanto voidaan rinnastaa kulutusjoustop, mikäli se mukautuu markkinatilanteisiin, kuten korkeisiin sähkön hintoihin, ja sen avulla vähennetään kohteen sähkön ottamista verkosta (Motiva2, 2024). Tämä tarkoittaa, että kuluttajan pientuotanto toimii joustavasti markkinoiden tarpeiden mukaisesti, reagoiden esimerkiksi huippukulutuksen aikaisiin hintapiikkeihin tai tarjonnan vaihteluihin. Kun pientuotanto aktivoituu tällaisissa tilanteissa, se voi merkittävästi pienentää kohteen sähkön tarvetta yleisestä verkosta.

Yksi esimerkki tällaisesta pientuotannon hyödyntämisestä kulutusjoustop ovat rakennusten ja liiketilojen varavoimakoneet. Nämä varavoimakoneet voidaan käynnistää silloin, kun sähkön hinta on korkealla, jolloin ne tuottavat tarvittavan sähkön paikan päällä ja vähentävät näin kohteen riippuvuutta verkosta. Lisäksi tällainen kulutusjoustopon liittyvä pientuotanto tukee sähköverkon vakautta ja luotettavuutta. Varavoimakoneiden ja muiden vastaavien pientuotantolaitteiden käyttö joustavasti markkinatilanteen mukaan voi auttaa tasaamaan kysynnän ja tarjonnan vaihteluita, mikä puolestaan voi vähentää sähkökatkojen riskiä ja parantaa energian toimitusvarmuutta.

Kulutusjoustopon osallistuminen edellyttää usein investointeja, mutta pitkällä aikavälillä se voi olla kustannustehokasta niin kuluttajalle kuin yhteiskunnallekin. Sähkön hinnat pysyvät kohtuullisempina, kun kulutus ajoittuu hetkiin, joina sähköä on paljon tarjolla, eikä kalliita huippuvoimalaitoksia tarvitse käynnistää (Fingrid2, 2024).

Kulutusjousto voi osallistua kaikille markkinoille samalla tavalla kuin voimalaitokset. Esimerkiksi reservimarkkinoille osallistuminen voi tarkoittaa joustoon osallistuville toimijoille vain lyhyttä, muutama minuutin kestävä sähkötehon vähennystä verkosta tai mahdollisesti tunnin katkosta kerran vuodessa. Sähkölämmityksen käyttäjä tai sähköauton lataaja ei luultavasti edes huomaisi kulutusjoustoja. (Fingrid2, 2024).

Huolenaiheena on se, että verkon nykyinen kapasiteetti ja hallintajärjestelmät eivät välttämättä ole varustettu käsittelemään näin jyrkkiä ja äkillisiä muutoksia kulutuksessa (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024). Tämä edellyttää verkkoyhtiöltä ja sähkömarkkinoiden sääntelijöiltä ennakoivaa suunnittelua ja investointeja älykkääseen teknologiaan, kuten kehittyneempiin mittaus- ja ohjausjärjestelmiin, jotka pystyvät ennakoimaan ja hallitsemaan kulutuksen muutoksia reaaliajassa.

Kulutus- ja kapasiteettijoustopuolella ilmenee myös joitakin ongelmakohtia, jotka ovat vielä selvittettävää ennen tällaisen joustopuolen laajamittaista käyttöönottoa. Yksi näistä ongelmista koskee joustopuolen henkilökohtaisuutta: onko joustopuolen sopimus asiakaskohtainen vai kohdekohtainen (Pölonen, 2022)? Eli siirtykö joustopuolen sopimus automaattisesti vanhalta asiakkaalta uudelle asukkaalle vai pitääkö siitä neuvotella uudelleen uuden asukkaan kanssa? Tämä kysymys vaikuttaa joustopuolen saatavuuden varmistamiseen tulevaisuudessa. Lisäksi on tärkeää varmistaa, että joustopuolen saatavuus on riittävä määrällisesti tarpeen mukaan.

Markkinaehtoisen kulutusjoustopuolen toteuttamisessa voi piillä myös tulevaisuuden haasteita. Esimerkiksi, jos tehotariffi otetaan käyttöön huipputehojen leikkaamiseksi, niin kulutuksen ajoittaminen sähkön halvimmalle tunnille ei välttämättä ole tarpeeksi kannustavaa, mikäli korkeampien hetkellisten tehojen käytöstä joutuu maksamaan suurempaa tehomaksua (Pölonen, 2022). Kannattavuus on tapauskohtaista ja on riippuvainen tehomaksun suuruudesta ja tariffin laskutavasta. Pienellä tehomaksulla halpojen tuntien säästö on suurempi kuin tehomaksun vaikutus ja suuremmilla tehomaksuilla taas voi olla kannattavampaa porrastaa kuormia halvoille tunneille, jotta itse huipputeho jää pieneksi.

Yhtiön verkkoalueella on herättänyt useiden toimijoiden kiinnostuksen aiheet integroida teknologiaansa osaksi paikallista infrastruktuuria. Jossa niiden operatiivisen toiminnan yhteydessä syntyvä hukkalämpö voitaisiin hyödyntää kaukolämpöverkkoon siirrettynä. Tällaiset teollisuusmuodot, jotka keskittyvät muun muassa tiedon prosessointiin edullisen sähköenergian aikaan, näkevät merkittäviä taloudellisia etuja lämmön myynnissä. Tämä parantaa niiden toiminnallista tehokkuutta ja taloudellista tuottavuutta. Kuitenkin yhtiön verkostot kohtaavat rajoitteita saatavilla olevassa kapasiteetissa, joka rajoittaa laskentateknologioiden liittämistä. Suuri sähköntarve, jonka nämä teknologiat edellyttävät, ylittää nykyisten sähköasemien kapasiteetin. Silloin sähköasemat jäävät nopeasti liian pieniksi vastaamaan kasvavaan energian kysyntään. Lisäksi kaukolämpöverkosto kärsii vastaavanlaisista ongelmista, sillä sitä ei ole suunniteltu vastaanottamaan ja hallinnoimaan suuria lämpömääriä, jota olisi tarjolla (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024).

KMEV Oy käyttää Energiateollisuuden suosittamia verkkopalveluehtoja. Uusimmassa, toukokuussa 2024 julkaistussa verkkopalveluehdossa mainitaan, että ennakkoselvitystä vaativia laitteistoja ovat esimerkiksi sähköautojen latausasemat, palvelinkeskukset, sekä generaattorit ja muut jännitettä,

energiaa tai oikosulkutehoa syöttävät laitteet, joihin sisältyy muun muassa tuuli-, aurinko-, vesi- ja bioenergia.

Sähkömarkkinalain mukaan verkonhaltija on velvollinen tarjoamaan liittyjälle pyynnöstä perusteellisen ja yksityiskohtaisen arvion liittymiskustannuksista sekä arvion liittymän toimitusajasta. Liittymän on oltava kytkettynä sähköverkkoon 24 kuukauden sisällä liittymissopimuksen allekirjoituksesta, mikäli verkonhaltijan tarvittavat investoinnit verkkoon voidaan toteuttaa kohtuullisesti ja syrjimättömästi suhteessa muihin verkon käyttäjiin tässä ajanjaksoissa. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Kuitenkin sähkömarkkinalain 21 § pykälää ”Verkonhaltijan on kohtuullista korvausta vastaan myytävä sähkönsiirto- ja jakelupalveluja niitä tarvitseville sähköverkkonsa siirtokyvyn rajoissa” (Sähkömarkkinalaki, 2013) tulkittaessa voidaan kuitenkin todeta, että jakeluverkonhaltijan ei tarvitse liittää verkkoonsa kaikkia pyytäjiä. Esimerkiksi uuden sähköaseman rakentaminen suuren kuluttajan liittämiseksi voi olla riittävä peruste kieltäytyä liittämisestä (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024).

Joustopalvelujen hankintaehtojen on oltava tasapuolisia ja syrjimättömiä joustopalvelujen tuottajille eikä niissä saa olla perusteettomia tai kilpailua ilmeisesti rajoittavia ehtoja. (Sähkömarkkinalaki, 2013)

Yhden tai kahden liittymän vuoksi ei vaikuta kohtuulliselta tehdä investointeja sähköasemaan, jotka ylittävät merkittävästi liiketoiminnan liikevaihdon. Ennen tällaisen mittavan taloudellisen sitoumuksen tekemistä on tärkeää arvioida huolellisesti liittymien aiheuttamat riskit. Mahdolliset kapasiteettijouston liittyvät tehoa rajoittavat vaatimukset on sovellettava kaikille liittyjille tasapuolisesti.

### 3.2 Energiavarastot

Jakeluverkon tehonsiirrossa tapahtuvat suuret kausittaiset vaihtelut muodostavat ongelman jakeluverkkoyhtiöille. Verkon komponentit mitoitetaan perinteisesti verkossa siirrettävän suurimman tehon mukaan, mikä johtaa usein siihen, että komponentit ovat vajaakäytöllä suuren osan ajasta (Alam. M. J. E., 2012). Tämä ei ole kustannustehokasta eikä optimaalista verkon mitoituksen kannalta, sillä ideaalitalanteessa kuormitus vaihtelisi mahdollisimman vähän. Kylmillä keleillä jakeluverkko voi olla lähellä mitoitusansa, kun taas lämpimällä säällä verkon kapasiteetista on käytössä vain murto-osa (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024).

Sähkövarasto mahdollistaa verkon kuormituksen tasaamisen siten, että varastoa ladataan silloin, kun kulutus on matalalla, ja varastoitua energiaa syötetään takaisin verkkoon huippukuorman aikana. Tämä ei ainoastaan paranna komponenttien käyttöastetta, vaan myös vähentää tarvetta suurille ylikapasiteeteille, mikä säästää kustannuksia ja parantaa verkon toimintavarmuutta. (Alam. M. J. E., 2012)

Lisäksi sähkövarasto voi auttaa ylituotantotilanteissa, joissa tuotetun tehon ja kulutuksen välillä on epätasapaino. Voimalaitoksilta verkkoon siirrettävä teho voidaan tasata sähkövaraston avulla, mikä tasapainottaa verkkoa ja vähentää tarvetta tuotannon säätöön (Alam. M. J. E., 2012). Sähkövaraston hyödyntäminen näin monipuolisesti tukee siirtymistä joustavampaan ja kestävämpään energiajärjestelmään.

Lähtökohtaisesti verkonhaltija ei saa harjoittaa energiavarastoliiketoimintaa. (Sähkömarkkinalaki, 2013). Kuitenkin Energiavirasto voi verkonhaltijan hakemuksesta myöntää luvan tällaisten energia-varastojen omistamiseen, kehittämiseen, hallinnointiin ja käyttöön, jos energiavarastot ovat osa verkonhaltijan kiinteitä verkkokomponentteja. Lainsäädännön tarkoituksena on kuitenkin vapaiden markkinoiden käyttö, missä energiavarasto ostetaan.

Eräs energiavaraston hyödyntämisessä käytetty lähestymistapa on Elenian ja Fortumin malli, jossa akkuenergiavarasto on asennettu Elenian keskijänniteverkon haaraan. Kun verkko toimii normaalisti, energiayhtiö eli Fortum tarjoaa akkukapasiteettia FCR-N markkinoille. Jos syöttävä verkko kuitenkin vikaantuu odottamattomasti, niin akuston sen hetkinen varaustila siirtyy verkkoyhtiön käyttöön saarekkeen syöttämistä varten. Koska akuston varaustila riippuu verkon taajuuden muutoksista, ei voida taata, että akkukapasiteetti riittäisi saarekekäyttöön kaikissa tilanteissa. Pohjoismainen taajuusalue on kuitenkin tilastollisesti pysynyt melko vakaana, joten on todennäköistä, että akustossa olisi jonkin verran varausta tällaisessa tilanteessa. (I. Alaperä, 2019)

Verkkoyhtiöllä on myös mahdollisuus ostaa akuston koko kapasiteetti käyttöönsä erityistilanteissa, kuten myrskyvaroituksen yhteydessä. Tällöin akusto ei osallistu FCR-N markkinalle, vaan se ladataan täyteen energiayhtiön toimesta ja laitteisto jää odottamaan verkkoyhtiön mahdollista käyttötarvetta. Jakeluverkon vioista suurin osa johtuu poikkeuksellisista sääolosuhteista, mikä tekee vioille alttiit ajanjaksot melko hyvin ennustettaviksi. (I. Alaperä, 2019)

Elenian Kurun pilottikohteessa laitteisto eristää keskijännitehaaran automaattisesti verkon vikaantuessa ja siirtyy saarekekäyttötilaan. Tämä mahdollistaa sen, että keskijännitehaaran asiakkaat kokevat vain lyhyen pikajälleenkytkennän mittaisen keskeytyksen. Kun syöttävän verkon vika on korjattu, laitteisto synkronoi itsensä takaisin verkkoon ilman, että asiakkaat kokevat minkäänlaista katkoa. Laitteisto toimii myös keskijännitehaaran vikatilanteissa verkkokatkaisijana, mikä vähentää keskijännitehaaran alkupäässä olevien asiakkaiden vikamäärää, jos vika on katkaisijan suojausalueella. Tämä tekee laitteistosta hyödyllisen verkkoyhtiölle myös tilanteissa, joissa saarekekäyttöön ei päästä. (Kainulainen, 2019)

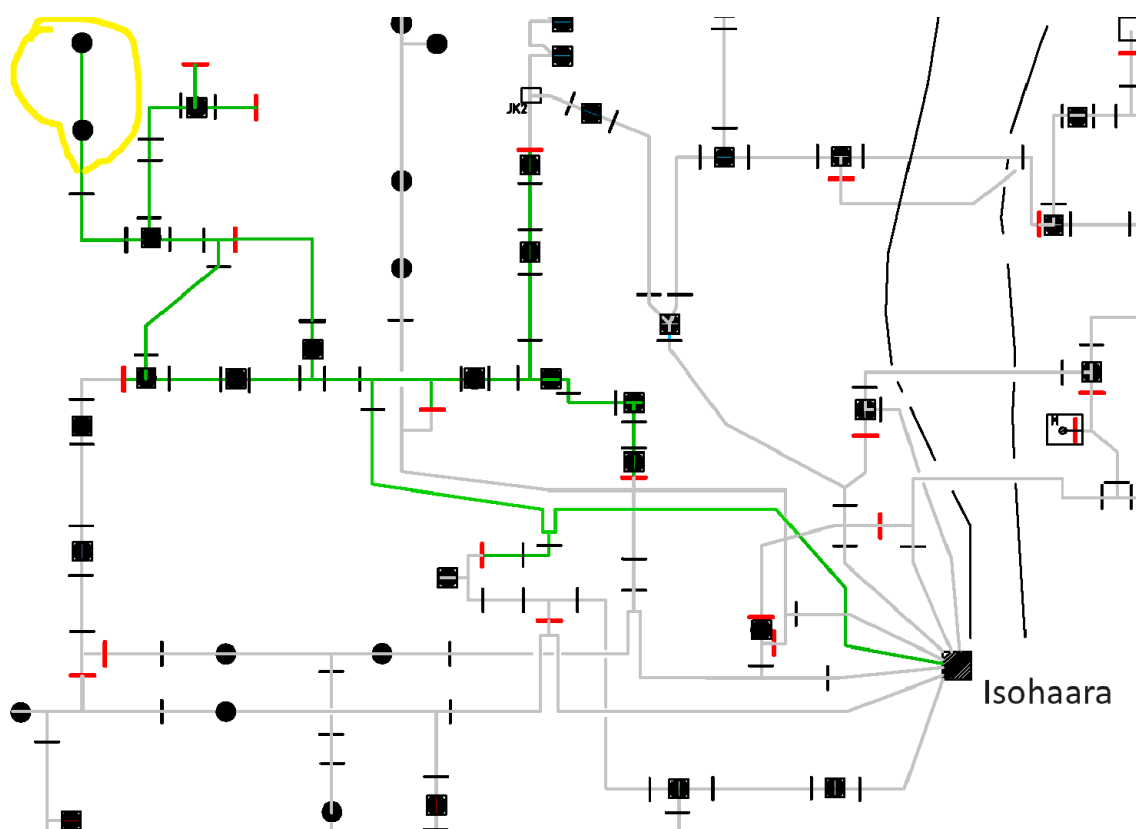
Energiavarastoja voidaan kytkeä jakeluverkkoon sekä keskijännite- että pienjännitetasolla, mikä tarjoaa jakeluverkkoyhtiöille joustavuutta niiden sijoittelussa ja käytössä. Yhtiöt voivat sijoittaa näitä varastoja keskitetysti joko sähköasemille tai jakelumuuntajille, mikä mahdollistaa tehokkaan energiahuollon ja parantaa verkon toimintavarmuutta. (Poudineh, 2014).

Asiakkaat tulevat luultavasti omistamaan jatkossa yhä enemmän sähkövarastoja (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024). Esimerkiksi sähköautojen akut ja oman pientuotannon yhteydessä hankitut varastot lisäävät merkittävästi kotitalouksien ja yritysten varastokapasiteettia. Työn kirjoitushetkellä akustoja on kahdessa kulutuspisteessä yhtiön jakeluverkon alueella. Tämä on osa laajempaa kehityssuuntausta kohti hajautettua energiantuotantoa, jossa yksittäiset käyttäjät voivat sekä tuottaa että varastoida sähköä omiin tarpeisiinsa.

Yhtiön ensisijaisena tavoitteena on perinteiseen tyyliin korjata huonokuntoiset ja vanhat linjat, sillä niiden korjaaminen on väistämätöntä eikä sitä voida lykätä vaihtoehtoisilla tavoilla, kuten energiavarastoilla. (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024)

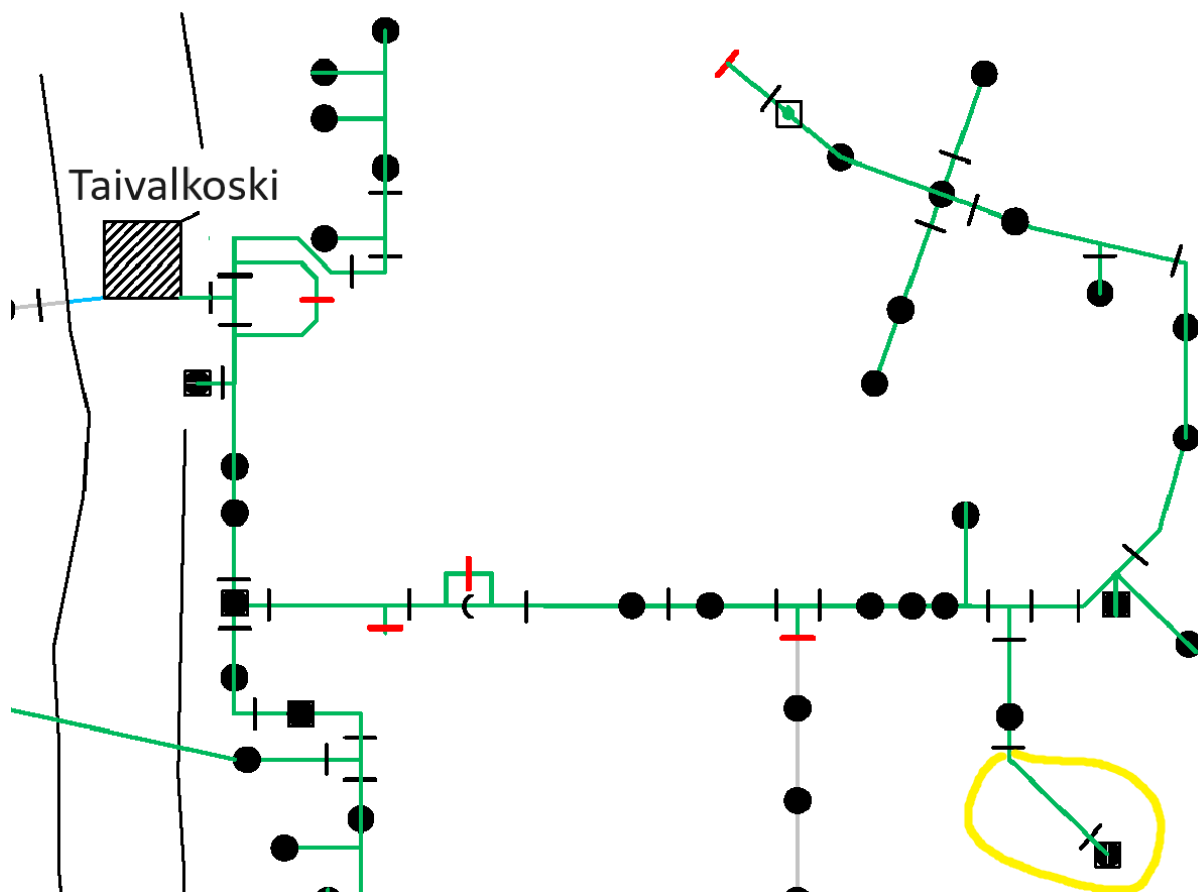
Vaikka energiavarastoihin suhtaudutaan avoimesti, yhtiö ei kuitenkaan pyri olemaan ensimmäisten joukossa niiden käyttöönotossa. Sen sijaan odotetaan tekniikan laajempaa käyttöönottoa ja kokemuksia sekä tilastotietoa sen toimivuudesta ja kustannuksista. (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024)

Kun tarkastellaan sopivia sijoituspaikkoja energiavarastolle, joka toimii varavoiman roolissa, on ajatuksena rajata ensin pois sellaiset alueet, jotka ovat muiden jakeluverkonhaltijoiden varayhteyksien perässä ja joita ei saa rengasyhteyteen minkään muun lähdön kanssa. Tämän seurauksena löytyi kolme potentiaalista aluetta, eli Kallin haara (**Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.**, Ulkoilukivaloiden haara ( **Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.** ja Elijärven haara ( **Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.**



Kuva 4. Kallin haara (KMEV sisäinen 2024)

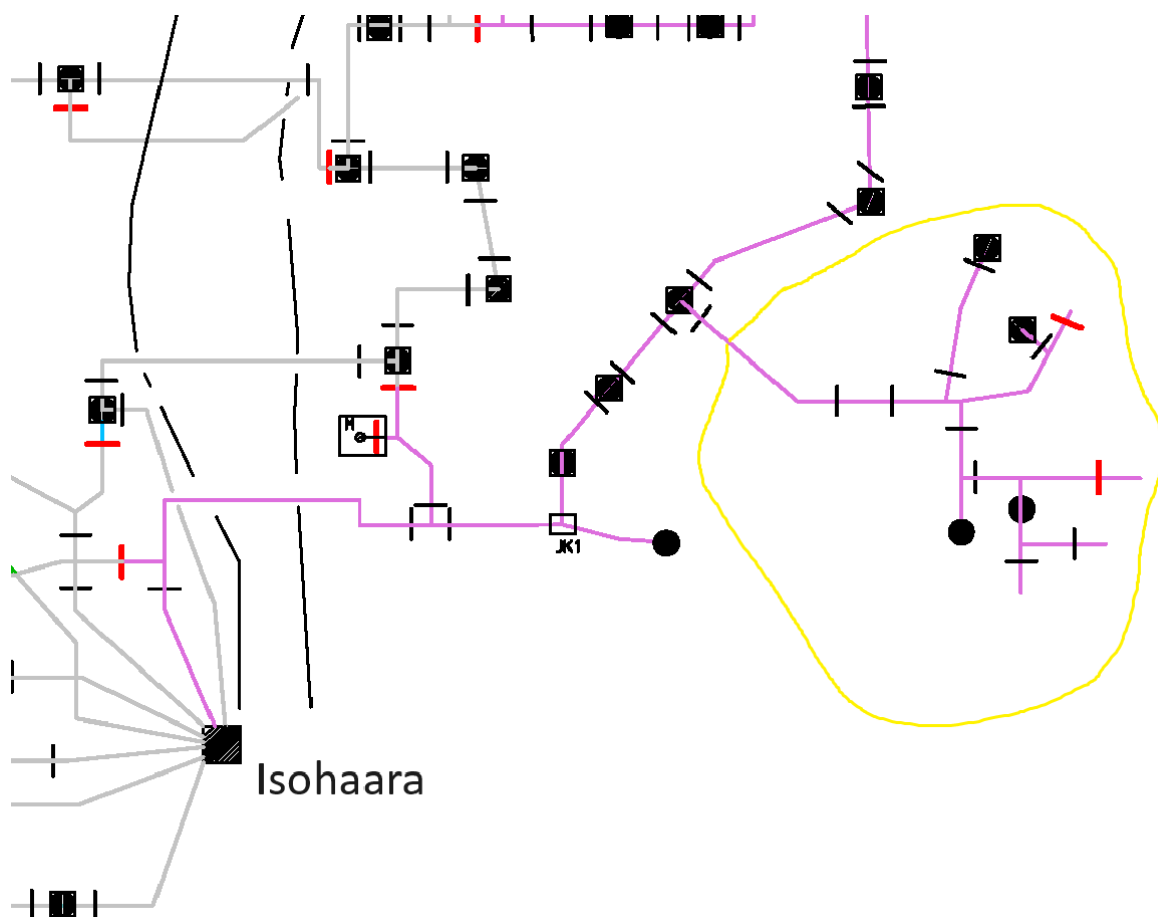
Kallin haara sijaitsee teollisuusalueen kanssa samalla johtolähdöllä, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon energiavaraston sijoituspaikaksi. Energiavarasto tässä sijainnissa voisi tehokkaasti keventää teollisuusalueen, varsinkin sähköautojen latauspisteistä johtuvaa hetkittäin kovaakin kuormitusta. Energiavarasto tarjoaisi varavoiman kaltaisen ratkaisun alueella, jossa kriittinen energiankulutus on merkittävä. Tällaisessa käytössä energiavarasto varmistaa jatkuvan sähkönsaannin kriittisille kuluttajille sähköverkon häiriötilanteissa. Tällä johtohaarella keskijännitelinja kulkee avojohtona metsän siimeksessä, jolloin energiavarasto lisäisi merkittävästi johdon päässä olevien kuluttajien sähkönsaannin luotettavuutta.



Kuva 5. Ulkoilukivaloiden haara (KMEV sisäinen 2024)

Ulkoilukivaloiden haaran sijainti tarjoaa potentiaalia energiavarastolle, erityisesti vikatilanteissa, jolloin varasto voisi toimittaa sähköä asiakkaille keskeytyksettä. Alue sijaitsee laajemman metsäalueen takana, ja sen muuttaminen toimitusvarmaksi 36 tunnin sisällä vaatisi kuuden kilometrin mittaisen uuden keskijännitelinjan, jossa johdot sijoitettaisiin tien laitaan. Vaihtoehtoisesti, jos johdot uusitaan nykyiselle paikalleen käyttäen 1 kV linjaa tai päällystettyä johtoa, tarvitaan vajaan kolmen kilometrin verran uusintaa.

Koska kaupallisten energiavarastopalveluiden vertailua ei ole mahdollista toteuttaa, niiden puutteen vuoksi, niin tämän kohteen laskennallinen vertailu perustuu pitkälti arvioihin (KMEV Oy, 2024). Käytämällä hyödyksi nykyistä johtoaukkoa ja vuonna 2010 uusittuja pylviä, voidaan toteuttaa useita samanarvoisia ratkaisuja käyttäen hintoina Energiaviraston yksikköhintaluetteloa. Tällaisia ratkaisuja ovat esimerkiksi 1 kV-linja, päällystetty keskijännitelinja sekä muuntopiiriin integroitu generaattori. Ylläpitokustannusten vertailua ei ole tässä yhteydessä tehty, sillä yrityksellä ei ole aiempaa kokemusta 1 kV-linjoista. Tämän puutteen vuoksi ylläpitokulujen ja kannattavuuksien arviointi jää tulevaisuuden selvitysten varaan.



Kuva 6. Eljärvän haara (KMEV sisäinen 2024)

Eljärvän haarassa asiakkaat ovat harvassa, mutta heidän tarpeensa ovat kriittisiä, kuten vedenottamot ja kaivosteollisuus. Koska johtohaaran tehot ovat muuhun verkkoon nähden suuret, niin energiavarasto voisi tarjota tehokkaan ratkaisun kuormantasaukseen. Toisaalta alueen kriittisimmät kuluttajat on jo varustettu varavoimalla, mikä vähentää painetta verkon uusinnalle.

Kun pohditaan energiavaraston roolia kapasiteetin tasauksessa, niin erityisesti yhtiön teollisuuslähtöjen yhteydessä, jossa sähköajoneuvojen lataustoimintaa on reilusti, energiavarasto voisi tarjota merkittäviä hyötyjä lataustoiminnan tehojen kasvaessa. Yhtiössä oli myös näkemys, että energiavarastoja voitaisiin käyttää latureiden puskurina, kunhan asiasta saadaan lisää yleisiä kokemuksia (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024).

Energiavaraston integrointi tällaiseen lähtöön voi tuoda luotettavuutta, etenkin korkean energiankulutuksen aikoina, kuten talven pakkasjaksoina. Tällöin päämuuntajan kuormitus on suurimmillaan, ja energiavarasto voisi toimia tehokkaana puskurina, tasoittaen kulutushuippuja ja vähentäen kuormitusta päämuuntajalta. Muina aikoina, kun varavoimaa ei tarvita välittömästi verkon vakauden ylläpitämiseen, energiavarasto voi osallistua vapaasti esim. Fingridin FCR-D, FCR-N tai FFR reservimarkkinoille (Fingrid1, 2024).

Vaikka on epätodennäköistä, että alueen teollisuustoimijoiden sähkönkulutus olisi äärimmäisen kylmän sään aikana huipussaan, voisi silti olla järkevää harkita ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä. Tässä yhteydessä jakeluverkkoyhtiön olisi suositeltavaa neuvotella teollisuustoimijoiden kanssa mahdollisuudesta rajoittaa laitteiston käyttöä erityisen kylmien sääolosuhteiden aikana. Tällä turvattaisiin

sähkön saanti kriittisissä tilanteissa, varmistaen näin sekä teollisuuden että laajemman yhteisön sähkötarpeiden täyttymisen ilman keskeytyksiä.

### 3.2.1 Kiinteistöakustot, Behind-the-meter (BTM)

Behind-the-Meter (BTM) -akuilla tarkoitetaan kiinteitä varastointijärjestelmiä, jotka sijaitsevat asiakkaiden tiloissa ja ovat kytketty sähkönjakelujärjestelmässä asiakkaan energiamittarin taakse. Järjestelmät voivat sisältää aurinkopaneeleja, tuulivoimaloita, energian varastointijärjestelmiä kuten akkuja sekä älykkäitä energiankulutuksen hallintajärjestelmiä (IRENA, 2019). Näiden järjestelmien avulla kuluttajat voivat tuottaa omaa sähköään, varastoida sitä myöhempää käyttöä varten ja optimoida energiankulutustaan reaaliaikaisesti. Näiden järjestelmien kautta tuotettu ja varastoitu energia syötetään suoraan asiakkaan omaan käyttöön, jolloin energian kulutus ei rekisteröidy energiamittarissa eikä siitä synny maksua (Sifat Amin, 2020). Tämä paikallinen energianhallinta mahdollistaa suuremman energiansaannin varmuuden ja riippumattomuuden sähköverkosta.

Sähkön saannin varmuus on merkittävä etu. BTM-järjestelmät tarjoavat varmuuskopion sähkökatkojen varalle, mikä on erityisen tärkeää alueilla, joissa sähkökatkot ovat yleisiä. Energiavarastot voivat pitää kodit ja yritykset toiminnassa jopa silloin, kun sähköverkko ei pysty toimittamaan sähköä (Sifat Amin, 2020). Tämä lisää energiansaannin luotettavuutta ja vähentää riippuvuutta keskitetyistä energialähteistä. Lisäksi energian varastointijärjestelmät, kuten akustot, mahdollistavat ylimääräisen energian varastoinnin myöhempää käyttöä varten, jolloin kuluttajat voivat hyödyntää omaa energiaansa myös silloin, kun aurinko ei paista tai tuuli ei puhalla (IRENA, 2019).

BTM-akkuja voidaan sijoittaa sekä kaupallisten, teollisuus- että yksityisasiakkaiden tiloihin. BTM-akut ovat tyypillisesti pienimuotoisempia kuin suuret sähköjärjestelmän säätöön tarkoitetut akkuvarastot, ja niiden teho vaihtelee yleensä muutamasta kilowatista useampaan megawattiin (IRENA, 2019).

BTM-järjestelmien käyttöönotossa on kuitenkin omat haasteensa. Teknologisten haasteiden lisäksi, kuten järjestelmien yhteensovittaminen ja korkeiden alkuinvestointien hallinta, taloudelliset ja sääntelyyn liittyvät esteet voivat hidastaa kehitystä. Kustannusten jakamisen mallit ja valtion tukiohjelmat voivat kuitenkin auttaa näiden haasteiden ratkaisemisessa. Lisäksi rahoitusvaihtoehdot, kuten leasing-sopimukset voivat tehdä BTM-järjestelmistä taloudellisesti saavutettavampia kuluttajille (IRENA, 2019).

Tulevaisuuden näkymät BTM-järjestelmille ovat lupaavat. Teknologian kehitys ja innovaatiot, kuten kehittyneemmät akkuteknologiat ja älykkäät energianhallintajärjestelmät, parantavat BTM-järjestelmien tehokkuutta ja kustannustehokkuutta. Markkinatrendit osoittavat lisääntyvää tietoisuutta ympäristöasioista ja pyrkimyksiä kohti hiilineutraaliutta, mikä lisää BTM-järjestelmien kysyntää. Kansalliset ja kansainväliset sääntelyt ja politiikat, kuten uusiutuvan energian tavoitteet ja kannustimet, ohjaavat myös BTM-järjestelmien kehitystä ja käyttöä (IRENA, 2019).

Keminmaan jakeluverkon alueella on asennettu muutamia akustoja asiakkaiden tiloihin, erityisesti pientuotantokohteisiin. Näiden akustojen kapasiteetti on noin 10 kWh, mikä mahdollistaa energian varastoinnin ja käytön tehokkaasti erityisesti pienempien tuotantolaitosten tarpeisiin.



Teknisten suojausten osalta on huomioitavaa, että akustoihin liitetyt laitteet ovat toimineet moitteettomasti sähkökatkojen aikana. Tämä tarkoittaa, että sähkökatkosten sattuessa laitteet ovat pystyneet jatkamaan toimintaansa, ilman katkoksia tai häiriöitä. On erityisen tärkeää huomata, että näiden akustojen käyttö ei ole aiheuttanut jakeluverkkoon syöttöä sähkökatkosten aikana, mikä mahdollistaa verkon turvallisen huollon.

### 3.2.2 Ajoneuvot energiavarastona, Vehicle-to-Grid (V2G)

Vehicle-to-Grid (V2G) teknologialla tarkoitetaan sähköenergian siirtämistä ajoneuvojen akustoista takaisin sähköverkkoon älykkään lataustekniikan avulla (Polestar, 2024). Tämä innovatiivinen ratkaisu luo uusia mahdollisuuksia kehittyvien teknologioiden myötä älykkäissä energiasysteemeissä ja energiamarkkinoilla. V2G-teknologiassa suurikapasiteettisia akkuja hyödynnetään sähköajoneuvojen virtalähteinä, mutta niitä voidaan tarvittaessa käyttää myös sähköverkkojen kuormituksen hallintaan ja tasapainottamiseen sekä pullonkaulojen lieventämiseen (Polestar, 2024).

Perinteiset sähköajoneuvojen latausteknologiat toimivat yksisuuntaisesti, eli sähköverkosta ajoneuvoon -periaatteella, jossa akkujen tehoa käytetään vain ajamiseen. Kuten kuvassa 7. havainnollistetaan, V2G-teknologia mahdollistaa kaksisuuntaisen energiansiirron (ABB, 2024). Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi sähköverkon tehontarpeen noustessa, ajoneuvojen täyteen ladatuista akuista pystytään syöttämään varastoitua energiaa takaisin verkkoon (ABB, 2024). Tämä energiansiirto auttaa tasapainottamaan sähköverkon kuormitusta ja parantamaan sen vakautta.

V2G eroaa muista vehicle-to-x-teknologioista, kuten Vehicle-to-Home (V2H) ja Vehicle-to-Load (V2L). V2H-teknologia mahdollistaa sähköauton käytön kodin varavoimana. Tämä tarkoittaa, että sähköauto voi syöttää energiaa kotitalouden laitteille sähkökatkojen aikana, mutta se ei palauta energiaa takaisin sähköverkkoon. V2L on yksinkertaisempi teknologia, joka mahdollistaa sähköauton käytön erilaisten laitteiden, kuten sähköpolkupyörien tai työkalujen, virtalähteenä (Polestar, 2024).



Kuva 7. V2G periaate (Polestar, 2024)

Sähköautojen määrän odotetaan kasvavan merkittävästi tulevina vuosina, mikä tekee niistä yhä tärkeemmän osan sähköverkkoa (ABB, 2024). Tämä muutos edistää älykkäämpien ja integroitujen energijärjestelmien kehitystä. V2G-tekniikalla voi olla merkittävä rooli ilmastomuutoksen torjumisessa, energialähteiden ja verkon vakauden hallinnassa sekä energiamarkkinoiden ja liiketoimintamallien kehittämisessä.

Polestarin Göteborgin pilottiohjelman aikana ryhmä Polestar 3:n omistajia saa mahdollisuuden myydä sähköautojensa energiakapasiteettia julkisilla energiamarkkinoilla virtuaalivoimalaitoksen (VPP) kautta. Tämä tekniikka mahdollistaa autokannan akkukapasiteetin ja saatavuuden suunnittelun aiempien tietojen perusteella energiantarpeen mukaan. Kun Polestar 3:n omistaja kytkee autonsa lataukseen ja täyttää viikko-ohjelman, järjestelmä analysoi, milloin autoa tarvitaan ja varmistaa, että se on aina käyttövalmiina. Samanaikaisesti järjestelmä optimoi energian myynnin ja varastoinnin, mikä maksimoi taloudelliset hyödyt omistajalle (Polestar, 2024).

Virtuaalivoimalaitos yhdistää useiden sähköautojen akkukapasiteetin yhdeksi suureksi, hallinnoiduksi energiavarastoksi, eli toimii aggregaattorina (ABB, 2024). Tämä tarkoittaa, että sähköautoja voidaan käyttää energian varastointiin ja jakamiseen sähköverkon tarpeiden mukaan. Kun energian kysyntä on alhainen, autot latautuvat, ja kun kysyntä on korkeimmillaan, autot voivat palauttaa energiaa verkkoon (Polestar, 2024). Asiakkaan ei tarvitse siis olla tekniikka-asiantuntija hyötyäkseen virtuaalivoimalaitoksesta. Kaikki monimutkaiset toiminnot, kuten energian varastointi, myynti ja verkon tasapainottaminen, hoidetaan automaattisesti taustalla (Polestar, 2024). Tämä tekee prosessista erittäin käyttäjäystävällisen ja saumattoman.

Vaikka V2G-tekniikka on lupaava, sen käyttöönotto on vielä alkuvaiheessa useiden haasteiden vuoksi. Nykyiset akut eivät välttämättä kestä toistuvaa lataus-purku-sykliä ilman merkittävää suorituskyvyn heikkenemistä (ABB, 2024). Kannattavien ja toimivien liiketoimintamallien kehittäminen on edelleen kesken. Lisäksi lainsäädännölliset kysymykset ja puutteet standardoinnissa hidastavat tekniikan laajamittaista käyttöönottoa (ABB, 2024).

Vehicle-to-Grid (V2G) tekniikka edustaa merkittävää askelta kohti älykkäämpiä ja kestävämpiä energijärjestelmiä. Sen avulla sähköautojen akut voivat toimia sekä ajoneuvojen virtalähteinä että energian varastointilaitteina, jotka tukevat sähköverkon toimintaa ja tasapainoa. Tekniikan kehitys ja laajamittainen käyttöönotto kohtaavat vielä haasteita, mutta potentiaaliset hyödyt ovat huomattavat niin ympäristön, energijärjestelmien kuin taloudenkin kannalta (ABB, 2024).

### 3.3 Varavoima

Generaattorit voivat toimia arvokkaana tukena pienjänniteverkoille, erityisesti tilanteissa, joissa verkko on alttiina häiriöille tai jossa on riski pidemmistä sähkökatkoista. Generaattorit tarjoavat välitöntä varavoimaa sähkökatkojen aikana, mikä on kriittistä erityisesti sairaaloille, lämpölaitoksille ja muille toiminnoille, joissa jatkuva sähkönsaanti on elintärkeää. Pienjänniteverkon yhteydessä generaattorit voivat automaattisesti käynnistyä häiriötilanteissa, minimoiden sähkönjakelun keskeytykset ja suojaten herkkiä laitteita jännitteen vaihteluilta.

Vaikka generaattoreiden hankinta ja ylläpito saattavat vaatia alkuinvestointeja, niiden käyttö voi säästää kustannuksia pitkällä aikavälillä, erityisesti vähentämällä katkojen aiheuttamia taloudellisia

menetyksiä. Lisäksi generaattorit voivat toimia osana kysyntäjoustoratkaisuja, mikä voi tarjota taloudellisia hyötyjä sekä kantaverkolle että loppukäyttäjille. (Enegia: Hietaoja Juha, 2015) Generaattorit mahdollistavat lisäkapasiteetin tuomisen verkkoon huippukuormitusajankohtina, jolloin sähkön kysyntä ylittää normaalin tarjonnan. Tämä ei ainoastaan auta välttämään ylikuormitusta verkkoon, vaan myös mahdollistaa joustavamman reagoinnin äkillisiin sähkökulutuksen nousuihin.

Pienemmissä mittakaavoissa tai alueilla, joilla verkon rakentaminen säävarmaksiksi ei ole taloudellisesti perusteltua, generaattorit voivat olla kustannustehokkaampi vaihtoehto. Ne mahdollistavat verkon luotettavuuden vikatilanteessa ilman, että on investoitava raskaasti verkostoon. Varavoiman käytön mahdollisuutta linjan uusimisen vaihtoehtona on syytä harkita erityisesti Kallin haarassa ja Ulkoilukivaloiden haarassa. Nämä alueet ovat aiemmissa kappaleissa mainittu potentiaalisiksi kohteiksi energiavarastoille paikkoina, joissa linjojen täydellinen uusiminen voi olla taloudellisesti ja logistisesti haastavaa. Näissä haaroissa varavoiman asentaminen ennaltaehkäiseväksi toimenpiteeksi voi tarjota vaihtoehdon, joka voi parantaa sähköverkon luotettavuutta kustannustehokkaasti mahdollisissa sähkökatkoissa.

Varavoima voidaan toteuttaa myös kevyemmin näille alueille varustamalla muuntamot valmiudella ottaa vastaan generaattorin syöttö. Tämä mahdollistaa joustavan reagoinnin suurempiin vikatilanteisiin, jolloin alueelle voidaan toimittaa liikuteltava generaattori sähkönsyötön turvaamiseksi. Tällainen järjestely minimoi infrastruktuuriin kohdistuvat investoinnit samalla kun se maksimoi käytettävissä olevien resurssien tehokkuuden ja varmistaa sähkönjakelun jatkuvuuden kriittisissä tilanteissa. Ongelmakohtaksi tällaisessa ratkaisussa tulee vikatilanteessa, kun joudutaan sitomaan verkon vianetsinnän sijasta miehistö viemään ja asentamaan varavoimaa muuntamolle. (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024)

Vikatilanteessa on tärkeää luoda selkeä tilannekuva. Erityisesti alueilla, jotka kuuluvat 36 tunnin keskeytysluokkaan, tämä ajanjakso tarjoaa mahdollisuuden arvioida, vaatiiko vian korjaus pidemmän ajan. Mikäli näin on, generaattorin sijoittaminen verkon haaran päähän voi tarjota lisäaikaa vian korjaukseen. Tämä mahdollistaa myös työresurssien tehokkaamman kohdentamisen muille alueille verkossa, sillä generaattori huolehtii vikapaikan takana olevien asiakkaiden sähkönsaannista.

Verkon kriittisimmät osat on jo varmistettu varavoimalla, joka kattaa muun muassa vedenottamot, terveyskeskuksen ja lämpövoimalan. Tämä järjestely mahdollistaa sen, että nämä elintärkeät toiminnot voivat jatkaa operointiaan sähkökatkoksen aikana, mikä turvaa yhteiskunnan peruspalveluiden jatkuvuuden. Lisäksi varavoiman käyttö strategisesti tärkeissä pisteissä vapauttaa viankorjauskapasiteettia keskittymään varsinaisen sähkövikatilanteen ratkaisemiseen.

Yhtiö ei lähtökohtaisesti vastusta varavoiman käyttöä verkon toimitusvarmuuden parantamiseksi, mikäli sijoituspaikka on asianmukainen. Kuitenkin teknisten asiantuntijoiden haastatteluiden perusteella, varavoiman käyttöä edullisempaan vaihtoehtona verkkoinvestoinneille kyseenalaistettiin. (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024)

### 3.4 Mikroverkot

Mikroverkot ovat pieniä ja hajautettuja osia laajemmasta sähköverkosta, jotka toimivat joko tasa- tai vaihtojännitteellä. Ne koostuvat yhteen kytketyistä kuormista ja paikallisista energiaresursseista.

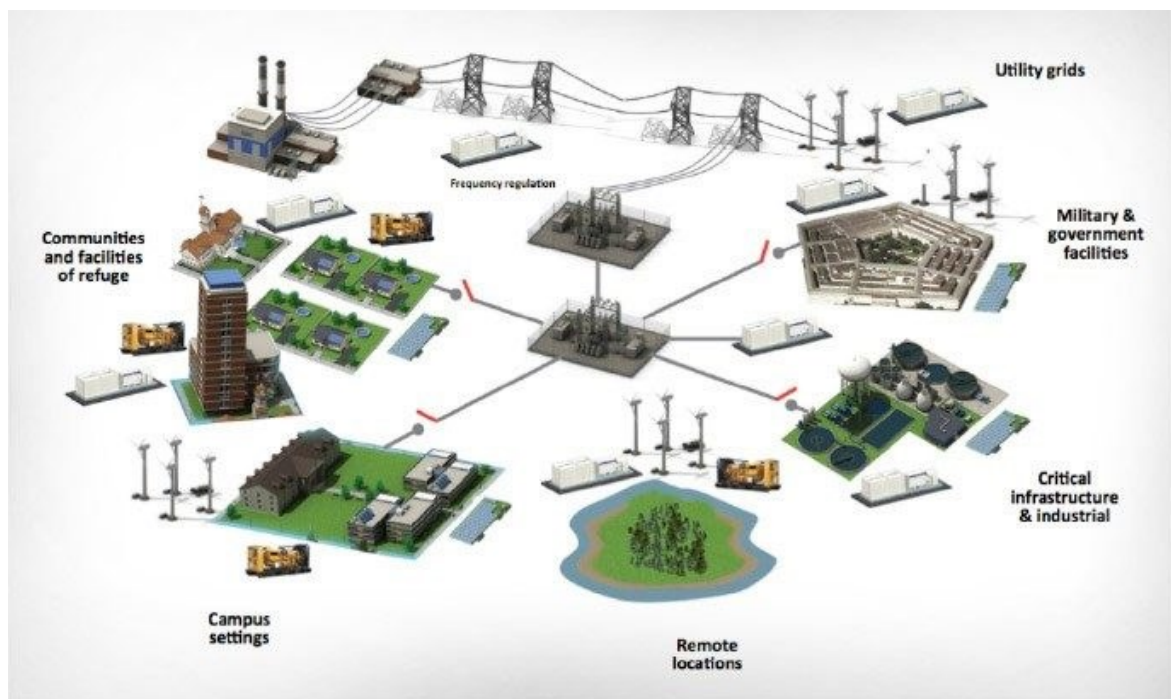
Mikroverkolla on tyypillisesti yksi liityntäpiste jakeluverkkoon, mutta sen ainutlaatuinen ominaisuus on kyky toimia itsenäisesti erillään pääverkosta. Tämä saareketoiminto aktivoituu, kun mikroverkko irrottautuu pääverkosta, ja se edellyttää, että verkko on omavarainen eli kykenee tuottamaan ja hallitsemaan kaiken tarvitsemansa energian itsenäisesti. (Enea Consulting, 2017)

Saarekekyky tarkoittaa, että mikroverkko voi suojautua laajemman verkon häiriöiltä ja tarjota parempaa sähkön toimitusvarmuutta ja -laatua mikroverkon alueella. Mikroverkot sisältävät yleensä erilaisia hajautettuja energialähteitä, kuten aurinkopaneeleita, tuulivoimaa ja biokaasuvoimaloita, sekä energian varastointiratkaisuja, kuten akustoja. Näiden avulla mikroverkko voi varastoida energiaa vähäisen kulutuksen aikana ja käyttää sitä huippukulutuksen aikana tai sähkökatkosten yhteydessä (Enea Consulting, 2017). Nämä mahdollistavat myös pienimuotoisen sähköntuotannon, esimerkiksi taloyhtiöissä, maataloilla ja kotitalouksissa, ja nämä pienet tuottajat voivat myydä ylimääräisen sähkön takaisin verkkoon.

Seuraavalla sivulla kuvassa 7. esitetään havainnollinen esimerkki mikroverkosta. Tämä järjestelmä koostuu useista kiinteistöistä, jotka ovat kytketty toisiinsa ja jakeluverkon runkoon liittymispisteen kautta. Heti liittymispisteellä sijaitsee energiavarasto, joka on kriittinen komponentti mikroverkon toiminnan kannalta. Tämä varasto mahdollistaa niin sanotun saarekekäytön, mikä tarkoittaa, että mikroverkko voi toimia itsenäisesti, irrotettuna suuremmasta jakeluverkosta esimerkiksi sähkökatkon aikana.

Useilla kiinteistöillä on omaa energiantuotantoa, kuten aurinkopaneeleja ja pientuulivoimaloita. Aurinkopaneelit muuntavat auringon säteilyä sähköksi ja ovat erityisen hyödyllisiä päivisin, kun aurinko paistaa kirkkaasti. Pientuulivoimalat puolestaan hyödyntävät tuulivoimaa sähköntuotannossa ja voivat tuottaa energiaa myös yöllä tai pilvisinä päivinä, kun tuulee.

Kun aurinkopaneelit ja pientuulivoimalat tuottavat sähköä enemmän kuin mitä kiinteistöt kuluttavat, niin tällöin ylijäämäenergia ohjataan energiavarastoon. Energiavarastoon varastoitu sähkö odottaa käyttöä aikoina, jolloin tuotanto ei ole riittävää kattamaan kulutusta, kuten öisin tai tuulettomina päivinä. Kun energiavarasto on täynnä ja tuotanto edelleen ylittää kulutuksen, ylijäämä sähköä voidaan myydä liittymispisteeltä takaisin jakeluverkkoon.



Kuva 8. Mikroverkon esimerkkejä (Eaton, 2024)

Järvenpäässä sijaitsevassa Lidlin jakelukeskuksessa mikroverkon monisuuntainen siirtokyky mahdollistaa jakelukeskuksen sähköntuotannon ja -kulutuksen jatkuvan optimoinnin, mukautuen automaattisesti muuttuviin olosuhteisiin, kuten auringonpaisteen määrän ja sähkön markkinahintoihin. Jakelukeskuksessa energia tuotetaan ensisijaisesti käyttämällä omia aurinkopaneeleita ja energiaa varastoidaan mahdollisuuksien mukaan tulevaa käyttöä varten (Sweco, 2024).

Jakelukeskuksen mikroverkko on yhdistetty valtakunnan verkkoon kaksisuuntaisesti, mahdollistaen energian siirron sekä sisään että ulos. Tämän ansiosta jakelukeskus voi hyödyntää energiavarastoaan sähkön välittämiseen laajempaan verkkoon ja osallistua kantaverkkoyhtiö Fingridin hallinnoimille reservi- eli säätösähkömarkkinoille. Energiavaraston akustojärjestelmä suodattaa harmonisia yliaaltoja ja kompensoi loistehoa, mikä vähentää sähköverkon häviöitä ja parantaa käyttövarmuutta merkittävästi. Jakeluverkon mahdolliset katkokset voidaan korjata saumattomasti ilman, että häiriötilanteissa olisi tarvetta käynnistää varavoimakoneita. (Sweco, 2024)

DC-mikroverkoissa, aurinkosähköä ja muita tasasähkölähteitä ei tarvitse muuntaa vaihtosähköksi, mikä vähentää energiahäviöitä, koska tasasähkö voidaan säätää suoraan halutulle tasolle DC-DC-konvertterien avulla (Enea Consulting, 2017). Tämä parantaa pienjänniteverkon kykyä siirtää energiaa tehokkaammin ja vähentää tarvetta jakelumuuntamoille, vaikkakin suojauksen määrää on mahdollisesti lisättävä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto on toteuttanut yhdessä jakeluverkkoyhtiö Järvi-Suomen Energian kanssa pienjännitteisen tasasähköjakeluverkon, joka on ollut jatkuvassa käytössä kesäkuusta 2012 alkaen. (Kaipia, 2012) Verkkoon kuuluu paikallista sähköntuotantoa, akkuvastasto sekä lämmitystä, joka osallistuu kulutusjousto. Keskijännitejohdon vikatilanteiden aikana järjestelmä voi toimia saarekkeessa.

KMEV verkossa tällaisia mikroverkkoja ei vielä ole, eikä niiden mahdollisuutta liittää verkkoon ole kysytty. Tämänkaltaiset liittymät edellyttävät kuitenkin perusteellista ennakkoselvitystä. On myös välttämätöntä, että liittyjälle kerrotaan selkeästi verkkopalveluehtojen sisältö, erityisesti osiot, jotka

käsittelevät liittäjän vastuita sähkölaitteistojen ylläpidosta liittäjän puolella liittymispisteestä lähtien. Liittäjä on vastuussa siitä, että hänen sähkölaitteistonsa täyttävät jakeluverkonhaltijan määrittämät tekniset vaatimukset liittymiselle sekä asetetut järjestelmätekniset standardit. Liittäjän on toimitettava jakeluverkonhaltijalle dokumentaatio, joka todistaa sähköntuotantolaitteiston olevan turvallisessa käyttökunnossa.

### 3.5 Energiayhteisö

Paikallinen energiayhteisö on oikeushenkilö, joka tarjoaa energiapalveluja jäsenilleen tai osakkailleen, kuten energian tuotantoa, toimitusta, kulutusta, aggregointia, varastointia sekä sähköajoneuvojen latauspalveluja (Motiva, 2024). Tämä yhteisö mahdollistaa sähköntuotannon jakamisen hyvityslaskennan kautta. Jäsenet tai osakkaat voivat olla luonnollisia henkilöitä, kuntia, muita paikallisviranomaisia tai pk-yrityksiä (Motiva, 2024). Näiden sähkönkäyttöpaikkojen on oltava samalla kiinteistöllä tai kiinteistöryhmällä, ja ne liitetään samaan sähköliittymään. Energiayhteisön tuotantolaitteisto ja varasto kuuluvat myös tähän liittymään.

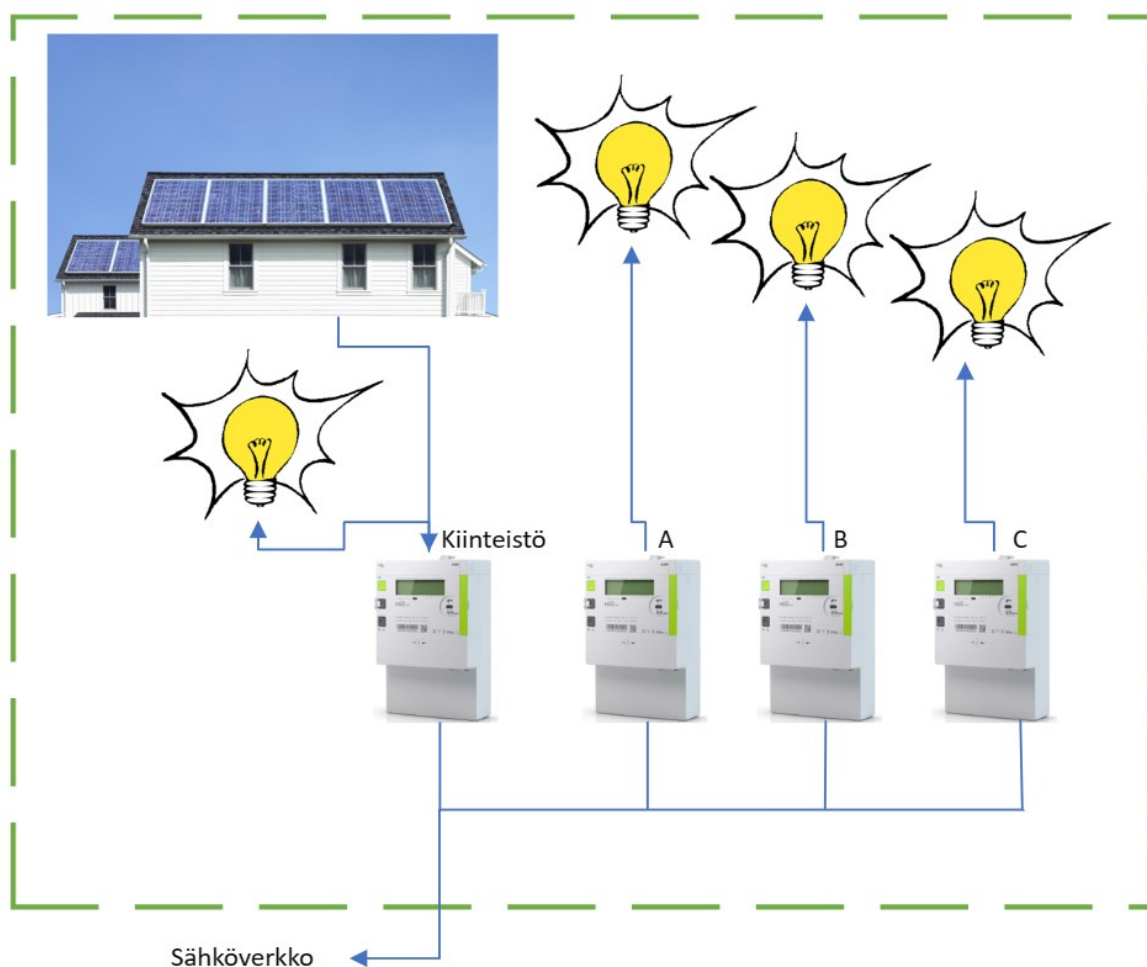
Energiayhteisön on rekisteröidyttävä jakeluverkonhaltijalle, joka vastaa yhteisön sähkömittauksista. Sen on ilmoitettava jakeluverkonhaltijalle sähkönkäyttöpaikat, tuotanto- ja varastotiedot sekä muutokset. Tämä määritelmä löytyy asetuksesta (767/2021) sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta.

Hyvityslaskenta on vuodelta 2021 peräisin oleva uusi toimintamalli, jonka avulla sähköä tuotetaan paikallisesti ja kohdennetaan kulutukseen tehokkaammin. Mallissa tuotettu sähkö ohjataan ensisijaisesti sähköntuotantopaikan omaan kulutukseen, minkä jälkeen mahdollinen ylijäämä allokoidaan kiinteistön muille sähkönkäyttöpaikoille ennalta sovitun osuuden mukaisesti (Motiva, 2024). Tämä järjestely mahdollistaa suurempien tuotantolaitteistojen mitoittamisen, sillä sähköverkkoon myytävän sähkön määrä ei kasva merkittävästi. Siten hyvityslaskenta parantaa laitteiston taloudellista kannattavuutta.

Hyvityslaskenta hyödyntää sähköverkkoyhtiöiden omistamia mittareita, joten kiinteistökohtaisiin sähkömittareihin ei tarvita tehdä muutoksia. Energiayhteisöjen jäsenille jaettavat osuudet ilmoitetaan verkkoyhtiölle, ja laskenta suoritetaan Datahubissa. Energiayhteisön jäsenet tulee olla liitettynä samaan jakeluverkkoon. Rakennukset, joilla on erilliset sähköliittymät, eivät voi kuulua samaan energiayhteisöön. (Motiva, 2024). Muutokset energiayhteisön omistususuuksiin jälkikäteen vaatii sen, että energiayhteisö perustetaan uusiksi jakeluverkkoyhtiön toimesta Datahubiin.

Energiayhteisön vastuualueisiin kuuluu tietojen ylläpito ja muutosten ilmoittaminen jakeluverkonhaltijalle. Jakeluverkonhaltijan vastuulla on päivittää tiedot Datahubissa. Energiayhteisöt voivat olla paikallisia energiayhteisöjä tai aktiivisten asiakkaiden ryhmiä, joilla on erilaiset perustamismenetelmät. Paikallinen energiayhteisö toimii oikeushenkilön kautta, kun taas aktiivisten asiakkaiden ryhmän voi muodostaa yksittäinen tai usea sähkön loppukäyttäjä. (Motiva, 2024)

Seuraavassa kuvassa on esitetty kuvitteellinen energiayhteisö, joka koostuu osakkaista, joista A omistaa merkittävän osuuden eli 70 %, ja B hallitsee 30 % energiantuotannosta. Osakas C on päättänyt pidättäytyä investoinneista tuotantoon. Seuraavan sivun taulukko havainnollistaa, miten energiantuotanto jakautuu, kun siitä on ensin vähennetty kiinteistömittaria edeltävä kulutus.



Kuva 9. Energiayhteisön periaate

Seuraavan taulukon perusteella käy ilmi, että osakas A hyötyy merkittävästi ylituotosta omassa energiantuotanto-osuudessaan, ja saa siitä lopulta pörssisähkön hintaan sidotun korvauksen. Osakas B:n sähkönkulutus sen sijaan vähenee lähes nollaan, sillä hän kompensoi oman kulutuksensa omistamallaan osuudella. Osakas C jatkaa sähköntoimitusten maksamista normaalisti, kuten aiemminkin.

Taulukko 1. Kuvitteellisen energiayhteisön tuotannon jakautuminen

	Oma kulutus	Tuotanto	Ylimenevä kulutus
Kiinteistö	8 kWh	15 kWh	7 kWh
Osakas	Omistuosuus tuotannosta	Oma kulutus	Netotettu kulutus
A	70 %	2 kWh	-2,9 kWh
B	30 %	3 kWh	0,9 kWh
C	0 %	2 kWh	2 kWh

KMEV Oy verkkoalueella ei ole toistaiseksi (6/24) perustettu yhtäkään energiayhteisöä. Tämä on huomionarvoista, sillä kunnan taajama-alueella on useita kymmeniä taloyhtiöitä, joissa asuu merkittävä määrä kuntalaisista. Näistä taloyhtiöistä vain harvalla on kuitenkin omaa pientuotantoa, mikä saattaa johtua useista tekijöistä, kuten investointikustannuksista tai tiedon puutteesta uusiutuvasta energiasta.

Joissakin asunto-osakeyhtiössä on pientuotantolaitteisto, mutta kyseinen laitteisto käytetään kokonaisuudessaan yhtiön oman kulutuksen vähentämiseen. Tämä saattaa heijastaa yleisempää suuntausta, jossa taloyhtiöt pyrkivät ensisijaisesti optimoimaan omaa energiankulutustaan ennen kuin harkitsevat laajempia energianjakelun järjestelmiä. Vaihtoehtoisesti voi olla, että tiedotus energiayhteisöistä ei ole tavoittanut yhtiöiden asukkaita.

Tämä tilanne tarjoaa mahdollisuuksia energianeuvontaan Keminmaan alueella. Voidaan pohtia, miten tiedon jakaminen ja yhteisöllinen toiminta voisivat edistää uusiutuvan energian hyödyntämistä laajemmin. Samalla voidaan miettiä, miten esimerkiksi taloyhtiöiden asukkaat voitaisiin saada osallistumaan energiayhteisöjen toimintaan, mikä voisi tarjota heille taloudellisia ja ympäristöystävällisiä etuja.

### 3.6 Kuormanohjaus

Jakeluverkkoyhtiöiden rooli Suomessa on erityisen merkittävä energiamarkkinoiden rakenteessa. Jakeluverkkoyhtiöiden keskeinen tehtävä on toimia puolueettomina toimijoina, jotka mahdollistavat sähkön siirron tuottajilta kuluttajille. Ne eivät saa vaikuttaa markkinoiden toimintaan esimerkiksi ohjaamalla sähköntuotantoa tai -kulutusta, mikä voisi vääristää kilpailua tai markkinahintoja (Pahkala, 2017). Sen sijaan, niiden tulee keskittyä infrastruktuurinsa ylläpitoon ja kehittämiseen, varmistaen, että kaikki markkinatoimijat voivat toimia tasavertaisesti (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Sähkömarkkinoiden ja jakeluverkkojen toimintaympäristö on Suomessa kokenut merkittäviä muutoksia viime vuosikymmenen aikana, ja tämä kehitys on vaikuttanut voimakkaasti myös sähkönkulutuksen ohjaukseen. Pitkään käytössä ollut yö- ja päiväsiirron hinnoittelu, eli niin kutsuttu yö-päivätariffi, on ollut yksi tapa hallita sähkönkulutuksen vaihteluja ja kuormituksen tasausta (Pahkala, 2017). Tämä mekanismi on kuitenkin käymässä vanhentuneeksi nykypäivän vaatimuksiin nähden, kun joustoja tarvitaan pitkin päivää (Järventausta2, 2015).

Jakeluverkkoyhtiöiden perinteinen lähestymistapa sähkönkulutuksen ohjaukseen perustui kellonaikaan tai kalenteriin sidottuihin ohjausmekanismeihin, joihin kuuluivat yö-päiväohjaus ja siihen liittyvä tariffijärjestelmä. Tällä pyrittiin siirtämään osa sähkönkulutuksesta yöaikaan, jolloin sähkön kokonaiskulutus valtakunnallisesti on tyypillisesti pienempi (Pahkala, 2017). Yö-päivätariffin avulla kuluttajia kannustettiin esimerkiksi käyttämään sähkölämmitystä ja muita suurempia kulutuslaitteita edullisemman yösähkön aikana, mikä auttoi tasaamaan kuormituspiikkejä (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024).

Sähköntuotantorakenteen muuttuessa yhä enemmän uusiutuvan energian suuntaan, joka on luonteeltaan vaihtelevaa ja sääriippuvaista, vanhat kiinteät aikaohjauksen mallit eivät enää vastaa tarpeisiin tehokkaasti.

Vaihtelevan energian tuotanto, kuten tuuli- ja aurinkovoima, vaatii joustavampaa ja dynaamisempaa sähkönkulutuksen ohjausta. Dynaamisempi kulutusjousto tarkoittaa, että kulutuksen mukauttaminen tapahtuu reaaliajassa sähkömarkkinoiden hintasignaalien mukaisesti. Tämä mahdollistaa nopeamman reagoinnin tuotannon vaihteluihin, mikä on olennaista tehotasapainon ylläpitämiseksi ja sähköjärjestelmän vakauden varmistamiseksi. Tällainen jousto on myös ympäristöystävällisempi ja kustan-



nustehokkaampi tapa hallita energiavarantoja (Pahkala, 2017). Siirtyminen dynaamiseen kulutusjoustoon tarjoaa myös kuluttajille mahdollisuuden hyötyä suoraan sähkömarkkinoiden hinnoittelusta. Kun kuluttajat voivat mukauttaa sähkökäyttöään markkinahintoihin perustuen, he voivat hyödyntää sähkön hinnan laskukaudet ja välttää korkean hinnan aikoja, mikä voi johtaa merkittäviin säästöihin sähkölaskussa (Järventausta2, 2015).

Tulevaisuudessa on odotettavissa, että teknologinen kehitys, kuten älykkäiden mittareiden ja IoT-laitteiden laajempi käyttöönotto, tulee edistämään dynaamisen kulutusjouston integraatiota jakeluverkkoihin entistä laajemmin. Tämä kehitys tukee siirtymistä kohti älykkäämpiä, tehokkaampia ja kestävämpiä energiajärjestelmiä. (Pahkala, 2017)

Asiakkailla on mahdollisuus osallistua kulutusjoustoon joko itsenäisesti tai erikoistuneiden markkinatoimijoiden, kuten energiapalveluyritysten kautta (Järventausta2, 2015). Nämä palveluntarjoajat voivat auttaa asiakkaita hyödyntämään sähkömarkkinoiden dynaamisia hintasignaaleja ja osallistumaan monipuolisesti eri markkinapaikoille (Järventausta2, 2015). Palveluihin voidaan liittää lisäarvoa tuottavia ominaisuuksia, kuten asumismukavuuden parantaminen ja energiankäytön optimointi, mikä lisää asiakastytyvyyttä ja energiatehokkuutta. (Pahkala, 2017)

Kun jakeluverkkoyhtiöt luopuvat suorasta kulutuksenohjauksesta, niiden rooli keskittyy yhä enemmän sähköverkon ylläpitämiseen ja toiminnan varmistamiseen poikkeustilanteissa (Pahkala, 2017). Tämä selkeyttää jakeluverkkoyhtiöiden ja muiden markkinatoimijoiden välistä roolijakoa, edistää terveen kilpailun kehittymistä ja vahvistaa sähkömarkkinoiden tehokkuutta. Vaikka jakeluverkkoyhtiöt luopuvat aktiivisesta kulutuksenohjauksesta normaalioloissa, niillä säilyy keskeinen tehtävä sähkönjakelun turvaamisessa poikkeustilanteissa, kuten suurhäiriöissä tai laajoissa sähkökatkoissa (Sähkömarkkinalaki, 2013). Tällöin yhtiöt voivat väliaikaisesti ohjata kuormia varmistaakseen kriittisten palveluiden ja sähköturvallisuuden toteutumisen (Järventausta2, 2015).

Suomen työ- ja elinkeinoministeriön älyverkkotyöryhmän alatyöryhmän näkemyksen mukaan jakeluverkkoyhtiöt ovat keskeisessä asemassa älyverkkojen kehityksessä. Jakeluverkkoyhtiöiden rooli on kehittää tekninen alusta, joka mahdollistaa erilaisten ohjauskäskyjen siirtämisen ja käsittelyn. Tässä yhteydessä palveluntarjoajat ovat vastuussa ohjauskäskyjen muodostamisesta käyttäen hyväksi jakeluverkkoyhtiöiden luomia rajapintoja. (Järventausta, 2018)

Rajapintojen standardointi on olennainen tekijä tässä prosessissa, sillä se takaa, että palvelut ovat yhteensopivia ja toimivat saumattomasti eri toimijoiden välillä. Standardisoidut rajapinnat myös helpottavat uusien palveluntarjoajien markkinoille tuloa, edistäen samalla kilpailua (Järventausta2, 2015). Alustan on kohdeltava kaikkia toimijoita tasapuolisesti, mikä mahdollistaa sujuvan joustopalvelun tarjoajan vaihdon (Sähkömarkkinalaki, 2013).

Järjestelmän tehokkuuden kannalta on kriittistä, että mittareiden ohjauskäskyjä voidaan päivittää useita kertoja päivässä (Järventausta, 2018). Tiheät päivitykset mahdollistavat tarkan kulutuksen hallinnan ja nopean reagoinnin markkinamuutoksiin.

Kuormanohjausrele mahdollistaa, että etämittaustilaiteisto voi vastaanottaa ja toteuttaa kuormanohjauskomentoja. Yleensä kuormanohjaus on kiinteistöissä toteutettu ohjauspiirillä, missä mittarilla

oleva rele ohjaa keskuksessa olevaa relettä. Tämä keskuksen rele voi vielä ohjata kontaktoria, millä ohjataan kiinteistön kuormat virrallisiksi.

Kuormanohjausrelettä ei vaadita kaikissa etämittauslaitteistoissa. Poikkeukset koskevat erityisesti käyttöpaikkoja, joissa on yli 3 x 63 ampeerin pääsulakkeet, yli kahden asunnon asuinrakennukset ja Toimisto-, liike-, teollisuus- tai varastorakennukset. (Valtioneuvosto, 2021)

Nämä poikkeukset on määritelty ottaen huomioon käyttöpaikkojen erityispiirteet ja sähkönkulutuksen mittakaava, jossa kuormanohjausreleen hyödyt eivät välttämättä ole yhtä merkittäviä kuin pienemmissä tai yksinkertaisemmissa asennuksissa.

1990-luvun puoliväliin saakka jakeluverkkoyhtiöillä oli huomattava rooli kiinteistöjen sähköjärjestelmien suunnittelun ohjaamisessa ja paikallisten vaatimusten määrittämisessä, erityisesti tehon ja kuormituksen hallinnan suhteen. Sähköyhtiöt tekivät omia suunnitteluohjeitaan, esimerkiksi sähkölämmityksen toteutukseen liittyen. Vuoteen 1986 mennessä jokaisella yhtiöllä oli omat ohjeistuksensa, jotka saattoivat poiketa merkittävästi toisistaan (Järventausta2, 2015).

Vuonna 1986 Sähkölaitosyhdistys julkaisi SLY-kytkentäsuosituksen, jota uudistettiin vuonna 1992. Tämä sähkölämmityksen kytkentäsuositus (SLY 7/92) on edelleen laajasti käytössä. (Järventausta2, 2015) Vakiokytkentä on tarjonnut yhteisen pohjan kytkennän periaatteille ja merkinnöille, mikä on osaltaan mahdollistanut vakiokeskusten saatavuuden sähkölämmityskohteisiin.

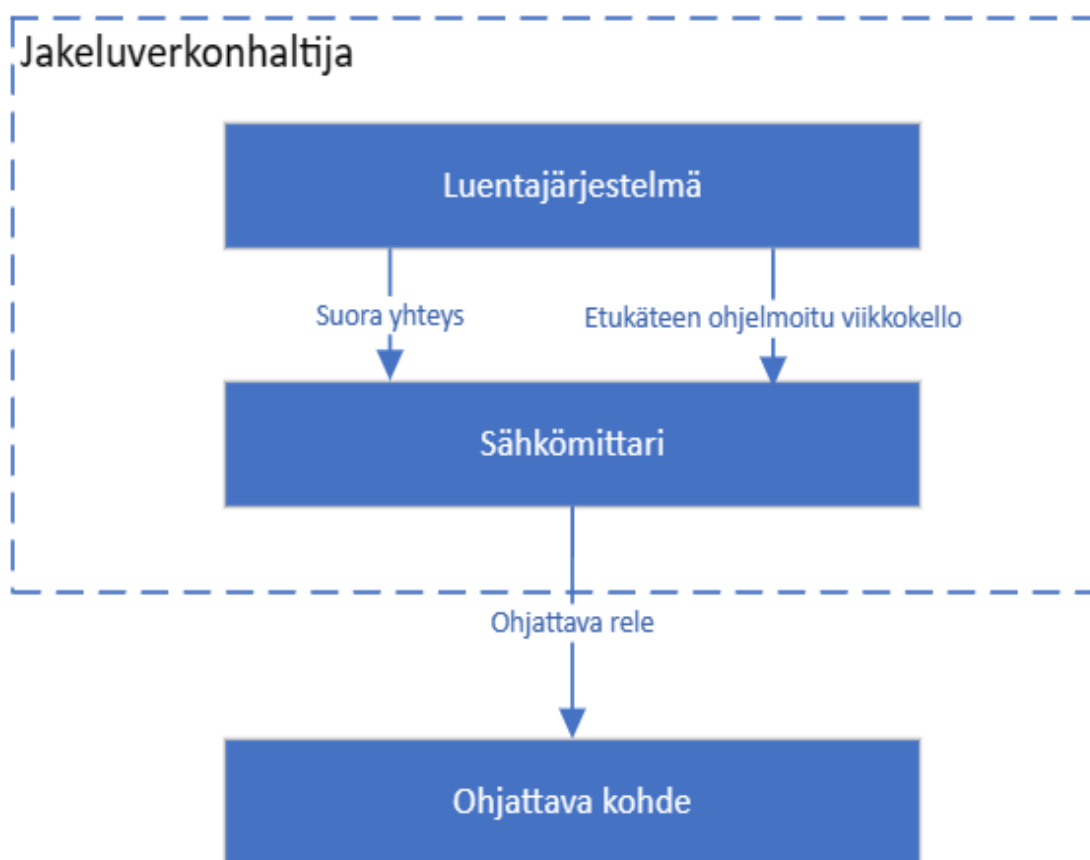
Yhtiön jakeluverkossa noudatettiin aikanaan kytkentäsuositusta, mutta 2000-luvun puolella ei ole tietoa suosituksen käytöstä (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024). Tällä hetkellä uusille liittyjille ei ole erillistä ohjeistusta. Tämä voi aiheuttaa haasteita, sillä kohteita ei välttämättä ole dokumentoitu riittävän huolellisesti ja ohjausperiaatteita ei tunneta. Lisäksi mittarien vaihdon yhteydessä on saattanut syntyä tilanteita, joissa asennusstandardien vastaisia kytkentöjä on tehty esimerkiksi rasialiittimillä keskuksen sisällä, ilman että liittimiä on kiinnitetty keskukseen asianmukaisesti. Näitä muutoksia päivitetään harvoin kohteiden sähködokumentteihin, mikä voi aiheuttaa ongelmia jatkossa.

Energia- ja ympäristöministeriö (TEM) on antanut 12.9.2023 Fingridille toimeksiannon määrittellä kuormanohjausrajapinnan tekninen toteutus. Fingridin vastuulle toimeksiannon antaminen perustuu sen olemassa olevaan velvoitteeseen kehittää sähkökaupan ja taseselvityksen tiedonvaihtoa, kuten sähkömarkkinalaki (SML 49 §) määrittelee. Fingridin asiantuntemus ja keskeinen asema sähkömarkkinoiden infrastruktuurin hallinnassa tekevät siitä luonnollisen toimijan tämän kaltaisen teknisen määrittelyn johtamisessa. Projektin lähtökohtana ovat älyverkkotyöryhmän linjaukset ja mittausasetuksen (767/2021) määrittämät velvoitteet mittaukselle ja kuormanohjaukselle. Nämä asiakirjat tarjoavat perustan sille, mitä tekniseltä toteutukselta vaaditaan ja mitä ominaisuuksia tulee tukea. (Väre, 2024)

Datahubin käyttäminen kuormanohjausjärjestelmissä voisi keskittyä valtuutusten hallintaan. Tämä tarkoittaa, että Datahub hallitsisi tietoa siitä, ketkä myyjät tai palveluntarjoajat ovat valtuutettuja ohjaamaan tietystä käyttöpaikassa sijaitsevia kuormanohjausreleitä (Väre, 2024). Itse ohjauskäskyt lähetettäisiin ja käsiteltäisiin erillisen järjestelmän kautta, mikä mahdollistaa joustavuuden ja integroitavuuden muihin olemassa oleviin järjestelmiin (Järventausta2, 2015).

Laajemmassa mielessä, Datahubin teknistä arkkitehtuuria voitaisiin käyttää paitsi valtuutusten hallintaan myös itse ohjauskäskyjen välittämiseen. Tässä skenaariossa Datahub toimisi keskeisenä solmu kohtana, joka vastaanottaisi ohjauskäskyt myyjiltä ja palveluntarjoajilta ja välittäisi ne suoraan jakeluverkkoyhtiöille. Tämä malli kasvattaisi Datahubin teknisen kapasiteetin hyödyntämistä ja voi tarjota paremman turvallisuuden ja tehokkuuden datan käsittelyssä.

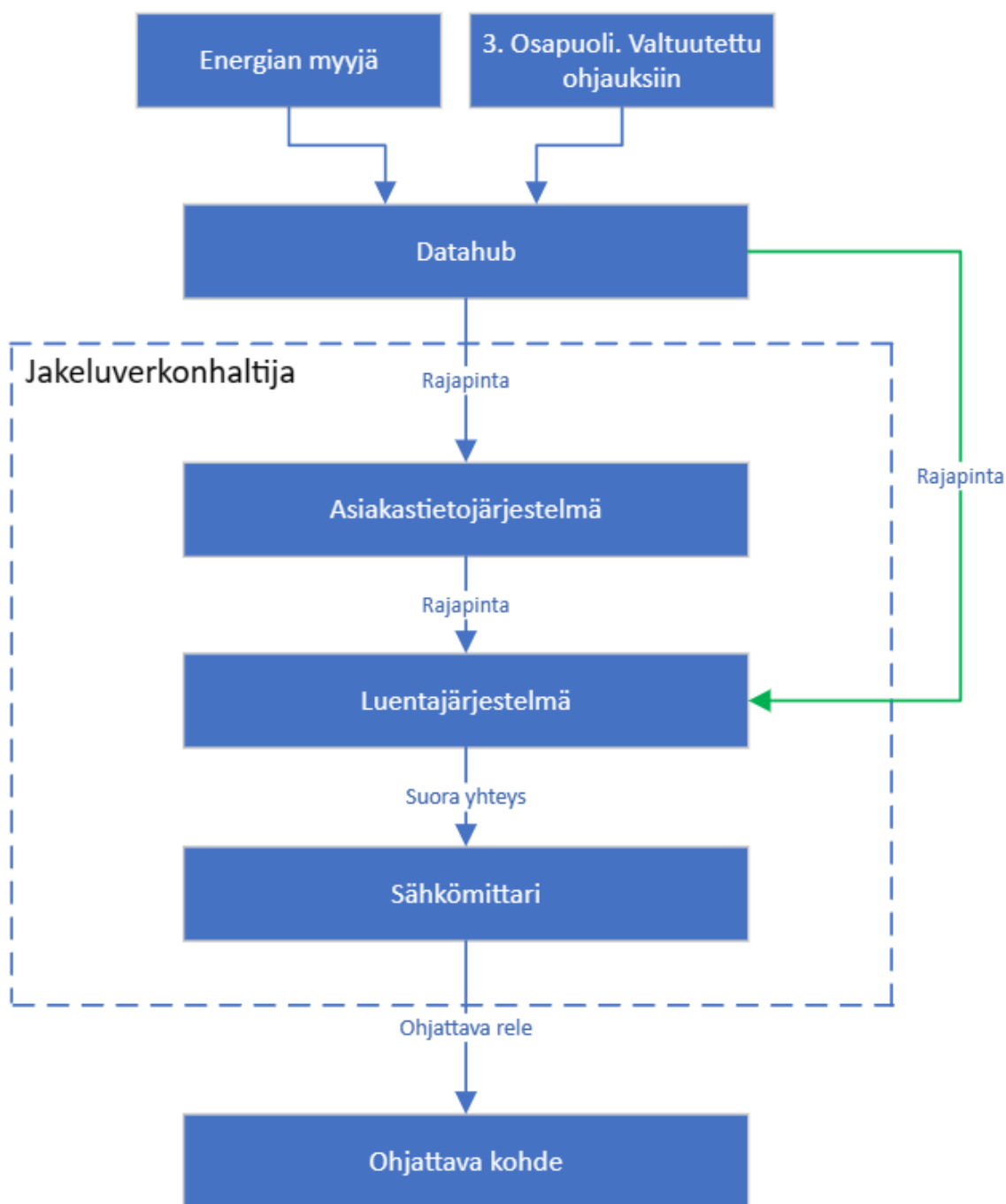
Datahubin hallintomalli tarjoaa yhtenäisen ja standardoidun tavan käsitellä sähkömarkkinoiden dataa. Tämän mallin soveltaminen kuormanohjauksessa voisi auttaa varmistamaan, että kaikki markkinaosapuolet noudattavat yhteisiä standardeja, mikä lisää järjestelmän luotettavuutta ja tehokkuutta. (Väre, 2024)



Kuva 10. Kuormanohjauksen nykytilanne

KMEV Oy luentajärjestelmässä on tällä hetkellä mahdollisuus ohjata kuormia vain suoralla ohjauksella. Tällä hetkellä luentajärjestelmässä on käytössä suoralla ohjauksella toimiva kuormien hallinta. Tämä tarkoittaa, että etäluettavat mittarit on varustettu sisäisellä viikkokellolla, joka ohjaa releitä ennalta määritettyjen tuntien mukaan. Viikkokellon etuna on sen kyky toimia itsenäisesti ilman jatkuvaa ulkoista hallintaa. Tämä vähentää tarvetta jatkuvalla valvonnalla ja tekee järjestelmästä luotettavan ja huoltovapaan.

Vaikka yhtiön luentajärjestelmässä onkin tekniset valmiudet vastaanottaa kuormanohjauskomentoja ulkoisista järjestelmistä, tämä toiminnallisuus ei ole vielä käytössä. Tämä tarkoittaa, että järjestelmässä on olemassa infrastruktuuri, joka mahdollistaisi dynaamisemman ja älykkäämmän kuormien hallinnan tulevaisuudessa.



Kuva 11. Kuormanohjauksen visio 2025

Kuten yllä olevassa kaaviossa esitetään, tulevaisuudessa energian myyjällä tai asiakkaan valtuuttamalla kolmannella osapuolella saattaisi olla mahdollisuus ohjata asiakkaan kuormia haluamallaan tavalla.

Asiakkaan näkökulmasta on varmistettava, onko mittarilla olevaan releeseen kytketty ohjauskaapeleita, jotka liittyvät asiakkaan laitteistoihin. Tässä yhteydessä onkin aiheellista pohtia, kenen vastuulla mahdollinen johtojen kytkeminen on. Onko valtuutetulla sähköasentajalla oikeus tehdä tämä, vai täytyykö jakeluverkkoyhtiön antaa lupa tai jopa heidän asentajansa itse hoitaa kytkentä?

Ohjauskäsky voitaisiin välittää joko Datahubin kautta asiakastietojärjestelmään, josta se kulkisi erilaisten rajapintojen kautta mittareiden luentajärjestelmään ja sieltä lopulta mittarille. Vaihtoehtoisesti käsky voisi kulkea myös suoraan Datahubista luentajärjestelmään, mikä on Datahub-yhteensopiva.

Tärkeää on määrittää, kenen vastuulla on seurata järjestelmän asianmukaista toimintaa. Jos ohjauskäskyt eivät jostain syystä tavoita kohdettaan, kuka valvoo ja miten varmistetaan, että ohjaus on toiminut oikein? Olisi hyödyllistä määritellä, missä ajassa jakeluverkkoyhtiön tai tietyissä tapauksissa mittauspäalvelun tarjoajan on korjattava ohjausyhteydet, mikäli ne eivät toimi odotetulla tavalla.

Kuormanhallinnan siirtyessä kolmansille osapuolille, kasvaa riski kyberhyökkäyksiin merkittävästi. Tällaisissa tapauksissa kolmannen osapuolen hallinnoimat järjestelmät ovat alttiita erilaisille hyökkäyksille, kuten tietomurroille, palvelunestohyökkäyksille ja muille haitallisille toimenpiteille. Erityisen vakavana uhkana voidaan pitää tilannetta, jossa jonkin myyjän järjestelmät pettävät kriittisellä hetkellä.

Mikäli kolmannen osapuolen hallinnoima kuormanohjausjärjestelmä joutuu kyberhyökkäyksen kohteeksi tai jos järjestelmässä ilmenee vakava toimintahäiriö, seuraukset voivat olla katastrofaaliset. Pahimmassa tapauksessa kaikkien kyseisen myyjän asiakkaiden kuormanohjaukset voitaisiin kerralla ajaa päälle koko valtakunnan alueella, erityisesti silloin kun sähköverkkoon kohdistuu jo valmiiksi kova kuormitus. Tällainen tilanne voisi johtaa valtaviin sähkökatkoksiin, ylikuormitukseen ja laajoihin häiriöihin sähköverkon toiminnassa.

Lisätietoa tulee todennäköisesti olemaan saatavilla, kun Fingridin saama toimeksianto rajapinnan määrittelystä etenee. Tämän prosessin valmistuttua jakeluverkkoyhtiöiltä saatetaan pyytää lausuntoja, joiden pohjalta alkaa muodostua tarkempi kuva ohjausyhteyksien hallinnasta ja vastuista. Lausuntokierroksen aikana kerätty palaute auttaa hahmottamaan, miten eri osapuolet voivat toimia yhteistyössä, jotta järjestelmä toimii luotettavasti ja tehokkaasti.

Yhtiössä on yleisesti kiinnostusta myyjävetoiseen kuormanohjaukseen, mikäli siitä olisi odotettavissa säästöjä. Aluksi kuitenkin halutaan pitäytyä omissa ohjausjärjestelmissä, kunnes myyjävetoisesta mallista saadaan enemmän kokemuksia. Maallikoiden näkökulmasta myyjävetoista mallia pidettiin houkuttelevana, sillä heillä ei ole tarvittavaa osaamista omien pörssisähköohjausten rakentamiseen. (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024)

Sähkömittareiden kuuluvuudet ovat tässä kokonaisuudessa keskeisessä roolissa. On tärkeää kiinnittää huomiota niiden laatuun jo ennen rajapinnan määrittelyn valmistumista, sillä sähkömittarilukemien toimittamiselle on asetettu omat vaatimuksensa. Luotettava tiedonsiirto on edellytys sille, että ohjauskäskyt voidaan antaa ja toteuttaa oikea-aikaisesti.

### 3.7 Tehomaksut

Sähkömarkkinalain puitteissa sähköverkkoyhtiöiden siirtohinnoitteluperiaatteiden monipuolistuminen tarjoaa mahdollisuuksia kehittää reilumpia ja tehokkaampia hinnoittelumalleja. Näiden muutosten taustalla on tarve kohdistaa kustannukset oikeudenmukaisemmin sekä vastata paremmin sähkömarkkinoiden ja teknologian kehitykseen. (Pahkala, 2017)

Suomessa verkkoyhtiöiden siirtohinnoittelu koostuu pääasiassa kahdesta osasta: muuttuvasta energiaperusteisesta maksusta ja kiinteästä kuukausittaisesta perusmaksusta. Perusmaksun suuruus voi vaihdella asiakkaan pääsulakekoon mukaan. Tämä malli on perusteltu verkkoyhtiöiden suurilla kiinteillä kustannuksilla, jotka johtuvat muun muassa infrastruktuuri-investoinneista ja pääoman sitoutumisesta, ja jotka eivät ole suoraan riippuvaisia siirretyn energian määrästä (Järventausta2, 2015).

Perusmaksun osuuden kasvattaminen tekee hinnoittelusta verkkoyhtiöiden näkökulmasta kustannusvastaavampaa, sillä se kattaa paremmin kiinteät kustannukset (Järventausta2, 2015). Kuitenkin tämä vähentää asiakkaiden kykyä vaikuttaa omaan siirtolaskuunsa energiankulutuksen kautta, mikä saattaa vähentää kannustimia energiansäästöön ja -tehokkuuteen (KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024).

Tehoperusteinen hinnoittelu jakeluverkkomaksuissa kohdistaisi kustannukset asiakkaille, jotka aiheuttavat suurimmat kuormitushuiput, ja vastaisi paremmin verkon todellisia kustannuksia. Tämä malli voisi auttaa vähentämään tehopiikkejä ja vähentää tarvetta kalliille verkkoinvestoinneille. Tehonhallinta parantaa myös sähköjärjestelmän toimitusvarmuutta tasaamalla kuormitusta (Järventausta, 2018).

Tehokomponentin käyttöönotto voi johtaa suuriin muutoksiin asiakkaiden sähkölaskuissa, erityisesti niille, jotka käyttävät paljon sähköä huippukulutusaikoina. On tärkeää varmistaa, että siirtohinnoittelun muutos tapahtuu asteittain, välttämällä merkittäviä kertakorotuksia asiakkaiden maksuissa. Energiavirasto vaatii jakeluverkkoyhtiöiden hinnoittelua ja niiden muutoksia.

Tehokomponentti on monille asiakkaille uusi ja mahdollisesti vaikeasti ymmärrettävä asia. Verkonhaltijoiden tulee viestiä selkeästi, jotta asiakkaat ymmärtävät, mitä teho tarkoittaa, miten se vaikuttaa heidän laskuihinsa ja miten he voivat hallita omaa energiankulutustaan. Asiakkaille tulisi tarjota palveluita, jotka auttavat heitä seuraamaan ja hallitsemaan omaa sähkönkulutustaan reaaliajassa. Esimerkiksi uudet AMR2 mittarit ovat tässä keskeisiä. (Pahkala, 2017)

Jos tehomaksut otetaan käyttöön, niin kuluttajat saattavat arvioida uudelleen, kuinka houkuttelevia pörssisähkösopimukset ovat. Jos tehomaksut ovat merkittävät, asiakkaat saattavat suosia sähkösopimuksia, jotka tarjoavat suurempaa hintavakautta, kuten kiinteähintaisia sopimuksia, joka taas on ristiriidassa valtakunnallisen jouston kanssa. Toisaalta, jos kuluttajat onnistuvat hallitsemaan tehonkulutustaan tehokkaasti, pörssisähkösopimukset voivat yhä olla houkuttelevia, erityisesti jos ne pystyvät hyödyntämään matalan hinnan aikoja.

Vuoden 2025 ensimmäisellä neljänneksellä sähkömarkkinat tulevat kokemaan merkittävän muutoksen, kun siirrytään nykyisestä mallista varttitasemalliin. Tämän muutoksen tavoitteena on parantaa sähkömarkkinoiden joustavuutta ja tehokkuutta, vastaten paremmin nykyaikaisen energiakulutuksen vaatimuksiin. Varttitasemalli mahdollistaa sähkön hinnan määrittämisen jokaiselle varttitunnille, mikä tarkentaa hintasignaalien vastaavuutta reaaliaikaiseen sähkön kysyntään ja tarjontaan. Nykyinen malli, jossa hinta määräytyy tunneittain, ei ole yhtä tarkka reagoimaan nopeisiin muutoksiin sähköverkossa.

Varttitasemalliin siirtyminen mahdollistaa paremman hallinnan ja optimoinnin verkon kuormituksesta, erityisesti suhteessa pörssisähköön. Kun hinnanmuodostus perustuu tarkempaan aikaväleihin,

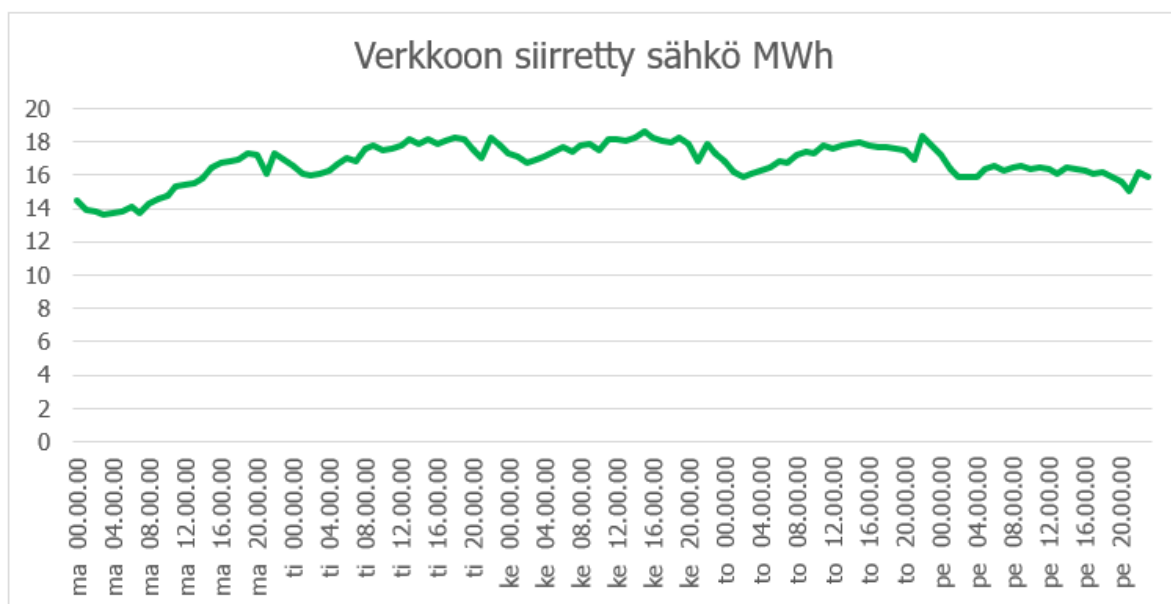
sähkökäyttäjät voivat paremmin optimoida omaa sähkökäyttöään ja välttää suuritehoisten sähkölaitteiden käyttöä kalliimmilla ajankohdilla. Siirtyminen varttiasemalliin vaikuttaa tehomaksujen laskutapaan ja ajankohtiin, sillä tehomaksut määräytyvät tulevaisuudessa todennäköisesti lyhyemmillä aika-askelilla.

Tehomaksut ovat jo käytössä yrityksellä pienjänniteasiakkaiden keskuudessa, joilla sulakekoko ylittää 3x63A. Lisäksi yrityksen keskijänniteasiakkaat kuuluvat tehomaksujen piiriin. Tämä käytäntö voi ohjata kulutusta oikealla tehomaksun suuruudella ja hinnalla. Tehomaksun kynnysteho pitää kuitenkin määrittää sellaiseksi, että asiakkailta on mahdollisuus vaikuttaa kulutuksellaan kustannusten suuruuteen, eikä se saa olla pelkästään perusmaksun jatke, jota laskutetaan kaikilta.

Pienemmille asiakkaille, eli joiden sulakekoko on 3x63A tai alle, ei ole vielä nähty tarvetta ottaa tehomaksuja käyttöön. Tämä johtuu osittain siitä, että näiden asiakkaiden sähkönkulutus on suhteellisen maltillista, eikä se ole aiheuttanut koko verkolle merkittäviä huippukuormia. Alla olevasta kuvasta voidaan huomata, että koko verkon kuormitus pysyy huippupakkasilla melkoisen tasaisena.

Toki alueellisia poikkeuksia voi yksittäisissä muuntopiireissä esiintyä.

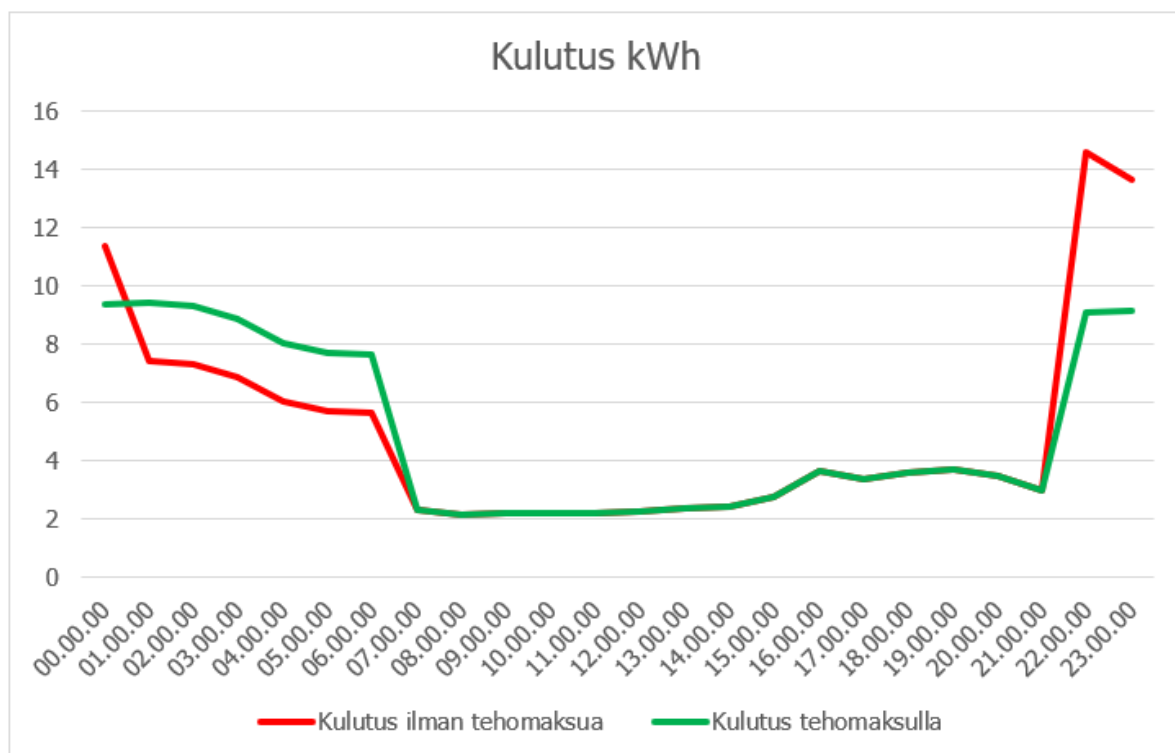
Nykyinen tilanne huipputehojen osalta vaikuttaa vakaalta, mutta on aina hyvä seurata kuormitustilannetta ja arvioida tilannetta säännöllisesti. Jos kuormituskäyttäytyminen muuttuu tai verkkoon kohdistuu uusia, suurempia kuluttajia, niin tilannetta pitää harkita uudelleen. Tällä hetkellä kuitenkin näyttää siltä, että järjestelmä on tehokkaasti hallinnassa ilman tarvetta lisätä tehomaksuja pienemmille asiakkaille. Kuten seuraavasta kuvasta voi todeta, niin kovallakin pakkasella verkon teho pysyy hyvin tasaisena, varsinkin päivätasolla.



Kuva 12. KMEV jakeluverkon kuormituksen muutokset talvella (KMEV sisäinen 2024)

Alla olevasta kuvaajasta voidaan nähdä, miten tehomaksut voisivat vaikuttaa yksittäisen kuluttajan kohdalla. Työn kirjoittajan oman asunnon rakentamisen aikakaudelle tyypillisen SLY-kytkennän aiheuttama tehopiikki, jossa asunnon varaavia lämmityslaitteita ohjataan keskitetysti. Yöllä, noin kello kymmenen maissa alkava lämmitysjakso levittäytyisi tasaisemmin pidemmälle aikavälille, vaikka

energiaa käytettäisiinkin yhä sama määrä aamuun kello seitsemään mennessä, jolloin edullisempi yölämmitysjakso päättyy.



Kuva 13. Sähkölämmittäjän tehomaksun mahdollinen vaikutus huipputehoon (KMEV sisäinen 2024)  
Tällaisia kuluttajia voisi pahimmillaan olla kymmeniä samassa muuntopiirissä ja verkon mitoituksessa olisi huomioitava yhden tai kahden tunnin kuluessa syntyvä suuri piikki. Vaikka koko verkon tasolla ei olisikaan ongelmaa huipputehojen kanssa, voi yksittäisissä sähkölämmitteisissä muuntopiireissä tehopiikki olla merkittävä haaste.

Yksi mahdollinen ratkaisu, jota yritys on myös omassa verkossaan soveltanut, on ohjauksen porrastaminen yökuormilla satunnaisesti iltakymmenen ja keskiyön välille. Näin kaikki yö kuormat eivät kytkeydy päälle samanaikaisesti, mikä auttaa tasaamaan kuormitusta ja vähentämään ylikuormituksen riskiä. Tämä lähestymistapa on osoittautunut tehokkaaksi yksittäisten kuluttajien kuormituksen hallinnassa, ja se tarjoaa käytännöllisen tavan välttää ongelmia sähkölämmitteisissä muuntopiireissä.

Verkkoinfrastruktuurin kehitys, kuten siirtyminen maakaapelointiin, lediteknologian edistys sekä taajuusmuuttajilla varustettujen moottoreiden lisääntyvä käyttö, on johtanut siihen, että aiemmin pääasiassa induktiivinen verkko muuttuu yhä kapasitiivisemmaksi. Tämä muutos vaikuttaa siihen, miten loistehon kustannukset tulisi jatkossa jakaa.

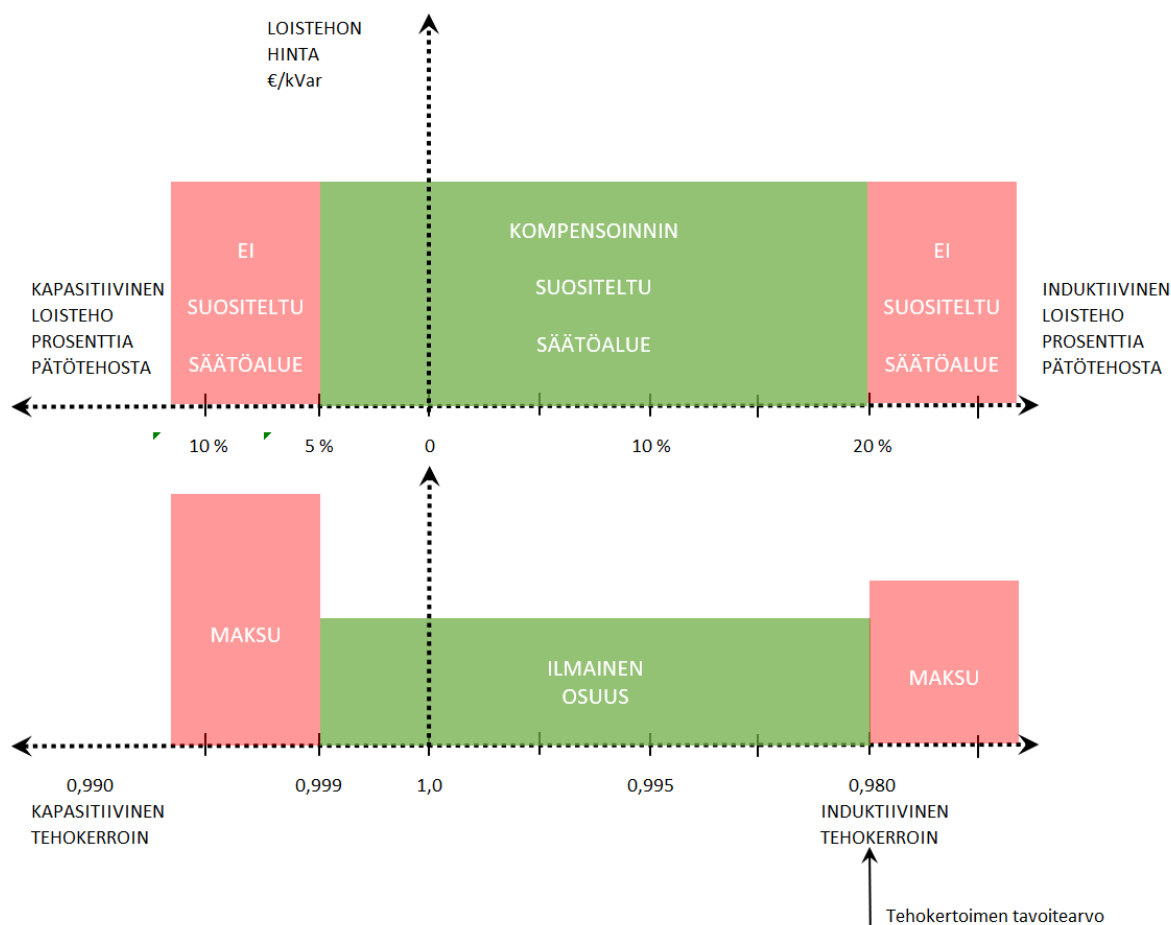
Ylisuuret loistehot kuluttajien puolelta asettavat suoria rasitteita muuntajille ja koko sähköverkon kuormittavuudelle. Tästä syystä on välttämätöntä seurata loistehojen kehitystä tarkasti, jotta voidaan tehokkaasti ennakoida ja reagoida niiden aiheuttamiin muutoksiin verkossa. Tämä seuranta mahdollistaa myös sen, että voidaan ohjata kuluttajia kohti energiatehokkaampaa käyttäytymistä, mikä optimoi sekä energian kulutusta että kustannustehokkuutta koko järjestelmässä.



Yhtiön nykyinen loistehomaksujärjestelmä perustuu ainoastaan induktiivisen loistehon, eli verkosta otettuun loistehon mittaukseen. Tämä tarkoittaa, että suurempien sulakekokojen omaavat asiakkaat maksavat kuukausittain mitatun mukaan, ilman vakiintunutta minimimaksua.

Vaihtoehtoinen tapa sisältäisi loisteholle määritellyn alueen, jossa loistehon kulutuksesta tietty prosenttiosuus päätötehosta olisi maksutonta. Vastaavanlainen malli on jo käytössä useassa verkkoyhtiössä, mikä osoittaa sen tarpeellisuuden ja soveltuvuuden laajemmin eri verkko-olosuhteisiin. Parhaiden käytäntöjen omaksuminen on tärkeää jakeluverkkoalalla.

Seuraavassa kuvassa esitetään yksi malli uudeksi loistehotariffiksi. Uudessa tariffissa asiakkaalle annetaan mahdollisuus ottaa loistehoa (induktiivinen) 30 % ilmaisosuudella, joka lasketaan asiakkaan kuukauden maksimipätötehosta. Nykyään suuret asiakkaat joutuvat maksamaan loistehosta, vaikka otettu määrä olisi ollut vähäinenkin. Tämä uusi malli sen sijaan tarjoaisi joustoa, sillä se antaa asiakkaille mahdollisuuden ottaa loistehoa tiettyyn prosenttiosuuteen saakka ilman lisäkustannuksia. Tässä esitetty malli voi parantaa asiakaskokemusta ja kannustaa tehokkaampaan energiankäyttöön tarjoamalla selkeämmät ja reilummat ehdot loistehon kulutukselle.



Kuva 14. Loistehon ilmaisosuusmalli

Jatkossa loistehon annosta (kapasitiivinen) voitaisiin alkaa veloittamaan, kun aiemmin loistehon anto on ollut ilmaista. Tähän mennessä asiakkaat ovat joutuneet maksamaan pienestäkin määrästä loistehon ottoa, mutta loistehon anto on ollut kustannuksiltaan nolla. Tämä on johtanut siihen, että asiak-

kaiden kompensointilaitteistot on usein säädetty maksimaalisesti kapasitiiviselle tasolle, jotta vältettäisiin loistehosta aiheutuvat kustannukset kokonaan. Tällainen käytäntö kuitenkin aiheuttaa haasteita sähköverkolle, sillä verkon kapasitiivisuus kasvaa jo muutenkin ilman ylimääräistä kuormitusta.

Ehdotetussa uudessa mallissa loistehon annolle asetettaisiin myös ilmaisosuus, mutta se olisi huomattavasti pienempi kuin loistehon oton puolella. Tällä tavalla asiakas ei joutuisi maksamaan pienistä loistehon heilahteluista, mikä tarjoaa jonkin verran joustavuutta. Samalla tämä uusi malli kannustaisi asiakkaita säätämään kompensointilaitteistonsa tarkemmin oikeille asetuksille, mikä vähentäisi verkon kapasitiivisuuteen liittyviä ongelmia ja edistäisi tehokkaampaa ja tasapainoisempaa energiankäyttöä.

#### 4 KEHITYSEHDOTUKSET JOUSTOPALVELUIDEN TOTEUTTAMISEKSI KMEV OY VERKOSSA

Toimeksiantajalle syntyi työn tuloksena kattava käsitys siitä, miten eri joustopalvelut voisivat toimia yhtiön verkkoalueella nykytilanteessa ja seuraavan kymmenen vuoden aikana, sekä mitä käytännön haasteita niiden integrointi toisi mukanaan. Tämä tieto auttaa tulevaisuudessa tekemään perusteltuja päätöksiä joustopalveluiden käyttöönotosta ja suunnittelemaan investointeja, jotka tukevat verkon kehitystä seuraavan kymmenen vuoden sisällä. Työ myös korosti tarvetta jatkuvaan oppimiseen, jotta joustopalveluiden potentiaali voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti ja kestävällä tavalla.

Yhtiön jakeluverkolla on huomattavaa potentiaalia joustopalveluiden hyödyntämiseen, mutta samalla on myös selkeitä rajoituksia niiden käytössä. Tämä tarkoittaa, että joustopalvelut voisivat teoriassa tuoda merkittäviä hyötyjä verkonhallintaan ja energiatehokkuuteen, mutta käytännön toteutus kohtaa merkittäviä teknisiä esteitä. Yhtiön verkkoa syöttävät vesivoimalaitoksien sähköasemat ovat kapasiteetiltaan rajallisia, eikä sieltä voida ottaa enää kovinkaan suuria tehoa ilman että koko verkon toiminta vaarantuu. Erityisesti liityntätehon osalta ongelmaksi muodostuu se, että verkon kapasiteetti ei välttämättä riitä sekä nykyisen sähköntarpeen että joustopalveluiden vaatimusten täyttämiseen, kun mennään lämpötilassa alle nollan. Sopivalla akustolla voitaisiin helpottaa voimalaitoksia varsinkin sähköautojen latauspisteiden satunnaisessa suuritehoisessa käytössä, mutta jakeluverkkoyhtiö ei lähtökohtaisesti sellaista saa itse omistaa.

Tällä hetkellä yhtiön Isohaaran päämuuntajakapasiteetista on kovimmilla kuormilla käytössä noin 90 % ja pienempi, varalla oleva muuntaja on huipputehoilla jo 35 % ylikuormalla. Kun otetaan huomioon jo suunnitellut liityjät, niin päämuuntajien kapasiteetti tulee vastaan esimerkiksi sähkökattilan tai suuritehoisen akuston liittymiselle. Isohaaran keskijännitekiskoston mitoitus ei mahdollista suurempia tehonnostoja pelkästään muuntajan suurentamisella. Kun otetaan vielä huomioon nykyisten kojeistojen iät, niin oman sähköaseman rakentaminen on todennäköisempi vaihtoehto kuin vanhan ja toisen omistaman modernisointi.

Toimialan kehitys etenee tällä hetkellä poikkeuksellisen nopeasti, minkä lisäksi Energiaviraston toimien ennustaminen on vaikeaa, joka taas näkyy haasteina luoda pidemmälle tehtyjä yksityiskohtaisempia suunnitelmia. Uudistuksia ja muutoksia ilmenee jatkuvasti ja ennalta arvaamatta, mikä pakottaa jakeluverkkoyhtiön mukautumaan ja reagoimaan tilanteisiin lyhyellä aikavälillä. Tämä dynaaminen tilanne asettaa merkittäviä haasteita strategiselle suunnittelulle ja vaatii meiltä joustavuutta ja valmiutta nopeisiin päätöksiin.

Seuraavassa kuvassa on visiota verkon kehittämisestä joustopalveluiden käyttöön ja valmistelusta tiettyjen kapasiteetiltään suurempien joustopalveluiden mahdollistamiseksi.

##### 4.1 Sähköasemat

Yhtiön olisi erityisen tärkeää harkita uuden ja oman sähköaseman rakentamista. Vaikka nykyiset liitynnät sähköasemilla vastaavatkin tällä hetkellä tarpeisiin, on todennäköistä että tulevaisuudessa ilmenee tilanteita, joissa liityntätehon tarve ylittää nykyisten asemien laitteistojen kapasiteetin. Lisäksi kunnan alueella sijaitsevien vesivoimalaitoksien omistajilla voi tulla parempaa käyttöä nykyisille

tiloilleen, missä toimeksiantajan liittynät sijaitsevat. Uuden sähköaseman rakentaminen ei ainoastaan vastaisi näihin kasvaviin tarpeisiin, vaan tarjoaisi myös merkittäviä etuja ja varmistaisi jatkuvuuden pitkällä aikavälillä.

Sähköaseman rakentaminen mahdollistaisi suurempien joustopalveluiden integroinnin verkkoon, mikä lisäisi joustavuutta ja kapasiteettia vastata kasvavaan energian kysyntään. Tämä joustavuus on erityisen tärkeää tulevaisuuden energiamarkkinoilla, joissa kysynnän ja tarjonnan vaihtelut voivat olla merkittäviä. Sähköaseman avulla voidaan myös paremmin hallita tuotannon ja kulutuksen välistä tasapainoa, mikä on kriittistä luotettavan ja tehokkaan energiantoimituksen kannalta.

Sähköasema parantaisi lisäksi toimitusvarmuutta jakamalla kapasiteetin useammalle sijainniltaan eri paikalle, vähentäen näin riippuvuutta yksittäisestä asemasta ja keventämällä sen kuormitusta. Vaikka nykyisten sähköasemaliityntöjen pieni kapasiteetin kasvattaminen olisi toinen vaihtoehto, se ei yksinään parantaisi toimitusvarmuutta samalla tavalla kuin uuden aseman rakentaminen. Hajaute-tumpi infrastruktuuri vähentäisi riskiä, että yksittäisen aseman ongelmat johtaisivat laajoihin sähkökatkoksiin. Tämä on erityisen tärkeää kriittisten toimintojen ja teollisuuden jatkuvuuden varmistamiseksi.

Keminmaassa teollisuusalueen lähellä olisi useampi potentiaalinen paikka sähköaseman perustamiselle. Tämä sijainti olisi erityisen edullinen, sillä se on keskeisellä paikalla suurten kulutuskohteiden kanssa. Keskitetty sijainti vähentäisi siirtokustannuksia ja mahdollistaisi tehokkaamman energianjakelun. Yhtiön kannattaa olla erityisen tarkkana, ettei näitä potentiaalisia sähköaseman sijainteja aleta rakentamaan ennen kuin tarvittavat neuvottelut ja suunnitelmat ovat valmiina. Siksi onkin ensiarvoisen tärkeää aloittaa neuvottelut kunnan kanssa mahdollisimman pikaisesti. Taivalkosken voimalaitoksen alueella on myös potentiaalisia paikkoja asemalle, kun sinne pitää rakentaa uusi.

Sähköaseman perustaminen ei kuitenkaan ole yksinkertainen prosessi, joka voitaisiin toteuttaa nopeasti tai vaivattomasti. Se vaatii tarkkaa suunnittelua, paikan valintaa, kaavoitusta ja luvitusta, sekä merkittäviä taloudellisia resursseja. Projektin läpivienti vaatisi myös lisätyövoiman palkkaamista, sillä yhtiön omalla henkilökunnalla ei ole riittävää tietotaitoa sähköasemaprojektiin, eikä myöskään aikaa hoitaa projektia omien töiden ohella. Palkattavan henkilön vastuulla olisi sähköaseman valmistumisen jälkeen sen ylläpito ja huolto. Tietenkin vaihtoehtona on tilata sähköasema ns. "avaimet käteen"-periaatteella. Lisäksi käyttöpalveluja tarjotaan erillisenä palveluna, mikäli sähköaseman käyttö osoittautuu haasteelliseksi.

Tällaisen projektin läpivientiin voisi arvioida menevän noin 3–5 vuotta suunnitteluineen, rakentamisineen ja käyttöönottoineen. Vaikka investointi on merkittävä, sen pitkän aikavälin hyödyt toimitusvarmuuden ja kapasiteetin osalta tekevät siitä perustellun ja strategisesti tärkeän päätöksen yhtiölle. Uudet sähköasemat tarjoaisivat merkittävän edun varmistamalla riittävän kapasiteetin lisäksi luotettavamman ja kestävämmän energianjakelun tulevaisuudessa.

## 4.2 Kuormanhallinta

Kuluttajien kuormanohjaukset ovat tällä hetkellä merkittävässä murroksessa. Tulevaisuudessa on odotettavissa, että vastuu ohjauspalveluiden tarjonnasta siirtyy entistä enemmän kolmansille osapuolille. Tämä muutos tuo mukanaan haasteita ja mahdollisuuksia, joihin yritysten on syytä reagoida ripeästi ja tehokkaasti.

Yhtiöllä on nyt erinomainen tilaisuus kehittää omia järjestelmiään vastaamaan tulevaisuuden tarpeita. Nykyiset ohjausjärjestelmät on saatettava ajan tasalle, jotta ne pystyvät käsittelemään kolmansien osapuolien tarjoamia ohjauspalveluita saumattomasti ja luotettavasti. Tämä kehitystyö vaatii panostusta niin teknologisiin ratkaisuihin kuin prosessien uudistamiseenkin.

Lisäksi yhtiö voisi parantaa asiakaskokemusta tarjoamalla tarkempia ohjausvaihtoehtoja. Asiakkaille voidaan antaa mahdollisuus valita useista eri aikavaihtoehdoista ohjauksen toteuttamiselle. Tämä joustavuus lisää asiakkaiden tyytyväisyyttä ja optimoi kuormanohjausten tehokkuutta. Esimerkiksi asiakas voisi valita, että kuormat kytketään päälle vain yöaikaan 3–7 välillä tai viikonloppuisin keskellä päivää, jolloin pörssisähkö on yleensä edullisempaa ja kulutus huiput vähäisempiä. Tällaiset vaihtoehdot eivät ainoastaan hyödytä asiakasta taloudellisesti, vaan ne myös tasapainottavat verkon kuormitusta.

Toinen merkittävä huomioitava asia on asiakkaiden kuormanohjauskytkennät. Uusia AMR2-mittareita vaihdettaessa on tärkeää tarkastella, onko kuormanohjaus kytketty oikein ja onko se toiminnassa. Mikäli ohjausta ei ole kytketty tai sitä ei ole käytössä, tämä tulisi merkitä ylös. Tällainen systemaattinen kirjaaminen auttaa tunnistamaan mahdolliset ongelmakohdat ja varmistamaan, että ohjaukset toimivat jatkossa moitteettomasti. Järjestelmällinen seuranta ja dokumentointi auttavat myös ennakkoimaan mahdollisia ongelmia. Kun tiedetään, missä kohtaa ohjaukset eivät ole menneet läpi, voidaan nopeasti paikantaa ja korjata ongelma.

## 4.3 Tehomaksut

Yhtiön on tärkeää seurata jatkuvasti verkon huipputehojen kehitystä ja kuormitusta. Mikäli huipputehot alkavat karkaamaan käsistä, syntyy riski, että verkon kapasiteetti ei riitä kattamaan kulutushuippuja, mikä voi johtaa erilaisiin ongelmiin, kuten sähkökatkoksiin tai verkon ylikuormittumiseen. Tällaisessa tilanteessa on tarpeen harkita erilaisia keinoja verkon tasapainottamiseksi ja huipputehojen hallitsemiseksi.

Yhtiön nykyinen tehomaksujen malli ei tällä hetkellä kannusta suurempia kuluttajia rajoittamaan oman huipputehon kulutustaan. Tämä johtuu siitä, että suurilta kuluttajilta peritään jo valmiiksi merkittävä minimimaksu. Tämä minimimaksu saattaa tuntua epäoikeudenmukaiselta erityisesti silloin, kun kuluttajat pyrkivät jo itsenäisesti optimoimaan energiankulutustaan ja vähentämään huipputehoa.

Jotta suuremmat kuluttajat motivoituisivat aidosti rajoittamaan huipputehon kulutustaan, tulisi tehomaksujen mallia muokata siten, että se oikeasti palkitsee huipputehon rajoittamisesta. Tämä voisi

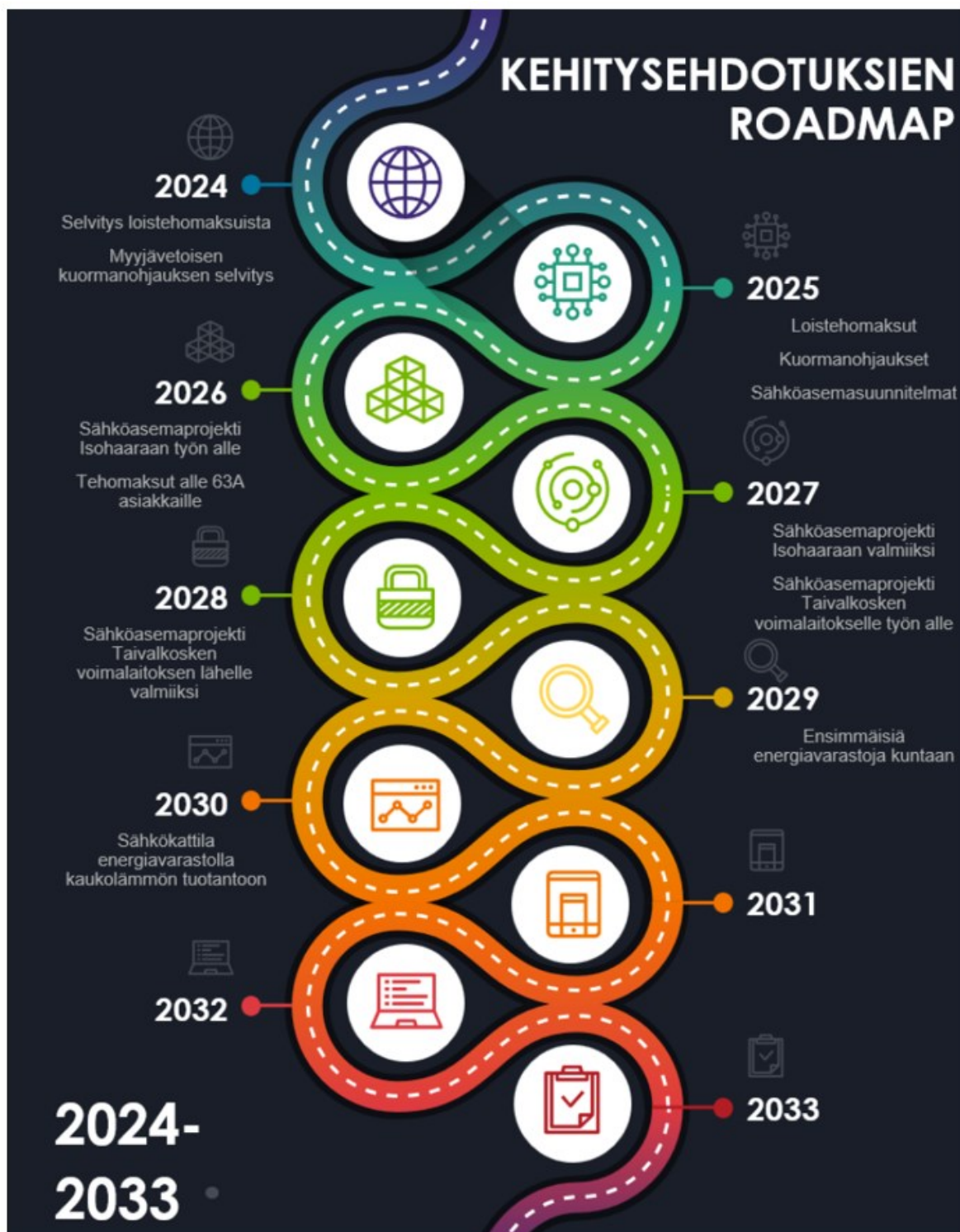
tarkoittaa esimerkiksi sitä, että minimimaksuja alennetaan ja huipputehon tariffi määritellään vastaamaan enemmän kulutushuippuja. Näin kuluttajat saisivat selkeämmän kuvan siitä, kuinka heidän kulutustottumuksensa vaikuttavat maksuihin ja voisivat aktiivisesti pyrkiä rajoittamaan huipputehoa.

Yksi mahdollinen keino verkon huipputehojen hallintaan on pienempien kuluttajien tehomaksujen käyttöönotto, jos verkon tilanne sitä tulee vaatimaan. Tämä tarkoittaisi, että myös pienemmät kuluttajat maksaisivat huipputehon käytöstä erillistä maksua. Tällä hetkellä tehomaksut koskevat vain suuria asiakkaita, mutta pienempien asiakkaiden mukaan ottaminen voisi jakaa kuormituksen tasaisemmin ja kannustaa kaikkia kuluttajia optimoimaan omaa sähkökäyttöään.

Loistehon osalta olisi aiheellista ottaa käyttöön induktiiviselle loisteholle ilmaisosuus. Tämä tarkoittaisi sitä, että tietty määrä induktiivista loistehoa olisi maksutonta, mikä kannustaisi kuluttajia pitämään loistehon hallinnassa ilman, että heitä rangaistaan pienistä ylityksistä. Tämä voisi erityisesti helpottaa niitä kuluttajia, joilla loistehon hallinta ei ole itsestäänselvyys ja jotka saattavat kohdata haasteita loistehon optimoinnissa.

Lisäksi olisi hyvä alkaa veloittamaan liiallisesta kapasitiivisen loistehon tuottamisesta. Kapasitiivinen loisteho alkaa aiheuttamaan ongelmia verkolle ja sen hallinta on tärkeää kokonaisvaltaisen energiatehokkuuden näkökulmasta. Veloitukset tulisi määrittää siten, että ne motivoivat kuluttajia pitämään kapasitiivisen loistehon tuoton minimissä, samalla kuitenkin huomioiden realistiset mahdollisuudet hallita tätä tehokkaasti.

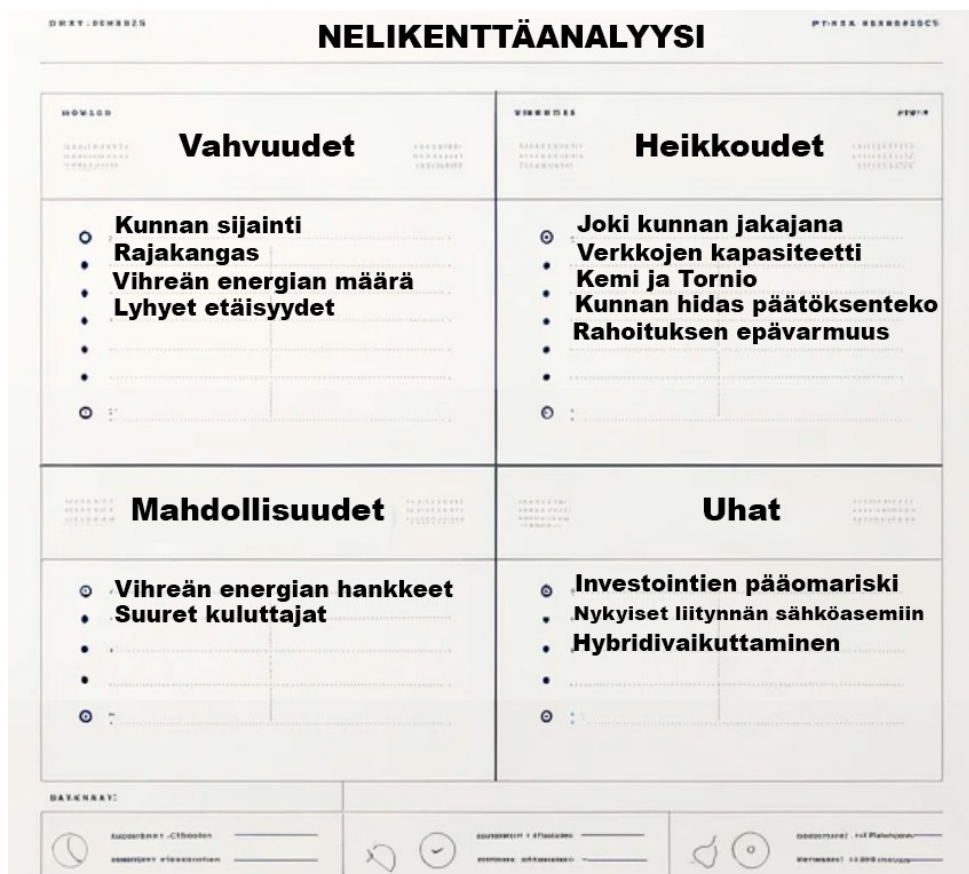
Tehomaksujen mallin ja loistehon hallinnan kehittäminen ovat keskeisiä askelia kohti energiatehokkaampaa ja tasapainoisempaa sähköverkkoa. Tarkastamalla nykyiset maksukäytännöt ja luomalla kannustimia kulutuksen optimointiin, voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia sekä kuluttajien että yhtiön näkökulmasta. Näin voidaan varmistaa, että verkon kuormitus pysyy hallinnassa ja kuluttajat kokevat maksujärjestelmän oikeudenmukaisena ja motivoivana.



Kuva 15. Kehitysehdotukset aikajanalla

#### 4.4 Nelikenttäanalyysi

KMEV Oy verkkoalue tarjoaa laajan valikoiman erilaisia palveluja, jotka ovat olennaisia alueen asukkaiden ja yritysten arjen sujuvuuden kannalta. On kuitenkin tärkeää arvioida verkkoalueen toimintaa kattavasti tarkastelemalla sen vahvuuksia ja uhkia esimerkiksi SWOT-analyysin avulla.



Kuva 16. SWOT joustopalveluista

Keminmaan kunta tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia erityisesti teollisuusyrityksille, jotka haluavat hyödyntää puhdasta ja uusiutuvaa energiaa. Keminmaan alueella on runsaasti vesivoimalaitoksia, ja kuntaan on suunniteltu myös tuulivoimaloita ja aurinkopaneelipuistoja. Tämä tekee alueesta houkuttelevan sijoituskohteen erityisesti vihreää energiaa arvostaville sijoittajille.

Uusi teollisuusalue Rajakangas, joka sijaitsee lähellä Isohaaran voimalaitosta, tarjoaa valmiit infrastruktuurit ja logistisesti edullisen sijainnin. Tämä tekee alueesta erityisen houkuttelevan suuria määriä energiaa tarvitseville teollisuusyrityksille.

Keminmaan kunnan etuja ovat lyhyet etäisyydet puhtaan energian lähteille ja kehittynyt infrastruktuuri, joka tukee uusia investointeja. Lisäksi alueella on saatavilla osaavaa työvoimaa, mikä on tärkeää kaikille teollisuuden aloille.

Keminmaan kunnan yksi merkittävimmistä heikkouksista on Kemijoki, joka jakaa kunnan kahteen osaan. Tämä aiheuttaa haasteita erityisesti infrastruktuurille, sillä esimerkiksi kaukolämpöverkko rajoittuu vain Kemijoen länsipuolen asemakaava-alueelle. Tämä estää tehokkaan energiantuotannon ja -jakelun koko kunnan alueella, mikä vähentää alueen houkuttelevuutta sijoittajien silmissä.

Yhtiön nykyinen sähkö- ja kaukolämpöverkosto ovat kapasiteetiltaan liian pieniä ollakseen kiinnostavia sijoittajille. Tämä asettaa kunnan hankalaan asemaan: tulisiko panostaa merkittäviin investointeihin verkostojen laajentamiseksi ja paikallisen elinvoiman tukemiseksi vai jatkaa nykyisellä toimintamallilla, joka ei välttämättä tarjoa kasvumahdollisuuksia?

Toinen merkittävä heikkous on kunnan sijainti Tornion ja Kemin välissä. Tämä sijainti aiheuttaa sen, että kunta jää helposti väliinputoajaksi, kun eri toimijat harkitsevat sijoittumista alueelle. Tornio ja



Kemi ovat vetovoimaisempia keskuksia suurempien väestöpohjiensa ja kehittyneempien palvelujensa ansiosta, mikä tekee Keminmaan asemasta entistä haastavamman.

Keminmaalla on useita merkittäviä hankkeita, jotka hyödyntävät uusiutuvaa energiaa ja voivat tuoda taloudellisia etuja sekä yhtiölle että kunnalle. Yksi keskeisistä mahdollisuuksista on datacenterien perustaminen alueelle, sillä ne kuluttavat suuria määriä energiaa ja hyötyisivät puhtaasta ja uusiutuvasta energiasta.

Toinen merkittävä mahdollisuus on kaivosteollisuuden laajentuminen, mikä toisi mukanaan työpaikkoja ja lisäisi energiantarvetta. Kaivosteollisuuden ja uusiutuvien energialähteiden yhdistäminen voisi tehdä toiminnasta entistä kestävämpää ja houkuttelevampaa investoijille.

Sähköautojen latauspisteiden lisääntyminen liittyy myös kunnan keskeiseen sijaintiin. Keminmaa sijaitsee liikenteessä strategisesti tärkeällä paikalla, mikä tekee siitä ihanteellisen sijainnin sähköautojen latausverkoston suurempaan laajentumiseen. Tämä lisää paikallista energiankulutusta ja kasvattaa yhtiön liikevaihtoa.

Laajentumisen suurimpia riskejä on suunniteltujen hankkeiden jääminen suunnitelmatasolle, jolloin investoinnit voivat siirtyä muualle. Tämä aiheuttaisi tilanteen, jossa sijoitettu pääoma ei tuota tarkoitettua hyötyä, mikä on erityisen huolestuttavaa, jos investoinnit on rahoitettu lainarahalla.

Toinen merkittävä riski liittyy nykyisten sähköasemien laitteistojen ikään, jotka vaativat merkittäviä investointeja. Vanhentuneiden laitteistojen käyttö voi johtaa lisääntyneisiin huoltokustannuksiin ja toimintakatkoksiin, heikentäen palvelun laatua ja luotettavuutta.

Kolmas riski liittyy joustopalveluiden sähkön syöttöpisteiden hajautettuun rakenteeseen, mikä vaikeuttaa niiden valvontaa ja hallintaa. Tämä lisää riskejä erityisesti nykyisessä turvallisuustilanteessa, jossa hybrdivaikuttaminen ja kyberhyökkäykset ovat yleistyneet. Hajautettujen syöttöpisteiden suojaaminen vaatii ylimääräisiä resursseja ja investointeja.

## 5 YHTEENVETO

Työssä selvitettiin mitä toimia Sähkömarkkinalain ja Energiaviraston vaatimukset huomioida joustopalvelut jakeluverkkoyhtiön toiminnassa todella vaatii. Joustopalveluita käsiteltiin teoriatasolla ja niiden soveltuvuutta puntaroitiin toimeksiantajan jakeluverkkoon.

Työn aikana kertyneet tiedot eri joustopalveluista ja niiden käytöstä muualla avasivat toimeksiantajan silmät oman verkon kehitysmahdollisuuksille. Teoriaa aiheesta on runsaasti saatavilla, mutta käytännön toteutuksia kuitenkin reilusti vähemmän. Vähäisetkin toteutukset mitä jakeluverkoissa oli toteutettu, mainittiin toistuvasti eri lähteissä. Maailmalla näitä toteutuksia on enemmän, mutta yhtiössä vallitsi yleinen käsitys, että palveluiden käyttöönottoon kannattaa ryhtyä vasta, kun niiden tekniikka on vakiintunut Suomessa.

Yksi opinnäytetyön keskeisistä tavoitteista oli kartoittaa joustopalveluihin liittyviä seikkoja, jotka voitaisiin sisällyttää yhtiön verkkopalveluehtoihin ja liittymisehtoihin. Tämän tarkoituksena oli varmistaa, että yhtiön tarjoamat palvelut ja niiden ehdot olisivat mahdollisimman kattavia ja ajantasaisia, mikä parantaisi asiakkaiden kokemusta ja yhtiön toiminnan sujuvuutta.

Opinnäytetyön kirjoitusprosessin aikana tapahtui kuitenkin klassinen käänne, joka vaikutti työn tekemiseen. Energiateollisuus Ry julkaisi omat päivitettyt verkkopalveluehtonsa, jotka täyttivät yhtiön tarpeet varsin hyvin. Näissä ehdoissa huomioitiin monet niistä asioista, joita oli aikaisemmin pohdittu sisällytettäväksi yhtiön omiin ehtoihin. Tämän seurauksena yhtiölle ei ole enää perusteltua luoda täysin omia ehtoja, ellei niihin pidä lisätä jotain erityisen merkittävää tai erottuvaa.

On myös tärkeää huomioida, että mikäli yhtiö päättäisi luoda omia verkkopalveluehtoja, ne tulisi hyväksyttää Energiavirastolla. Tämä prosessi on usein aikaa vievä ja monimutkainen, joten on järkevämpää hyödyntää jo olemassa olevia, Energiaviraston hyväksymiä ehtoja. Tämä säästää käytössä olevia resursseja ja takaa, että ehdot ovat linjassa alan yleisten standardien kanssa. Yleisesti voidaan todeta Energiaviraston valvonnan työllistävän henkilöstöä jakeluverkkoyhtiöissä.

Työ tehtiin tiukassa aikataulussa, mutta se sujui hyvin, sillä yhtiön sähköverkon parissa työskentelevät olivat motivoituneita miettimään työn kirjoittajan kanssa jakeluverkon kehittämistä ja punnitsemaan eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia. Työssä tehtiin haastattelu sähköverkon parissa työskenteleville toimihenkilöille, jonka lisäksi joustopalveluita käsiteltiin teknisissä palaverissa.

Alkuun innostus olikin suurta, kun nähtiin joustopalveluiden potentiaali parantaa toimitusvarmuutta ja verkon hallintaa. Kuitenkin syvällisemmän tarkastelun myötä kävi ilmi, että merkittävien muutosten toteuttaminen edellyttäisi huomattavia investointeja jakeluverkkoon. Tämä havainto oli aluksi pettymys, sillä toiveet suurista ja nopeista parannuksista joutuivat kohtaamaan todellisuuden asettamat rajoitukset. Mahdollisuus tehdä jotain "älyttömän suurta" osoittautui vähintäänkin haasteelliseksi ilman mittavia taloudellisia panostuksia ja pitkäjänteistä suunnittelua.

Toisaalta juuri tämänkaltaisten haasteiden tunnistaminen ja realististen toimintamahdollisuuksien kartoittaminen olivat työn keskeisiä tavoitteita. Työ antoi arvokasta tietoa tarjolla olevista joustopalveluista ja niiden mahdollisista vaikutuksista jakeluverkkoon. Tämän avulla pystyttiin ymmärtämään

paremmin, millaisia ratkaisuja voisi olla järkevää ja taloudellisesti kannattavaa toteuttaa. Lisäksi tiedostettiin, että yhtiön liittyville suurille asiakkaille on seuraavan viiden vuoden aikana olemassa selkeitä tehorojoituksia, jotka on otettava huomioon liittymisehtoja laadittaessa.

## LÄHTEET

Työssä on käytetty seuraavasti tekoälyä:

ChatGPT 2024. GPT-4o Käytetty hakukoneena tiedon etsimiseen, toukokuu 2024. <https://chat.openai.com>  
 ChatGPT 2024. GPT-4o Käytetty kielentarkistukseen, syyskuu 2024. <https://chat.openai.com>

ABB, 2024. *ABB vehicle-to-grid-technology*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://new.abb.com/ev-charging/abb-s-vehicle-to-grid-technology>  
 [Haettu 24 5 2024].

Alam. M. J. E., M. K. M. S. D., 2012. *Distributed energy storage for mitigation of voltage-rise impact caused by rooftop solar PV*. San Diego, IEEE.

Eaton, 2024. *www.eaton.com*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://www.eaton.com/dk/da-dk/markets/innovation-stories/microgrid-energy-systems.html>  
 [Haettu 1 6 2024].

Enea Consulting, 2017. *Urban Microgrids. Overview, challenges and opportunities*, Pariisi: Enea Consulting.

Enegia: Hietaoja Juha, 2015. *Varavoimakoneiden hyödyntäminen taajuusohjattuna häiriöreservinä ja säätösähkömarkkinoilla*, Rauma: Enegia.

Energiateollisuus2, 2024. *Selvitys markkinaehtoisten joustopalveluiden saatavuudesta jakeluverkoille -tulosraportti*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://energia.fi/julkaisut/selvitys-markkinaehtoisten-joustopalveluiden-saatavuudesta-jakeluverkoille-tulosraportti/>  
 [Haettu 26 5 2024].

Energiavirasto, 2024. *Energiavirasto*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://energiavirasto.fi/varastot-jousto-ja-lisapalvelut>  
 [Haettu 26 4 2024].

Enerim Oy, 2022. *Joustohanke loppuraportti*, Helsinki: Enerim Oy.

Fingrid1, 2024. *Itsenäinen aggregointi*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/itsenainen-aggregointi/>  
 [Haettu 28 5 2024].

Fingrid2, 2024. *Kulutuspousto*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/#kulutusjouston-projektit>

Fingrid3, 2023. *Fingrid toivoo sähkön kulutusjoustoja erittäin kireässä pakkassäässä*. [Online]  
 Saatavilla osoitteesta: <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2024/fingrid-toivoo-sahkon-kulutusjoustoja-erittäin-kireassa-pakkassaassa/>  
 [Haettu 28 5 2024].

Fingrid4, 2024. *Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito*. [Online]  
 Saatavilla osoitteesta: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/#taajuusmittausdata>  
 [Haettu 1 6 2024].

Gregow, H. et al., 2021. *Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet*, Helsinki: Suomen ilmastopaneeli.

I. Alaperä, T. H. S. H. P. M. J. P. T. K. & T. K., 2019. *Battery system as a service for a distribution system operator*. Madrid, CIRED 2019 Conference.

IEA, 2024. *Grid-scale Storage*. [Online]  
 Saatavilla osoitteesta: <https://www.iea.org/energy-system/electricity/grid-scale-storage>  
 [Haettu 28 5 2024].

IRENA, 2019. *BEHIND-THE-METER BATTERIES*. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency.

Järventausta2, S. R. P. T. A. R., 2015. *Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset*, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan laitos.

Järventausta, P. R. H. I. L. M. L. J. P. M. H., 2018. *Kuormanohjausrajapinta AMR-mittarin kautta toteutettaviin ohjauksiin*, Helsinki: Suomen työ- ja elinkeinoministeriö.

Kainulainen, M., 2019. *Haja-asutusalueen jakeluverkkoa tukevien akkuvarastojen hyödynnettävyysspotentiaali Elenian verkkoalueella*, Tampere: Tampereen yliopisto.

Kaipia, T., 2012. *Future Grid Architectures – LVDC*, Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology.

KMEV Oy, Toimihenkilöt, 2024. *Tekniset palaverit*. Keminmaa: KMEV Oy.

KMEV Oy, 2024. *Sähkönjakelun kehittämissuunnitelma 2024\_v2.0*, Keminmaa: KMEV Oy.

Motiva, 2024. *Energiayhteisömallit*. [Online]  
 Saatavilla osoitteesta: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiayhteisot/energiayhteisomallit>

Motiva2, 2024. *Sähkön kulutusjousto*. [Online]  
 Saatavilla osoitteesta: [https://www.motiva.fi/koti\\_ ja \\_asuminen/sahkon\\_kulutusjousto](https://www.motiva.fi/koti_ ja _asuminen/sahkon_kulutusjousto)  
 [Haettu 27 5 2024].

Pahkala, T. H. U. V. V., 2017. *Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskesteistä sähköjärjestelmää – Älyverkko työryhmän väliraportti*, Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.

Polestar, 2024. *Polestar What-s-v2g*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://www.polestar.com/fi/news/what-s-v2g/>  
[Haettu 25 5 2024].

Poudineh, R. J. T., 2014. *Distributed generation, storage, demand response and energy efficiency as alternatives to grid capacity enhancement*. Durham, Elsevier.

Pölönen, J., 2022. *Kehittyneiden verkostoratkaisujen elinkaarikustannukset ja käyttö verkkoyhtiössä*, Lappeenranta: LUT School of Energy Systems.

Sifat Amin, M. B., 2020. *Behind the Meter: Battery Energy Storage Concepts, Requirements, and Applications*. s.l., IEEE SMARTGRID.

Sweco, 2024. *Sweco*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://www.sweco.fi/ajankohtaista/uutiset/lidlin-jakelukeskuksessa-toimii-suomen-tehokkain-kiinteiston-oma-energiavarasto-ja-mikroverkko/>

Sähkömarkkinalaki, 2013. *Sähkömarkkinalaki 2013/588*, Helsinki: Finlex.

Sätköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016. *Sätköturvallisuuslaki 1135/2016*, Helsinki: Finlex.

TUKES, 2024. *Tukes*. [Online]

Saatavilla osoitteesta: <https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/sahkolaitteiston-haltija-ja-kaytonjohtaja>

Valtioneuvosto, 2021. *Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta*, Helsinki: Valtioneuvosto.

Vanguard Consulting Oy: Toivanen. A, 2024. *SELVITYS MARKKINAEHTOISTEN JOUSTOPALVELUIDEN SAATAVUUDESTA JAKELUVERKOILLE*, Lohja: Vanguard Consulting Oy.

Väre, T., 2024. *Kuormanohjausrajapinnan määrittely älymittareiden kautta toteutettavan ohjauksen mahdollistamiseksi*, Helsinki: Fingrid Datahub.