

Liikekiinteistöt kysyntäjousto- markkinoilla

Frans-Anton Helanne

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2025

Talotekniikan tutkinto-ohjelma,
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma,
Sähköinen talotekniikka

HELANNE, FRANS-ANTON
Liikekiinteistöt kysyntäjoustomarkkinoilla

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Huhtikuu 2025

Tämä työ käsittelee kysyntäjoustopotentialin hyödyntämistä liikekiinteistöissä ja niiden liittämistä kysyntäjoustomarkkinoille. Tavoitteena oli selvittää, onko kysyntäjoustoliitoksen teko vanhaan kiinteistöön mahdollista ja kannattavaa. Kysyntäjousto on tärkeä osa sähköverkon tasapainottamista erityisesti uusiutuvan energiantuotannon lisääntyessä, sillä se mahdollistaa sähkönkulutuksen joustavan säätelyn kulloinkin vallitsevien tuotanto-olosuhteiden mukaisesti.

Työ toteutettiin asiantuntijahaastatteluiden ja kirjallisuuskatsauksen avulla. Haastattelut kohdistuivat sekä toimeliasiantajarytksen sisäisiin että ulkoisiin asiantuntijoihin, joiden näkemykset täydensivät kirjallisuudesta saatua tietoa.

Haastatteluista ilmeni, että liikekiinteistöissä on potentiaalisia joustokohteita, joita voitaisiin liittää kysyntäjoustomarkkinoille. Kiinteistön liittäminen kysyntäjoustopotentialiin edellyttää useiden tekijöiden huomioon ottamista, kuten sähkönkulutusprofiilin analysointia, rakennusautomaatiojärjestelmän nykyaikaisuutta sekä sähkönmittausjärjestelmän tarkkuutta. Lisäksi aggregointi, eli useiden kiinteistöjen joustopotentialin yhdistäminen, voi olla tarpeen, jotta osallistuminen markkinoille on taloudellisesti kannattavaa. Rakennusautomaation ja sähkönmittauksen on oltava riittävän tarkkoja, jotta joustetun energian määrä voidaan todentaa tarkan tarkkuudella.

Työn tulokset osoittavat, että kysyntäjoustopotentiali tarjoaa liikekiinteistöille mahdollisuuden sekä taloudelliseen hyötyyn että sähköverkon vakauden parantamiseen. Joustomarkkinoille osallistuminen vaatii kuitenkin huolellista valmistelua ja teknistä yhteensopivuutta, jotta varmistetaan jouston toimivuus ilman haitallisia vaikutuksia kiinteistön käyttöön.

Asiasanat: kysyntäjoustomarkkina, sähkömarkkinat, liikekiinteistöt, aggregointi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering,
Electrical Systems

HELANNE, FRANS-ANTON
Commercial Buildings in the Demand Response Market

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 1 pages
April 2025

This thesis investigates the participation of commercial buildings in demand response markets. The main aim is to determine whether joining old commercial properties to demand response markets is possible and viable. Demand response plays a critical role in electricity grid balancing, particularly because the share of renewable energy in electricity production is increasing. Demand response makes it possible to adjust electricity consumption flexibly in line with the current production conditions.

This study was conducted through expert interviews and literature review. The interviews included specialists from both the private and public sectors. Their opinions supported the data extracted from literature.

Integrating a building into demand response means considering several factors, such as analysis of the profile of electricity consumption, age of the building automation system, and accuracy of the electricity metering system. Aggregation, the integration of demand response capacity from multiple buildings, will most likely also be necessary in order to make the integration cost-effective. The building automation as well as the electricity metering system will have to be precise enough in order to determine the amount of energy flexibility transferred to Fin-grid.

The results of this study indicate that demand response offers financial benefit and grid stability to commercial buildings. However, demand response market participation in commercial buildings requires technical integration and precise planning so that it is successfully implemented without undesirable effects on building operations.

Keywords: demand response market, electricity market, commercial buildings, aggregation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	SÄHKÖMARKKINAT	7
2.1	Pohjoismaiset sähkömarkkinat.....	7
2.1.1	Sähköpörssit sopt ja Epex	7
2.1.2	Tehotasapaino ja sen hallinta	8
2.2	Reservimarkkinat	10
2.2.1	Reservien hallinta ja jakautuminen	12
2.2.2	Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-tuotteet)	12
2.2.3	Nopea taajuusreservi (FFR)	12
2.2.4	Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR).....	13
2.2.5	Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat (mFRR).....	14
2.3	Kysyntäjousto.....	14
2.3.1	Kysyntäjouston markkinapaikat	15
2.3.2	Aggregaattorit.....	16
2.3.3	Fingridin vaatimukset kysyntäjoustoille	17
2.3.4	Reservitoimittajan vaatimukset.....	18
2.3.5	Reservikohteen vaatimukset	19
2.3.6	Kysyntäjouston hyödyt sähköverkolle.....	19
2.3.7	Taloudelliset hyödyt kiinteistöjen omistajille	20
3	TUTKIMUSMENETELMÄT	22
3.1	Asiantuntijahaastattelut	22
3.2	Kirjallisuuden hyödyntäminen	23
4	LIIKEKIINTEISTÖN LIITTÄMINEN KYSYNTÄJOUSTOON	24
4.1	Kiinteistön energiankulutus	24
4.2	Kulutuksen säädön vaikutukset.....	26
4.3	Kiinteistön rakennusautomaatio	27
4.4	Kiinteistön sähkönmittaus	28
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
6	POHDINTA	33
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	37
	Liite 1. Haastattelukysymykset.....	37

1 JOHDANTO

Nykyinen sähköenergiajärjestelmä on kokenut merkittäviä muutoksia uusiutuvan energiantuotannon kasvun myötä. Tämä kehitys on tuonut mukanaan uusia haasteita sähköverkkojen toiminnan ja tasapainon ylläpitämiseksi. Muutokset kumpuavat ennen kaikkea kiristyvistä ilmastotavoitteista, joiden tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä ja tehdä Suomen sähköntuotannosta hiilineutraalia. Toisin kuin perinteisissä polttovoimaloissa, tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto on sääriippuvaisia ja vaihtelee jatkuvasti. Tämä tuotannon epätasaisuus tekee 50 hertsin taajuuden ylläpitämisestä sähköverkossa huomattavasti haastavampaa kuin aiemmin. Uudet tuotantomuodot ovat vaikeammin säädettävissä perinteisten pyörivien turbiinien poistuessa. (Fingrid, 2017a)

Näiden haasteiden ratkaisemiseksi on kehitetty säästösähkö- ja reservimarkkinat, joiden tehtävänä on tasapainottaa sähköverkossa tapahtuvia muutoksia (Fingrid, 2017a). Esimerkiksi tilanteessa, jossa verkon taajuus nousee, Fingrid voi antaa käskyn laskea sähkönkulutusta taajuuden hallitsemiseksi. Reservimarkkinat mahdollistavat sähköjärjestelmän joustavamman ja tehokkaamman toiminnan, mikä on kriittistä uusiutuvan energian osuuden kasvaessa Suomen sähköntuotannossa.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, onko keskikokoisen tai pienen liikekiinteistön liittäminen Fingridin reservimarkkinoille mahdollista ja kannattavaa. Työ keskittyy olemassa olevien kiinteistöjen liittämiseen, eikä käsittele uusien rakennusten liittämistä reservimarkkinoille, koska niissä kysyntäjousto voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa.

Tutkimusaihe on ajankohtainen, sillä Suomessa on merkittävä määrä liikekiinteistöjä, joilla saattaa olla potentiaalia liittyä reservimarkkinoille. Tällaisen liitoksen kautta myös kiinteistön omistaja voisi hyötyä taloudellisesti. Työssä tarkastellaan erityisesti sitä, voisiko suuremman kiinteistömassan liittäminen reservimarkkinoille olla mahdollista, koska yksittäisen pienen liikekiinteistön sähkönkulutus ei yleensä ole tarpeeksi merkittävä tuottamaan hyötyä kysyntäjouston kautta. Sen

sijaan useamman kiinteistön yhteenlaskettu joustokapasiteetti voisi olla riittävän suuri, jotta liittäminen olisi kannattavaa.

Työssä ei pyritä määrittämään yksiselitteistä mallia tai ohjetta sille, minkälaisen kiinteistön liittäminen kysyntäjouksoon olisi taloudellisesti kannattavinta. Sen sijaan painopiste on teknisten vaatimusten kartoittamisessa. Työssä selvitetään minkälaiset ominaisuudet kiinteistöllä tai kiinteistömassalla tulee olla, jotta liittäminen kysyntäjouksoon on ylipäätään mahdollista.

Opinnäytetyö toteutetaan yhdistämällä kirjallisuutta ja asiantuntijahaastatteluita. Kirjallisuuden avulla hyödynnetään olemassa olevaa tietoa, ja haastatteluiden kautta saadaan syvempää ymmärrystä aiheesta sekä käytännön näkemyksiä. Työn lopputuloksena syntyy kattava tietopaketti liikekiinteistöjen teknisistä vaatimuksista, jotka kiinteistön tulee täyttää, jotta se voidaan liittää reservimarkkinoille. Lisäksi työ tarjoaa yleiskuvan siitä, millaisissa tapauksissa liittäminen kysyntäjoukustomarkkinaan voisi olla taloudellisesti kannattavaa. Lopputulos antaa arvokasta pohjatietoa kysyntäjouksoon liittymisestä erityisesti keskikokoisten ja pienten liikekiinteistöjen näkökulmasta. Työ on toteutettu yhteistyössä Granlund Oy:n kanssa.

2 SÄHKÖMARKKINAT

Kysyntäjousto liittyy kiinteästi sähkömarkkinoihin ja sähköverkon tehotasapainon ylläpitämiseen. Jotta voidaan ymmärtää, miten kysyntäjousto toimii ja miksi se on tärkeää, on ensin perehdyttävä sähkömarkkinoiden toimintaan. Tässä luvussa käsitellään sähkömarkkinoiden perusteita, jotka luovat pohjan kysyntäjouaston ominaisuuksien ja vaatimusten tarkastelulle.

2.1 Pohjoismaiset sähkömarkkinat

Suomen sähköverkko muodostuu useista toimijoista, kuten voimalaitoksista, kantaverkosta, jakeluverkoista ja sähkökuluttajista. Suomen sähköverkko liittyy yhteiseen pohjoismaiseen sähkömarkkinaan, mikä tarkoittaa, että kaikilla Pohjoismailla on yhteinen markkina. Näitä markkinoita hallinnoi Nord Pool -sähköpörssi. Vaikka Suomi tuottaa suuren osan tarvitsemastaan sähköenergiasta, talviaikaan kotimainen tuotanto ei aina riitä kattamaan kysyntää, jolloin sähköä tuodaan ulkomailta. Suomi myös vie sähköenergiaa muihin maihin. Suomen sähköverkolla on siirtoyhteyksiä Ruotsiin, Norjaan ja Viroon, mikä mahdollistaa sähkön tuonnin ja viennin tarpeen mukaan. (Fingrid, 2024)

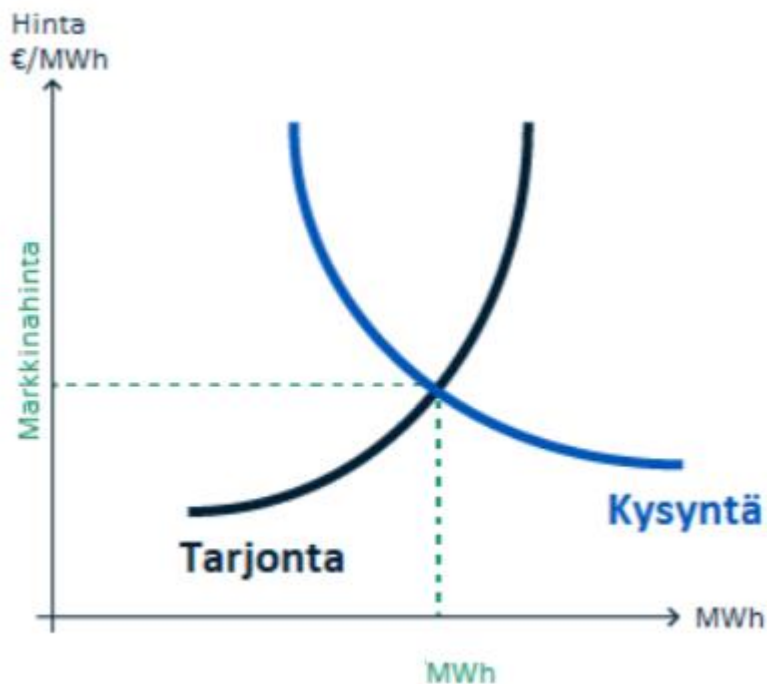
Sähkö on hyödyke, mitä lähes jokainen ihminen tarvitsee päivittäin. Sähkön varastoiminen on kuitenkin todella hankalaa, joten sähköä pitää tuottaa saman verran, kuin sitä kulutetaan. Kulutuksen taso vaihtelee todella merkittävästi esimerkiksi pohjoisessa ulkolämpötilan mukaan. Suomessa sähkönkulutus voi kylmänä päivänä nousta jopa 15 000 megawattiin tai lämpimänä kesäyönä olla vain 6000 megawattia (Fingrid, 2023).

2.1.1 Sähköpörssit sopt ja Epex

Nord Pool Spot ja Epex ovat sähköpörssejä, joissa sähkön vähittäismyyjät ja suuret teollisuusyritykset ilmoittavat ennusteidensa pohjalta seuraavan päivän säh-

könkulutustarpeensa sekä hinnan, jolla ne ovat valmiita ostamaan sähköä. Vastaavasti sähköntuottajat tarjoavat järjestelmään tiedot siitä, millä hinnalla ja kuinka paljon sähköä ne voivat myydä. Näin sähköpörssit toimivat alustana, joka yhdistää sähkön ostajien ja myyjien tarjoukset. (Fingrid, 2023)

Pohjoismaiset sähköpörssit, kuten Nord Pool Spot, yhdistävät tarjous- ja kysyntätiedot muiden eurooppalaisten sähköpörssien kanssa. Tämän yhteistyön tuloksena kullekin vuorokauden tunnille ja tarjousalueelle, kuten Suomelle, saadaan yksi pörssihinta. Hinta muodostuu marginaalihinnoittelun periaatteella, jossa kysyntä- ja tarjontakäyrät kohtaavat. Kuviossa 1 on mallinnettu tätä leikkauspistettä. Tämä kohta määrittää sähkön pörssihinnan, joka perustuu markkinoiden kysynnän ja tarjonnan tasapainoon. (Särkijärvi, 2009)



KUVIO 1. Sähkön hinnan muodostuminen. Muokattu lähteestä (Järventausta, 2023)

2.1.2 Tehotasapaino ja sen hallinta

Sähkön kulutuksen ja tuotannon välistä tasapainoa kutsutaan tehotasapainoksi. Sen ylläpitäminen on välttämätöntä sähköverkon vakaan toiminnan kannalta, sillä verkon taajuuden on pysyttävä välillä 49,9–50,1 hertsiä (Hz). Mikäli taajuus poikkeaa tästä vaihteluvälistä yli 0,1 Hz, seurauksena voi olla laitteistovaurioita, sekä

häiriöitä sähköjärjestelmässä. Suurin osa sähkölaitteista on suunniteltu toimimaan 50 Hz taajuudella. Merkittävät muutokset voivat aiheuttaa vakavia häiriöitä sekä kuluttajille että teollisuuden tuotantoprosesseille. Äkilliset ja suuret poikkeamat voivat johtaa jopa laajamittaisiin sähkökatkoihin tai sähköverkon suojamekanismien aktivoitumiseen, mikä voi aiheuttaa haasteita sähköverkon hallinnalle. (Fingrid, 2017b)

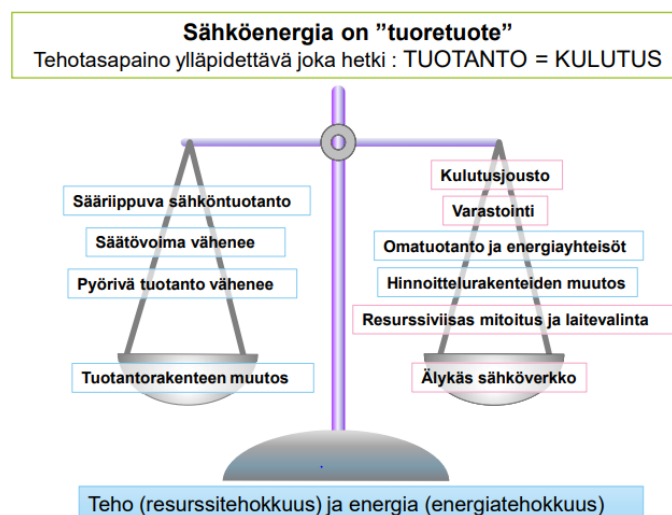
Sähkön kulutus vaihtelee jatkuvasti, ja siihen vaikuttavat monet tekijät, kuten vuorokauden aika, sääolosuhteet ja teollisuuden tuotantotarpeet. Erityisesti talvikaudella kulutus kasvaa huomattavasti, kun lämmitystarve lisääntyy. Myös sähkön tuotanto on altis vaihteluille, sillä se riippuu muun muassa voimalaitosten tuotantokapasiteetista, polttoaineiden saatavuudesta ja uusiutuvien energialähteiden, kuten tuulivoiman, tuotantomääristä. Näiden tekijöiden vuoksi tehotasapainon ylläpito vaatii jatkuvaa seuranta ja nopeita säätötoimenpiteitä. (Fingrid, 2017b)

Tehotasapainon hallinta on monivaiheinen ja haastava prosessi, sillä sähkön tuotannon on vastattava kulutusta reaaliaikaisesti. Koska sähköä ei voida varastoida merkittäviä määriä, tuotannon ja kulutuksen on oltava tasapainossa joka hetki. Kulutuksen määrä vaihtelee sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä, mikä edellyttää tuotannon sopeutumista muuttuviin olosuhteisiin. Kuvio 2. esittää hyvin sitä, mitkä asiat vaikuttavat tehotasapainon hallintaan. Suurimmat sähkökuluttajat, kuten teollisuuslaitokset ja suuret palvelinkeskukset, ovat velvollisia ilmoittamaan kulutuksensa etukäteen, jotta sähköjärjestelmän hallinta voidaan toteuttaa tehokkaasti. (Fingrid, 2017b)

Suomessa tehotasapainon ylläpidosta vastaa kantaverkkoyhtiö Fingrid, jonka tehtävänä on varmistaa sähköjärjestelmän vakaus. Fingrid hallitsee tehotasapainoa useilla eri keinoilla, kuten aktivoimalla säätötarjouksia, ylläpitämällä säätösähkömarkkinoita ja varaamalla reservejä. Säätösähkömarkkinat mahdollistavat nopean reagoinnin kulutuksen ja tuotannon muutoksiin, ja reservit toimivat varajärjestelmänä poikkeustilanteissa. Lisäksi Fingrid hyödyntää automaattisia taajuusohjattuja reservejä, jotka voivat aktivoitua sekunneissa taajuuspoikkeamien tasoittamiseksi. Näiden keinojen avulla varmistetaan, että sähköverkko toimii luotettavasti kaikissa tilanteissa ja että sähkön toimitus kuluttajille ja yrityksille on keskeytyksetöntä. (Fingrid, 2017b)

Fingridin ylläpitämien reservien rinnalla toimii tehoreservijärjestelmä. Sen tehtävänä on turvata sähkön toimitusvarmuus tilanteissa, joissa sähkön hankinta ei riitä kattamaan kulutusta. Tehoreserveinä voivat toimia sekä voimalaitokset että sähkönkulutuksen joustoon kykenevät kohteet. Voimalaitokset, jotka on varattu tehoreservijärjestelmään, eivät voi osallistua kaupallisille sähkömarkkinoille, vaan ne ovat varattuina vain järjestelmän käyttöön. Kulutuksen joustoon kykenevät kohteet puolestaan voivat hetkellisesti vähentää sähkönkulutustaan tarpeen mukaan, mikä osaltaan auttaa sähköverkon tasapainottamisessa. (Fingrid, 2017b)

Tehotasapainon hallinta



KUVIO 2. Tehotasapainon hallinta (Järventausta, 2023)





2.2 Reservimarkkinat

Reservimarkkinat ovat keskeinen osa sähköjärjestelmän hallintaa, ja niiden tarkoituksena on varmistaa sähköverkon vakaus kaikissa tilanteissa. Pohjoismaissa, eli Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Itä-Tanskassa, reservien ylläpitovelvoitteet on sovittu maiden järjestelmävästävien kantaverkkoyhtiöiden välisellä käyttösopimuksella. Reservimarkkinoilla hankitaan kapasiteettia, jota voidaan käyttää sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseen. (Fingrid, 2017c)

Reservimarkkinat koostuvat erityyppisistä reserveista, joista yksi on taajuusohjattu käyttöreservi. Tätä reserviä ylläpidetään jatkuvasti 600 MW:n teholla, ja sen tehtävänä on huolehtia normaalitilan taajuudensäätelystä. Taajuusohjattua reserviä tuodaan enemmän esille, koska se liittyy oleellisesti tämän työn tutkimusnäkökulmaan. Lisäksi sähköjärjestelmässä ylläpidetään taajuusohjattua häiriöreserviä, jonka tarkoituksena on estää yksittäisen vian aiheuttama taajuuspoikkeama, joka voisi muutoin ylittää 0,5 Hz. Häiriöreservin tarve määräytyy suurimman yksittäisen vian mukaan ja mitoitetaan erikseen sekä ali- että ylitaaajuushäiriöitä varten. Kuviossa 3. on esitetty kaikki reservit suomessa. (Fingrid, 2017c)

Pohjoismaissa yhteisesti ylläpidettävä taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi jaetaan maiden kantaverkkoyhtiöiden kesken vuosittain. Jakautuminen perustuu kunkin maan sähkönkulutukseen ja -tuotantoon, jolloin reservivastuut kohdistuvat oikeudenmukaisesti kullekin osapuolelle. Suomessa reservimarkkinoiden toimintaa valvoo ja ylläpitää Fingrid, joka vastaa siitä, että sähköjärjestelmä säilyy tasapainossa kaikissa tilanteissa. (Fingrid, 2017c)

Reservimarkkinat Suomessa

	FFR	ED	FCR-N	aFRR	mFRR
	Nopea taajuusreservi, Suomi 20 %, Pohjoismaissa yht. 0-300 MW (arvio)	Taajuusohjattu häiriöreservi, Suomi 290 MW, Pohjoismaissa 1 450 MW	Taajuusohjattu käyttöreservi, Suomi 120 MW, Pohjoismaissa 600 MW	Automaattinen taajuudenhallinta-reservi, Suomi 60-80 MW, Pohjoismaissa 300-400 MW	Säätösähkö- ja säätökapasiteetti-markkinat, Mitoittava vika + tasevastaavien tasevirhe
Aktivointi	Suurissa taajuuspoikkeamissa, käytössä pienen inertian tilanteissa	Suurissa taajuuspoikkeamissa	Käytössä jatkuvasti	Käytössä kohdistetuilla tunneilla	Tarvittaessa
Nopeus	Sekunnissa	Sekunneissa	Parissa minuutissa	Viidessä minuutissa	Vartissa
					

5

Reservit

26.8.2020

FINGRID

KUVIO 3. Reservituotteet Suomessa (Fingrid, 2018)

2.2.1 Reservien hallinta ja jakautuminen

Reservien hallinta perustuu ennakoituihin ja äkillisiin muutoksiin sähköverkon toiminnassa. Alitaajuushäiriötä voi syntyä esimerkiksi silloin, kun suuri tuotantolaitos tai merkittävä sähkön tuontiyhteys irtoaa verkosta. Tällöin tarvitaan ylössäätökapasiteettia, jota Pohjoismaissa mitoitetaan enimmillään 1450 MW. Vastavasti ylitaajuushäiriö voi syntyä tilanteessa, jossa suuri sähkön kulutuskohde tai tärkeä sähkön vientiyhteys poistuu käytöstä, jolloin alassäätöä tarvitaan jopa 1400 MW. (Fingrid, 2017c)

2.2.2 Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-tuotteet)

Taajuusohjatut käyttö- ja häiriöreservit (FCR-tuotteet) ovat sähköjärjestelmän taajuuden vakautusreservit, jotka aktivoituvat automaattisesti taajuuden muuttuessa. Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) pitää sähköverkon taajuuden normaalilla tasolla (49,9–50,1 Hz), kun taas taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D) estää taajuuden laskemisen alle 49,5 Hz:n tai nousun yli 50,5 Hz:n poikkeustilanteissa. Käyttöreservi toimii symmetrisesti sekä ylös- että alassäätöön. Häiriöreservi puolestaan on jaettu erillisiin ylös- ja alassäätötuotteisiin, jotka aktivoituvat riippuen siitä, onko verkossa tuotantovajetta vai ylitarjontaa. Näiden reservien avulla varmistetaan sähköjärjestelmän vakaus ja häiriöttömyys kaikissa tilanteissa. (Fingrid, 2017d)

2.2.3 Nopea taajuusreservi (FFR)

Nopea taajuusreservi (FFR) on sähköjärjestelmän häiriötilanteiden hallintaan kehitetty reservituote, jota käytetään erityisesti silloin, kun järjestelmän inertia on matala. Inertia tarkoittaa sähköverkon pyöriin massoihin varastoitunutta liikeenergiaa, joka hidastaa taajuuden muutoksia. Nopean taajuusreservin avulla estetään tilanteet, joissa yksittäisen voimalaitoksen tai HVDC-siirtoyhteyden (High Voltage Direct Current) vika voisi laskea sähköverkon taajuuden alle kriittisen

49,0 Hz:n rajan. Taajuusmuutoksen suuruus riippuu häiriön aiheuttamasta tehomuutoksesta, järjestelmän inertian tasosta ja reservien aktivoitumisnopeudesta. (Fingrid, 2019)

Pohjoismaissa nopea taajuusreservi otettiin käyttöön toukokuussa 2020, ja Suomessa sen hankinnasta vastaa Fingrid. Reserviä hankitaan kansallisilta markkinoilta, ja markkinoille osallistuminen edellyttää FFR-markkinasopimuksen tekemistä sekä hyväksytysti suoritettua säätökoetta. Säätökokeessa varmistetaan, että reservikohteen säätöominaisuudet täyttävät vaaditut tekniset kriteerit. Nopean taajuusreservin käyttö on tärkeä osa sähköverkon vakautta, erityisesti tilanteissa, joissa inertian eli hitausmassan määrä on alhainen ja järjestelmä on alttiimpi äkillisille taajuusmuutoksille. (Fingrid, 2019)

2.2.4 Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR)

Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR) on vuonna 2013 Pohjoismaissa käyttöön otettu reservituote, jonka tehtävänä on palauttaa sähköjärjestelmän taajuus nimellistasolle ja varmistaa taajuudensäätöalueen tehotasapainon säilyminen suunnitellussa arvossa. Tämä reservi toimii automaattisesti ja keskitetysti, aktivoituen sähköverkon taajuuspoikkeamien perusteella. Aktivointi tapahtuu kantaverkkoyhtiön lähettämän tehonmuutossignaalin avulla, mikä mahdollistaa nopean reagoinnin sähköjärjestelmän tasapainon ylläpitämiseksi.

Automaattisen taajuuden palautusreservin säätökohteen vähimmäiskoko on 1 MW, ja sen on pystyttävä aktivoitumaan enintään viidessä minuutissa. Tämä varmistaa nopean ja tehokkaan taajuudensäätötoiminnan sähköverkon vakauden turvaamiseksi. Tekniset vaatimukset ja hyväksyttämismenettely on määritelty tarkemmin erillisessä dokumentissa, joka sisältää yksityiskohtaista tietoa reservin toimintaperiaatteista ja teknisistä vaatimuksista. (Fingrid, 2017e)

2.2.5 Säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat (mFRR)

Säätosähkömarkkinat ovat osa sähköjärjestelmän tasapainotusta, ja niitä ylläpitävät Pohjoismaiden kantaverkkoyhtiöt yhteistyössä. Suomessa Fingrid vastaa säätosähkömarkkinoiden toiminnasta. Näillä markkinoilla reservitoimittajat voivat tarjota säästökykyistä kapasiteettiaan, ja heille maksetaan korvaus, mikäli heidän säästötarjouksensa aktivoidaan. Säätosähkömarkkinoiden avulla kantaverkkoyhtiöt tilaavat tarvittavan määrän säätöjä tehotasapainon hallintaan sekä sähköjärjestelmän käyttövarmuuden varmistamiseksi niin normaali- kuin häiriötilanteissa-kin.

Säätökapasiteettimarkkinoiden tarkoituksena on varmistaa, että sähköjärjestelmässä on aina riittävästi taajuuden palautusreserviä tuotannon ja kulutuksen tasapainon ylläpitämiseksi. Fingrid hankkii säätökapasiteettia ennakoon, jotta tarvittava reservimäärä on käytettävissä sähköjärjestelmän häiriötilanteiden hallintaan ja siirtoverkon käyttövarmuuden takaamiseen. Säätökapasiteettimarkkinoilla reservitoimittajat sitoutuvat jättämään tarjouskilpailussa hyväksytyyn määrän säästötarjouksia säätosähkömarkkinoille ja saavat tästä kapasiteettikorvausta. Tämä mekanismi mahdollistaa nopean ja tehokkaan reagoinnin sähköverkon tasapainon ylläpitämiseksi. (Fingrid, 2017f)

2.3 Kysyntäjousto

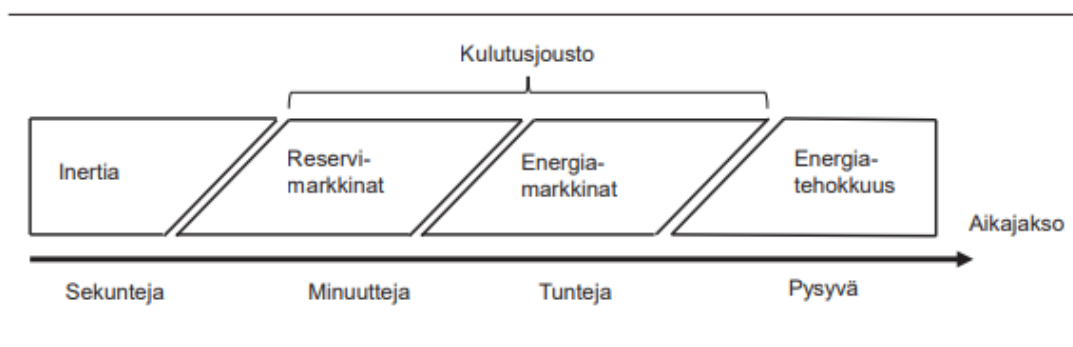
Kysyntäjousto eli kulutusjousto tarkoittaa sähkönkulutuksen mukauttamista sähkömarkkinoiden hintasignaalien perusteella. Käytännössä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi sähkönkäytön siirtämistä korkeiden hintojen ajankohdista edullisemmille tunneille, jolloin kuluttaja voi pienentää sähkölaskuaan. Lisäksi kulutusjouston avulla voidaan osallistua sähkömarkkinoille, esimerkiksi myymällä joustoa reservimarkkinoille. (Sähköinfo Severi, 2024)

Kulutusjousto on yhä tärkeämmässä roolissa sähköjärjestelmän tasapainon ylläpitämisessä, sillä joustamattoman ja sääriippuvaisen sähköntuotannon, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, osuus kasvaa jatkuvasti. Koska sähköntuotannon ja -ku-

lutuksen on oltava joka hetki tasapainossa, kulutusjousto tarjoaa kustannustehokkaan tavan hallita sähköverkon vaihteluita. Aiemmin kulutusjoustosta käytettiin yleisesti termiä kysyntäjousto. Kumpikin nimitys tarkoittaa samaa asiaa, jolloin molemmat termit ovat käyttökelpoisia. (Sähköinfo Severi, 2024)

2.3.1 Kysyntäjouaston markkinapaikat

Sähköverkon kyky vastata äkillisiin kulutuksen muutoksiin riippuu järjestelmän inertian määrästä. Kun perinteisten lauhde- ja yhteistuotantovoimalaitosten osuus pienenee ja tuuli- ja aurinkovoiman osuus kasvaa, verkon inertia heikenee. Tätä voidaan kompensoida investoimalla virtuaaliseen inertiaan, jota tuotetaan esimerkiksi akustoilla, tehoelektronikalla ja synkronikompensaattoreilla. Kulutusjouaston nopeuteen vaikuttavat tekniset tekijät, kuten viiveet tiedonsiirrossa ja kuorman säätöominaisuudet, jotka määrittävät lyhimmän mahdollisen aikajakson, jolla joustoa voidaan toteuttaa. Tätä on kuvattu kuviossa 4. (Sähköinfo Severi, 2024)



KUVIO 4. Kulutusjouaston markkinapaikat sähköverkkojärjestelmien tasapainonhallinnassa (Härkönen, 2023)

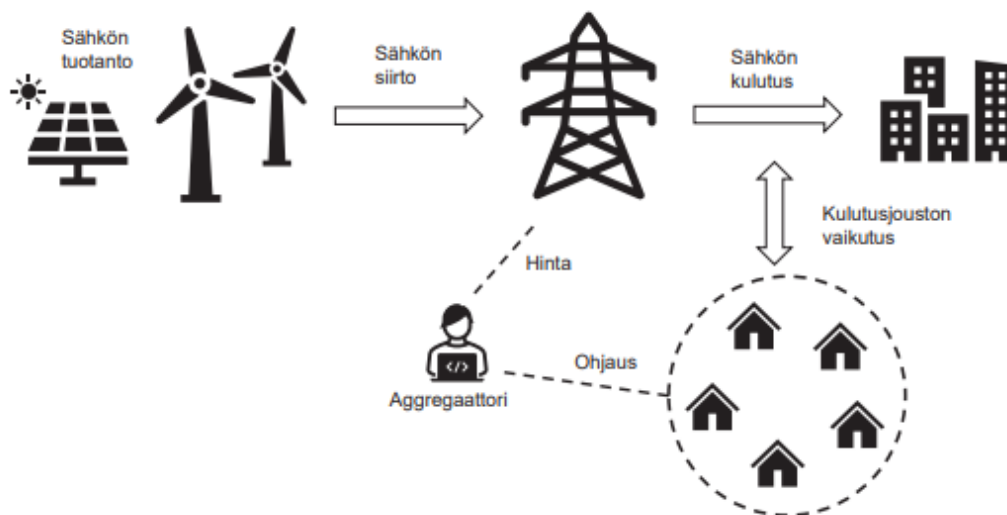
Tasapainon ylläpitämiseksi Fingrid hankkii markkinoilta reservejä, joita voivat olla voimalaitokset, energiavarastot ja joustava sähkönkulutus. Eri reservituotteilla on omat sääntönsä, kuten minimitehovaatimukset ja vasteajat, jotka määrittävät niiden käytön tehokkuuden. Reservien hinnat määräytyvät markkinaehtoisesti tarjousten perusteella, ja hinnoittelussa käytetään sekä vuosikohtaista että tuntikohtaista mallia. Tulevaisuudessa tuntihinnoittelu siirtyy osaksi Euroopan laajuista

varttitasejärjestelmää, jossa hinnat päivittyvät 15 minuutin välein, mikä mahdollistaa entistä tarkemman sähköjärjestelmän tasapainotuksen. (Sähköinfo Severi, 2024)

Taajuusohjatuissa reserveissa, kuten nopeassa taajuusreservissä (FFR) ja taajuusohjatussa käyttö- ja häiriöreservissä (FCR), kulutusjousto perustuu sähköverkon taajuuspoikkeamiin. Järjestelmät voivat hyödyntää esimerkiksi rakennusautomaatiota, joka säätää kuormien tehoa, kun taajuus ylittää ennalta määritellyn raja-arvon. Lisäksi joustavat laitteet voivat sisältää sisäänrakennetun taajuuden mittauksen, mikä mahdollistaa erittäin nopean reagoinnin verkon taajuusmuutoksiin ja varmistaa sähköjärjestelmän vakautta. (Fingrid, 2017g)

2.3.2 Aggregaattorit

Aggregaattorit ovat sähkömarkkinoilla toimivia yrityksiä, jotka yhdistävät useita pieniä kulutus- ja tuotantokohteita suuremmaksi kokonaisuudeksi. Tämä mahdollistaa niiden osallistumisen eri sähkömarkkinapaikoille, kuten reservimarkkinoille, joille tarjottavaa kapasiteettia yksittäiset kulutuskohteet eivät pysty itse muodostamaan. Kuluttajan oma tuotanto voidaan rinnastaa kulutusjoustoan, mikäli se reagoi markkinatilanteeseen, esimerkiksi sähkön hinnan nousuun, ja vähentää näin sähkön ottoa verkosta. Rakennusten ja liiketilojen varavoimakoneet ovat esimerkki tällaisesta pientuotannosta, jota voidaan hyödyntää kulutusjoustoan tehostamisessa. Käytännössä Aggregaattori kokoaa hajallaan olevista joustavista kuormista kokonaisuuden, jolla se käy kauppaa reservimarkkinoilla. Tätä on havainnollistettu kuviossa 5. (Fingrid, 2017a)



KUVIO 5. Aggregaattorin toiminta (Härkönen, 2023)

2.3.3 Fingridin vaatimukset kysyntäjoustolle

Fingridin reservimarkkinoille osallistuminen edellyttää selkeitä rooleja ja vaatimusten täyttämistä. Reservitoimittajat ja reservikohteet ovat keskeisiä toimijoita, jotka varmistavat sähköjärjestelmän joustavuuden ja vakauttavat kulutuksen ja tuotannon välistä tasapainoa. Reservitoimittaja vastaa reservipalvelusta ja sen hallinnoinnista, kun taas reservikohde on itse joustoa tarjoava resurssi, kuten voimalaitos, energiavarasto tai joustava kuorma. Jotta nämä toimijat voivat osallistua markkinoille, niiden on täytettävä tietyt tekniset ja markkinaehtoiset vaatimukset. Taulukossa 1. on kuvattu kaupankäynnin vaatimukset eri markkinapaikoille.

Taulukko 1. Kaupankäynnin vaatimukset (Fingrid, 2018)

Tuote	Sopimustyyppi	Minimi- tarjouskoko	Aktivoituminen	Aktivoituu	Korvaustaso 2018 *)
Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	0,1 MW	Lineaarisesti välillä 50,1 - 49,9 Hz, 0,1 Hz muutos 100 % 3 min	Useita kertoja tunnissa	14 €/MW,h (vuosimarkkinat)
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	1 MW	Voimalaitokset: lineaarisesti välillä 49,9 - 49,5 Hz kun f alle 49,5 Hz 50% 5s ja 100% 30s Relekytketyt kuormat: vaihtoehtoisesti 49,7 Hz 5s TAI 49,6 Hz 3s TAI 49,5 Hz 1s	Useita kertoja vuorokaudessa Muutaman kerran vuodessa	4,5 €/MW,h (vuosimarkkinat)
Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	FG:n lähettämän tehopyyntisignaalin mukaisesti, 100% 2 min	Useita kertoja vuorokaudessa	Kapasiteettikorvaus pay as bid periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Säätösähkömarkkinat (mFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	100% 15 min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Markkinahinta
Säätökapasiteetti-markkinat (mFRR)	Viikkomarkkinat	5 MW	100 % 15 min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Kapasiteettikorvaus pay as a bid periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Vuorokausimarkkina (Elsport) **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	12 h	-	Markkinahinta
Päivän sisäinen markkina (Elbas) **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	1 h	-	Markkinahinta
Tehoreservi ***)	Pitkäaikainen	10 MW	15 min kuormille, 12 h voimalaitoksille	Harvoin	EV:n hankintakilpailun mukaisesti

*) Korvaustason hinnat ovat viitteellisiä, tarkemmat ehdot ja hinnoitteluperiaatteet löytyvät kuhunkin markkinapaikkaan liittyvistä sopimuksista.

***) Nord Pool

****) Energiavirasto

2.3.4 Reservitoimittajan vaatimukset

Reservitoimittaja voi olla joko säätökykyisen resurssin omistaja tai avoimen sähkön toimitusketjun osapuoli, kuten sähkönmyyjä tai tasevastaava. Tietyissä reservituotteissa, kuten nopeassa taajuusreservissä (FFR) ja taajuusohjatuissa reserveissa (FCR-D ja FCR-N), myös muut toimijat voivat toimia reservitoimittajina.

Mikäli reservitoimittaja ei itse omista reservikohdetta, tulee sillä olla omistajan lupa säätökäytölle. Lisäksi, jos reservitoimittaja ei ole resurssin tasevastaava, on tasevastaavaa informoitava säätökäytöstä. Tasevastaava on osapuoli, joka vastaa sähkön tuotannon, hankinnan, kulutuksen ja myynnin välisestä tehotasapainosta. Tasevastaava solmii tasepalvelusopimuksen Fingridin kanssa, joka määrittää ehdot tasepalveluille. Reservitoimittajan tulee myös solmia sopimus Fingridin kanssa reservimarkkinoille osallistumisesta. Vaikka reservitoimittaja vastaa reservipalvelusta Fingridille, se voi käyttää palveluntoimittajaa esimerkiksi hoitamaan markkinatarjouksia. (Fingrid, 2017h)

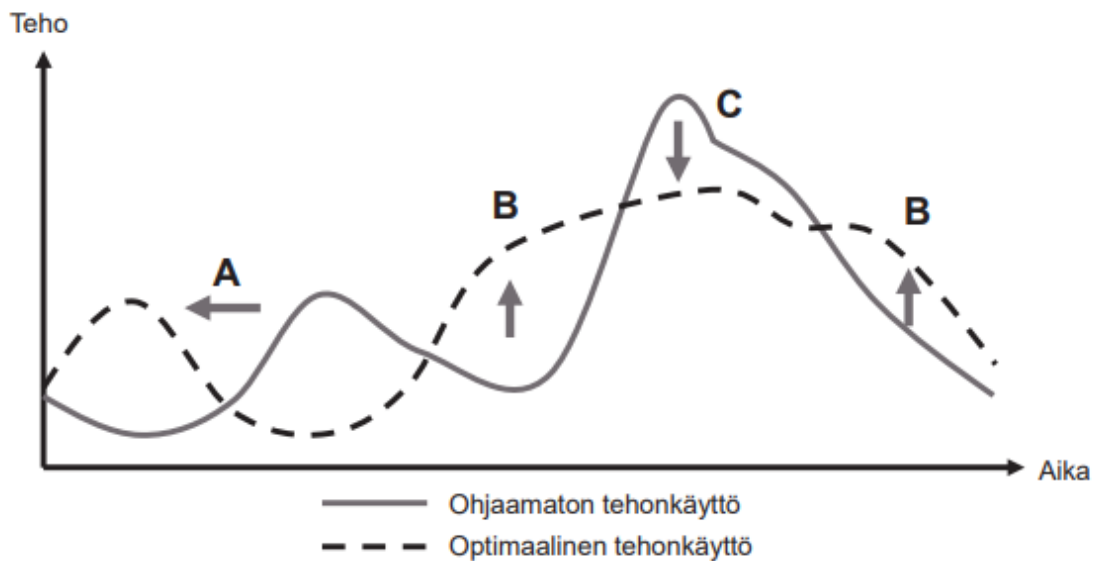
2.3.5 Reservikohteen vaatimukset

Reservikohde on yksittäinen tai aggregoitu resurssi, joka täyttää kyseisen reservituotteen tekniset ja markkinapaikan vaatimukset. Mikäli yksittäinen resurssi ei täytä kaikkia vaatimuksia, voidaan useita resursseja yhdistää reservikohteeksi, joka täyttää vaatimukset kokonaisuutena. Tämä on mahdollista esimerkiksi FFR-N ja FCR-D-reserveissä myös eri tasevastaavien taseista. Lisäksi reservikohteen tulee sijaita Suomessa tai olla suoraan kytkettävissä Suomen sähköverkkoon. Automaattisten reservien, kuten FFR:n, FCR-D:n, FCR-N:n ja aFRR:n, säätöominaisuudet tulee todentaa säätökokeella ennen joustomarkkinoille osallistumista. Kysyntäjouston hyödyntäminen reservimarkkinoilla edellyttää siis sekä reservitoimittajalta että reservikohteelta tarkasti määriteltyjen vaatimusten täyttämistä, mikä osaltaan varmistaa sähköjärjestelmän tasapainon ja luotettavuuden. (Fingrid, 2017h)

2.3.6 Kysyntäjouston hyödyt sähköverkolle

Kysyntäjousto tarjoaa merkittäviä hyötyjä energiajärjestelmälle, erityisesti taajuuden ja huipputehojen hallinnassa. Kun kulutus kasvaa, järjestelmän tasapainoa voidaan ylläpitää joko lisäämällä tuotantoa tai vähentämällä kulutusta joustavien kuluttajien avulla. Tällöin sähköverkon taajuus pysyy halutuissa raameissa. Kysyntäjouston avulla kuluttajat voivat mukauttaa sähkönkäyttöään siirtämällä kulutusta pois huipputehon tunneilta edullisempiin ajankohtiin, jolloin sähkön kysyntä

ja tarjonta kohtaavat paremmin. Tämä vähentää tarvetta käynnistää kalliita ja päästöintensiivisiä varavoimalaitoksia sekä keventää sähköverkkoon kohdistuvaa kuormitusta. Lisäksi kulutusjousto voi auttaa hyödyntämään tilanteita, joissa sähköntuotannossa on hetkellistä ylitarjontaa, esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoiman runsaan tuotannon aikana. Näin kysyntäjousto tukee energiajärjestelmän kustannustehokkuutta, joustavuutta ja kestävyyttä, vähentäen samalla huipputehon tarvetta, kuten alla oleva havainnollistava kuvio 6. osoittaa. (Sähköinfo Severi, 2024)



KUVIO 6. Huipputehon pieneneminen kysyntäjouston avulla (Sähköinfo Severi, 2024)

2.3.7 Taloudelliset hyödyt kiinteistöjen omistajille

Kysyntäjousto ei ainoastaan edistä sähköjärjestelmän tasapainoa ja tehokkuutta, vaan se tarjoaa myös mahdollisuuden ansaita rahaa osallistumalla reservimarkkinoille. Kuluttajat ja yritykset, jotka voivat joustaa sähkönkulutuksessaan, voivat myydä joustokapasiteettiaan sähkömarkkinoille ja saada siitä korvausta. Vuosituoton arvioimiseksi käytetään laskentakaavaa, jossa hyväksytyt reservikapasiteetti, keskimääräinen markkinahinta ja joustomahdollisuuksien pysyvyys muodostavat kokonaistulon. Yhden megawatin suuruisen jouston tarjoaminen 5 000 tuntina vuodessa taajuussäätömarkkinoille (FCR-D) tuottaisi nykyhinnoilla noin

70 000 euroa vuodessa (Määttä et al., 2020). Fingridin avoimista datoista ja kuvaajista on mahdollista seurata toteutuneita tuntihintoja ja hankintamääriä, joiden perusteella voi arvioida potentiaalista ansaintaa vielä tarkemmin. Tämä tekee kysyntäjoustopuolasta houkuttelevan vaihtoehdon kuluttajille ja yrityksille, jotka haluavat hyödyntää sähkömarkkinoiden tarjoamia mahdollisuuksia taloudellisesti. Kuitenkin kaikki kohteet ovat hyvin erilaisia ja tuottomahdollisuudet tulee laskea tarkkaan ennen mahdollisia investointeja. Myös markkinoiden hinnat vaihtelevat kysynnän ja tarjonnan mukaan, joka voi asettaa riskejä investoinneille. Nämä kaikki skenaariot kannattaa ottaa huomioon jo ennen kysyntäjoustopuolasta liittymistä. (Fingrid, 2017i)

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä tutkimuksessa keskitytään kysyntäjouaston liittämiseen vanhoihin liikekiinteistöihin. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten kysyntäjousto voidaan toteuttaa käytännössä ja mitkä ovat sen hyödyt ja haasteet. Tutkimusmenetelminä käytetään asiantuntijahaastatteluita ja kirjallisuuden hyödyntämistä, jotta saadaan kattava ja monipuolinen kuva aiheesta.

3.1 Asiantuntijahaastattelut

Työn ensisijaisena tutkimusmenetelmänä käytettiin asiantuntijahaastatteluita, joiden avulla kerättiin tietoa kysyntäjouaston liittamisestä liikekiinteistöihin. Kaikki haastatellut henkilöt olivat eri yrityksistä tai tahoista. Näin saatiin kattavampaa tietoa, joka ei perustu vain yhden toimijan näkökulmaan. Haastattelut toteutettiin sekä toimeksiantajayrityksen sisällä, jossa työ tehtiin, että sen ulkopuolella. Yrityksen sisäinen asiantuntemus ja käytännön kokemus kysyntäjouaston toteuttamisesta tarjosi kattavaa tietoa, kun taas ulkopuoliset asiantuntijat toivat laajempaa perspektiiviä aiheeseen. Haastatteluiden avulla saatiin arvokasta ja ajankohtaista tietoa, jota ei välttämättä olisi ollut saatavilla kirjallisista lähteistä.

Kaikille haastateltaville esitettiin samat kysymykset, jonka jälkeen keskustelua jatkettiin vapaamuotoisesti. Haastattelukysymykset löytyvät liitteestä 1. Tätä haastattelumuotoa kutsutaan puolistrukturoiduksi haastatteluksi. Puolistrukturoidussa haastattelussa on ennalta laadittu kysymysrunko, mutta haastattelija voi joustavasti mukauttaa kysymysten järjestystä, muotoilua ja syventää keskustelua lisäkysymyksillä. Tämä mahdollistaa sekä vertailtavan tiedon keruun että kattavamman ymmärryksen aiheesta.

Haastateltujen henkilöiden tittelit:

Talotekniikkapäällikkö (Konsultti)

Sähkötaseanalyytikko (Yksityinen sektori)

Johtava energia-asiantuntija (Julkinen sektori)

Energia-asiantuntija (Konsultti)

Kiinteistöpäällikkö (Yksityinen sektori)

3.2 Kirjallisuuden hyödyntäminen

Kirjallisuus toimi haastatteluiden tukena ja lisälähteenä tutkimusosiossa, tarjoten taustatietoa sekä vahvistusta työn keskeisille havainnoille. Vaikka kysyntäjoustoposta on saatavilla vain rajallisesti suomenkielistä kirjallista materiaalia työn näkökulmasta, aiheesta löytyi kuitenkin väitöskirjoja ja muita akateemisia julkaisuja. Näitä lähteitä hyödynnettiin täydentämään asiantuntijahaastatteluista saatuja tietoja, sekä lisäämään työn uskottavuutta ja teoreettista pohjaa. Käytetty kirjallisuus on huolellisesti valikoitua. Valinnoissa on pyritty siihen, että lähteet kuvaavat nykypäivän tilannetta ja vastaavat havaintoihin, joita tehtiin haastatteluissa. Viittaukset on esitetty asianmukaisesti työn neljännessä luvussa, jossa käsitellään työn tuloksia.

4 LIIKEKIINTEISTÖN LIITTÄMINEN KYSYNTÄJOUSTOON

Liitoksen toteuttaminen edellyttää perusteellista selvitystä useista tekijöistä, kuten kiinteistön sähkönkulutuksesta, automaatiojärjestelmistä sekä mahdollisista kulutuksen säätelyyn liittyvistä haitoista. Tässä osiossa analysoidaan, millaiset vanhat liikekiinteistöt tai kiinteistöportfolio soveltuvat kysyntäjouston piiriin ja miten liittäminen voidaan toteuttaa käytännössä. Lisäksi selvitetään, mihin reservituotteisiin liikekiinteistön olisi kannattavinta osallistua, jotta kysyntäjoustoposta saadaan taloudellisesti ja teknisesti paras mahdollinen hyöty. Tarkastelu rajataan tavanomaisiin suomalaisiin liikekiinteistöihin, eikä työssä käsitellä suuria vesikattiloita tai akustoja, sillä ne eivät ole tyypillisiä tällaisissa kohteissa. Tämän osion pääasiallinen lähde on asiantuntijahaastattelut ja näitä tietoja tarvittaessa täydennetty kirjallisilla lähteillä. Kirjallisten lähteiden havainnot erotettu viitauksilla haastattelujen havainnoista.

4.1 Kiinteistön energiankulutus

Kiinteistön energiankulutus on keskeinen tekijä, kun arvioidaan sen soveltuvuutta kysyntäjoustopaikkinaan. Lisäksi on tärkeää selvittää kulutuksen ohjattavuus ja profiili, sillä ilman merkittävää taajuusohjattavaa kuormaa liittäminen reservimarkkinoille voi olla haastavaa. Pienin reservimarkkina, johon voi osallistua, on FCR-N, jossa minimivaatimuksena on 100 kW teho, jota säädetään ylös ja alas. FCR-D on taas hieman suurempi markkina ja siihen vaaditaan megawatin ohjauskapasiteetti. Tässä markkinassa taas ohjaus tapahtuu vain alaspäin. Nämä kummatkin taajuusohjatut reservit soveltuvat hyvin liikekiinteistön liittämiseen, missä kuorma on nopeasti ohjattavissa. Mikäli kiinteistössä on suurempia kuormia, joiden ohjaaminen on hitaampaa, voidaan ne liittää aFFR tai mFFR reservimarkkinaan. Tulee kuitenkin huomata, että näiden kahden markkinan minimitarve on 5 MW. Tämä tarkoittaa sitä, että aggregointi on lähes välttämätöntä, koska hyvin harvassa liikekiinteistössä olisi joustavaa kuormaa 5 MW:n edestä.

Kun kiinteistön sähkönkäyttö on kartoitettu, on tarkasteltava tarkemmin kulutuskohteita ja laitteita, jotka kuluttavat sähköä. Esimerkiksi valaistuksen sähkönkulutus on vähäistä, eikä sen kysyntäjoustopotentiaali ole merkittävä. Taulukko 2 esittää tyypillisten liikekiinteistöjen sähkökuormien joustopotentiaalin. Sen perusteella suurin joustopotentiaali löytyy ilmanvaihtokoneista (IV-koneet), joiden sähkönkulutus on suurta ja jotka ovat helposti ohjattavissa, koska ne ovat taajuusohjattuja kuormia. Tämän lisäksi lämpöpumput ovat hyvin mahdollinen jouston kohde, koska nekin ovat taajuusohjattuja ja niiden huipputehot voivat olla yllättävän suuret.

Taulukko 2. Sähkökuormien kysyntäjoustopotentiaali (Määttä et al., 2020)

KUORMA	SÄHKÖTEHO	SÄÄTÖVARA	OHJAUKSEN TOTEUTUS	PROSESSIN KRIITTISYYS	KOKONAISARVIO
Ilmanvaihto	Suuri	Suuri	Onnistuu muutoksilla automaatioon	Kohtalainen	Suuri potentiaali
Kylmälaitteet	Suuri	Suuri	Edellyttää investointia automaatioon/laitteistoon	Kohtalainen	Keskisuuri potentiaali
Valaistus	Keskisuuri	Pieni	Yleensä edellyttää investointia automaatioon	Tärkeä	Pieni potentiaali
Pumput	Pieni	Suuri	Onnistuu muutoksilla automaatioon	Kohtalainen	Pieni potentiaali
Suurtalouskeittiö	Suuri	Suuri	Edellyttää investointia automaatioon/laitteistoon	Kohtalainen	Pieni potentiaali

Suomessa yksittäisen liikekiinteistön ohjattava kuorma ei usein ole riittävän suuri, jotta se voisi yksinään osallistua kysyntäjoustopotentiaaliin. Tällöin aggregointi voi olla ratkaisu. Pienempiä kulutuskohteita yhdistämällä voidaan saavuttaa riittävä tehonkulutus markkinoille osallistumista varten. Hyvä esimerkki tästä on Lappeenrannan kaupunki, joka on liittänyt yhteensä 17 kiinteistöä kysyntäjoustopotentiaaliin. Näissä kohteissa suurin osa ohjatusta kuormasta muodostuu IV-koneista. Kaupungin tavoitteena on kasvattaa kysyntäjoustopotentiaalin piiriin kuuluvien kiinteistöjen määrää 50:een tulevaisuudessa. Vuonna 2020 Lappeenrannan kaupunki ansaitsi kysyntäjoustopotentiaaliin noin 10 000 euroa (Määttä et al., 2020).

4.2 Kulutuksen säädön vaikutukset

Sähkönkulutuksen säädöstä johtuvat vaikutukset tulee selvittää tarkasti, jotta ne eivät rajoita kiinteistön käyttöä. Erityisesti on huolehdittava siitä, että rakennuksen sisäilmasto säilyy sisäilmastoluokitusten vaatimusten mukaisena. Näihin vaatimukseen kuuluvat muun muassa tarkat rajat sisälämpötiloille ja ilman hiilidioksidipitoisuuksille. Esimerkiksi IV-koneiden tai lämpöpumppujen ohjaaminen ei saa aiheuttaa merkittäviä vaihteluita näissä arvoissa. Kalevi Härkösen tutkimuksessa on kuitenkin havaittu, että IV-koneiden liittäminen FCR-N-markkinaan, jossa joustoaika on enintään 30 minuuttia, ei heikennä sisäilman laatua merkittävästi (Härkönen et al., 2022). Vastaavia tuloksia on saatu myös lämpöpumppujen käytöstä kysyntäjoustopissa sisälämpötilan pysyessä tasaisena. Nämä havainnot perustuvat asiantuntijahaastatteluihin ja edellä mainittuun tutkimukseen.

Suuremman riskin kuormia, joiden ohjaaminen voi aiheuttaa merkittäviä taloudellisia menetyksiä, ovat kylmälaitteet. Näiden kulutuksen ohjaus tulee suunnitella huolellisesti, sillä esimerkiksi kesähelteillä keskellä päivää pakastimien kylmäkoneita ei voida kytkeä pois päältä ilman riskiä tuotteiden pilaantumisesta. Monet asiantuntijat ovat todenneet, että kylmäkoneiden ohjausta tehdään hyvin vähän juuri tästä syystä. Lisäksi kylmäkoneiden kulutusta ei voida juurikaan nostaa, jos kylmät on jo tavoitelämpötilassa. Tämän vuoksi IV-koneiden ohjattavuus on jouston kannalta parempi vaihtoehto, sillä niitä voidaan ohjata myös ylöspäin ilman, että se vaikuttaa negatiivisesti kiinteistön käyttöön.

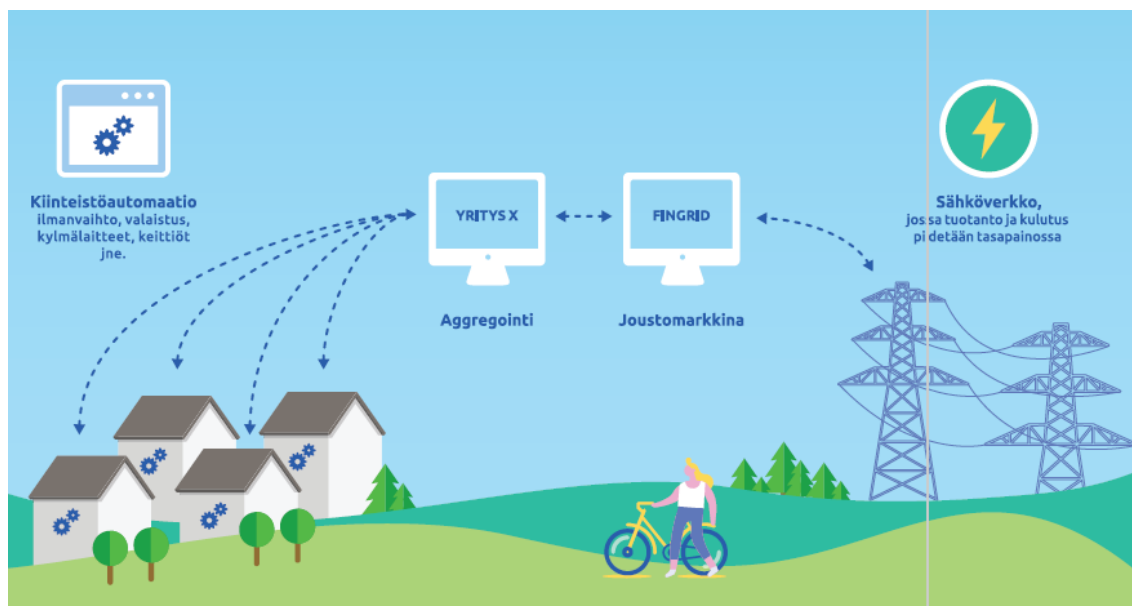
Valaistuksen kulutuksen ohjaaminen ei yleensä tuota merkittävää lisäarvoa kysyntäjouston kannalta, sillä sen sähkönkulutus on suhteellisen pientä verrattuna muihin kiinteistön sähkölaitteisiin. Lisäksi valaistuksen merkitys kiinteistön käytettävyydelle on huomattava, ja sen ohjaaminen voi heikentää tilojen viihtyisyyttä ja käytettävyyttä. Esimerkiksi liiketiloissa riittävä valaistus on välttämätöntä asiakaskokemuksen ja turvallisuuden kannalta, minkä vuoksi valaistuksen ohjaaminen kysyntäjoustopmarkkinoilla ei ole välttämättä kannattavaa. Tämän huomion teki kaikki haastateltavista asiantuntijoista.

4.3 Kiinteistön rakennusautomaatio

Kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmä on keskeinen tekijä kysyntäjoustop toteuttamisessa. Joustoon liitettäviä kuormia täytyy pystyä ohjaamaan rakennusautomaatiojärjestelmän kautta, mikä edellyttää sen riittävää nykyaikaisuutta ja etäohjausmahdollisuuksia. Järjestelmän tulee olla yhteydessä internetiin ja pilvipohjaiseen valvomoon, jotta ohjauksia voidaan tehdä reaaliaikaisesti ja joustavasti. Tästä asiasta nousikin keskeinen havainto kiinteistöomistajien puolelta haastatteluissa, että hyvin harva suomalainen liikekiinteistö täyttää nämä rakennusautomaatiojärjestelmän kriteerit, jotta kuorman ohjaaminen onnistuisi automaation kautta.

Rakennusautomaatiojärjestelmän vasteaika on erityisen tärkeä, jos kiinteistö halutaan liittää taajuusohjattuihin reservimarkkinoihin, joissa säätötoimenpiteiden tulee tapahtua sekunneissa. Tällainen nopeus edellyttää usein modernia väylätekniikkaa, kuten Modbus- tai BACnet-protokollia, jotka mahdollistavat nopeat ja luotettavat tiedonsiirrot järjestelmien välillä. Näin ollen rakennusautomaatiojärjestelmän on oltava riittävän uusi ja kehittynyt, jotta se kykenee täyttämään kysyntäjoustop tekniset vaatimukset. Kiinteistön omistajan kannattaa kartoittaa järjestelmän ominaisuudet huolellisesti ennen tarkempia selvityksiä, sillä automaatiojärjestelmän rajoitteet voivat olla merkittävä este joustop toteuttamiselle.

Asiantuntijahaastattelujen perusteella yksittäisen kiinteistön liittäminen kysyntäjoustoon on huomattavasti yksinkertaisempaa kuin useiden kiinteistöjen aggregointi. Monien kiinteistöjen yhdistäminen kysyntäjoustopmarkkinoille vaatii kehittyneemmän automaatiojärjestelmän, joka pystyy hallitsemaan ja synkronoimaan useiden rakennusten joustoptehoa reaaliajassa. Tällä hetkellä markkinoilla on vain muutama toimija, joiden automaatiojärjestelmät mahdollistavat laajamittaisen kiinteistöjen niputtamisen ja hallinnon. Yksi näistä toimijoista on Siemens, jonka järjestelmää aggregaattori VIBECO käyttää (VIBECO, n.d.). Kuvio 7 havainnollistaa hyvin automaation merkitystä aggregoinnissa. Järjestelmän on kyettävä tarkkailemaan kiinteistöjen olosuhteita, laskemaan yhteinen joustopteho ja tekemään säätöjä reaaliaikaisesti ilman, että kiinteistöjen käyttöolosuhteet heikenevät.



KUVIO 7. Rakennusautomaation merkitys aggregoinnissa (Määttä et al., 2020)

Alkuvaiheessa tällaisen järjestelmän toimintaa on seurattava tarkasti, jotta varmistetaan sen oikeellisuus ja vältetään mahdolliset virheet tai häiriöt kiinteistöjen toiminnassa. Käytännön kokemukset osoittavat kuitenkin, että aggregointi on mahdollista ja toteutettavissa, kunhan järjestelmän tekniset ja toiminnalliset vaatimukset selvitetään huolellisesti etukäteen.

4.4 Kiinteistön sähkömittaus

Jotta kiinteistön joustavien kuormien sähkönkulutusta voidaan seurata sekuntitasolla, mittausjärjestelmän tulee olla riittävän uusi ja tarkka. Joustettavien kuormien sähkönkulutusta on pystyttävä seuraamaan eritellysti, mikä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että IV-koneille tulee olla omat mittarit. Useimmissa vanhoissa liikekiinteistöissä tämän tason mittausjärjestelmää ei ole valmiina, mikä voi muodostaa haasteen kysyntäjoustop toteutukselle. Mikäli kiinteistö halutaan liittää kysyntäjoustop, mittausjärjestelmän päivittäminen voi olla välttämätöntä.

Mittalaitteiden tulee täyttää tietyt tarkkuusvaatimukset, jotta ne hyväksytään kysyntäjoustopmarkkinoille. Hyväksytyjä vaihtoehtoja ovat MID-hyväksytyt (Measuring Instruments Directive) sähkömittarit tai omat liittymämittarit, jotka takaavat mittaustiedon luotettavuuden (Fingrid, 2017h). Erityisesti laajamittaista aggregointia suunniteltaessa on tärkeää, että sähkömittausjärjestelmä on integroitu

kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään. Tämä mahdollistaa reaaliaikaisen kulutusseurannan ja ohjauksen keskitetysti. Mikäli kiinteistö halutaan liittää taajuusohjattuihin reserveihin, niin kiinteistön tehoanalysointori tulisi liittää myös automaatioon taajuuden seurantaan varten. Tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä, koska taajuuden seurannan voi myös toteuttaa ohjelmallisesti. Tähän kuitenkin liittyy omat riskinsä, kun taajuustieto tulee tietoliikenneverkkoa pitkin.

Uuden mittausjärjestelmän asentaminen ei kuitenkaan ole aina välttämätöntä, jos joustetun energian määrä voidaan osoittaa esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmän avulla (Määttä et al., 2020). Tämä siis tarkoittaa sitä, että automaatioon on valmiiksi liitetty tarpeeksi tarkka mittari. Lisäksi Fingrid voi tyyppihyväksynnän kautta hyväksyä tiettyjä laitteita, joiden oma sisäinen sähkömittari täyttää vaaditut standardit. Tällainen esimerkki on paketti-IV-kone, jonka energiankulutus voidaan lukea sen omasta mittarista. Yksi asiantuntija totesi, että vaikka tämä on mahdollista teoriassa, käytännössä laajamittaisessa aggregoinnissa helpoin ja luotettavin ratkaisu on sähkömittausjärjestelmä, joka on integroitu rakennusautomaatiojärjestelmään

Joustetun energian määrä on pystyttävä todentamaan Fingridille tarvittaessa, ja tämä edellyttää tarkkaa mittausdataa. Fingrid voi pyytää tietoja sekuntitasolla siitä, milloin jousto on alkanut ja päättynyt. Tämä mittaustietojen todentaminen voi kuitenkin olla haastavaa, koska jousto ei useinkaan tarkoita kulutuksen täydellistä pysäyttämistä ja käynnistämistä, vaan esimerkiksi IV-koneen tehon säätämistä tietylle tasolle.

Joustotilanteessa kiinteistön sähkölaitteiden, kuten ilmanvaihtokoneiden, tehoa muutetaan hetkellisesti osana kysyntäjoustoa. Usein laitteet ovat kuitenkin jo valmiiksi toiminnassa, jolloin niillä on olemassa oleva pohjakuorma. Esimerkiksi ilmanvaihtokone voi normaalisti toimia teholla 15 kW, ja joustotilanteessa sen teho nostetaan hetkellisesti 30 kW:iin. Tällöin joustossa hyödynnetty teho ei ole koko 30 kW, vaan ainoastaan ylimääräinen 15 kW. Varsinainen joustettu energia (kWh) määritellään kertomalla tämä lisäteho jouston kestolla. On tärkeää huomata, että pohjakulutus ei välttämättä pysy vakiona koko jouston ajan. Ilman tarkkaa analyysia ei voida varmuudella tietää, olisiko kulutus pysynyt samana, jos

joustoja ei olisi toteutettu. Siksi joustomäärän arviointi perustuu yleensä vertailuun kiinteistön tavanomaiseen kulutusprofiiliin vastaavissa olosuhteissa.

Monet asiantuntijat painottivat, että mittausjärjestelmän on oltava erittäin tarkka ja ajantasainen, jotta voidaan luotettavasti erottaa jouston vaikutus normaalista kulutuksesta. Joustetun kulutuksen todentamiseen soveltuvat vain Fingridin vaatimukset täyttävät mittarit. Tällaisia ovat esimerkiksi erilliset liittymämittarit tai MID-hyväksytyt mittarit, joiden mittaustarkkuus ja tietojen läpinäkyvyys täyttävät markkinaosallistumisen edellytykset.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pienillä ja keskikokoisilla liikekiinteistöillä on potentiaalia liittyä kysyntäjoustomarkkinaan, erityisesti silloin, jos niissä on nykyaikainen rakennusautomaatiojärjestelmä ja tarkka sähkönmittaus. Joustomarkkinoille osallistuminen voi myös tarkoittaa sitä, että kiinteistön omistaja voi hyötyä siitä taloudellisesti. Tämä lisää huomattavasti aiheen kiinnostavuutta kiinteistöomistajien keskuudessa.

Pienissä ja keskikokoisissa liikekiinteistöissä potentiaalisin markkina on taajuusohjattu FCR-N, jonka minimitehovaatimus on 100 kW. Tämä on saavutettavissa yksittäisessä liikekiinteistössä, jos siinä on riittävän suuria, sekä nopeasti ylös ja alas ohjattavissa olevia kuormia, kuten IV-koneet ja lämpöpumput. Sen sijaan suurempien markkinoiden, kuten aFRR tai mFRR, tehorajat ovat 1 MW tai 5 MW, mikä tekee yksittäisen liikekiinteistön osallistumisesta haastavaa ilman aggregointia.

Merkittävin potentiaali löytyy laajamittaisesta aggregoinnista, jossa useita kiinteistöjä yhdistetään kysyntäjoustoportfolioiksi. Esimerkiksi Lappeenrannan kaupunki on liittänyt markkinoille 17 kiinteistöä, ja tavoitteena on kasvattaa määrä 50:een. Aggregoinnin avulla voidaan ylittää reservimarkkinoiden tehorajat ja samalla mahdollistaa joustokuormien hallinta keskitetysti. Kiinteistöomistaja voi tällöin käyttää myös ulkopuolista aggregoijaa, joka hoitaa aggregoinnin provisiota vastaan.

Sopivat kuormat kysyntäjoustoan riippuvat kiinteistön käyttötarkoituksesta ja sen teknisistä ominaisuuksista. Korkean joustopotentialin omaavia kuormia ovat erityisesti IV-koneet, joiden sähkönkulutus on suurta ja taajuusohjattavaa. Lisäksi lämpöpumput voivat toimia joustokuormina, sillä ne ovat nopeasti ohjattavissa ja niiden huipputehot voivat olla merkittäviä. Sen sijaan valaistuksen tai muiden pienten sähkönkuluttajien liittämistä tulee harkita huolellisesti, sillä niiden joustopotentiaali on usein vähäinen suhteessa liittämisestä aiheutuviin kustannuksiin.

Sähkönkulutuksen säätelyssä on otettava huomioon myös kiinteistön käyttökävyys ja toiminnalliset rajoitteet. Sisäilmaston tulee säilyä hyvänä, eikä kysyntäjoustop tulisi aiheuttaa haittaa kiinteistön käytölle. Käytännön tutkimusten mukaan IV-koneiden ja lämpöpumppujen ohjauksella ei ole ollut merkittäviä vaikutuksia sisäilman laatuun tai lämpötiloihin, kun joustoajat ovat kohtuullisia. Sen sijaan kylmlaitteiden ohjaaminen voi olla haasteellista, koska siihen sisältyy liian suuri taloudellinen riski.

Rakennusautomaatiojärjestelmän on oltava riittävän kehittynyt, jotta kysyntäjousto voidaan toteuttaa tehokkaasti. Ohjattavien kuormien tulee olla etäohjattavissa ja niiden vasteajan riittävän nopea, erityisesti jos kiinteistö halutaan liittää taajuusohjattuihin reserveihin. Modernit väylätekniikat, kuten Modbus ja BACnet, mahdollistavat nopeat ja tarkat säätötoimenpiteet. Lisäksi sähkönmittauksen on oltava tarkkaa ja reaaliaikaista, jotta joustettu energia voidaan todentaa Fingridille.

Kaiken kaikkiaan pienet ja keskikokoiset liikekiinteistöt voivat osallistua kysyntäjoustoan joko itsenäisesti tai osana aggregoitua kiinteistöportfoliota. Teknisten valmiuksien, kuten rakennusautomaation ja sähkönmittauksen, tulee olla riittäväällä tasolla, ja joustokohteiden valinnassa on huomioitava sekä taloudellinen hyöty että kiinteistön käytettävyyden. Nämä tekniset vaatimukset asettavat haasteita, koska todella harva suomalainen liikekiinteistö nämä ehdot täyttäisivät, varsinkin rakennusautomaation puolesta. Siksi tällaista laajamittaisempaa kysyntäjoustoan liittymistä kannattaisi harkita taloteknistien saneerauksien yhteydessä, jolloin reservimarkkinoille liittymisestä ei tulisi merkittäviä lisäkustannuksia.

6 POHDINTA

Työssä pyrittiin selvittämään kysyntäjoustomahdollisuuden liittämistä pieneen tai keskikokoiseen liikekiinteistöön. Lisäksi työn tavoitteena oli tutkia, voitaisiinko useita kiinteistöjä yhdistää yhdeksi joustokuormaksi. Tutkimuskysymyksiin löytyi vastauksia ja Lappeenrannan kaupungista löytyi hyvä esimerkkitapaus. Tiedonhaku osoittautui haastavaksi, sillä Suomessa on toistaiseksi vain vähän liikekiinteistöjä liitettyä kysyntäjoustomarkkinaan. Anonyymien haastattelujen toteuttaminen osoittautui hyödylliseksi, sillä se mahdollisti asiantuntijoiden avoimemman keskustelun aiheesta ilman, että he kokivat tarvetta varoa sanomisiaan. Tämä toi tutkimukseen arvokasta lisätietoa.

Tutkimuksen tulokset ovat relevantteja, sillä liikekiinteistöjen näkökulmasta aiheita ei ole aiemmin juurikaan tutkittu. Kysyntäjousto on myös hyvin ajankohtainen aihe, koska sähköntuotanto siirtyy yhä enemmän kohti päästöttömyyttä, mikä lisää jouston tarvetta merkittävästi. On hyvin todennäköistä, että liikekiinteistöjen määrä kysyntäjoustomarkkinassa kasvaa huomattavasti seuraavan kymmenen vuoden aikana. Haastatteluista kävi ilmi, että yksityiset kiinteistöomistajat suhtautuvat vielä varauksellisesti kysyntäjoustoon, mutta monet ovat jo käynnistäneet tarkempia selvityksiä aiheen tiimoilta. Fingridin luomat ohjeistukset ja tiukat vaatimukset lisäävät osaltaan epävarmuutta investointien suhteen, mikä saattaa hidastaa kehitystä. Epävarmuutta lisää myös se, että joustosta maksettavien korvausten hinnat vaihtelevat jatkuvasti, joka vaikeuttaa entisestään kannattavuuslaskentaa.

Tulokset jäivät pitkälti teoreettiselle tasolle, koska aiemmista toteutuksista ja käynnissä olevista piloteista on saatavilla vain vähän julkista tietoa. Tämä johtuu osittain siitä, että kyseessä voi olla liiketoiminnallisesti arkaluonteinen tieto, jota ei haluta jakaa laajasti. Mikäli tutkimuksessa olisi ollut mahdollista tarkastella konkreettista case-kohdetta, olisi käytännön näkökulma tuonut arvokasta lisätietoa aiheeseen.

Jatkossa tutkimusta voisi laajentaa kenttätasolle esimerkiksi jonkin konkreettisen projektin yhteydessä. Tällaisessa tutkimuksessa voitaisiin tarkastella käytännössä, miten liikekiinteistön liittäminen kysyntäjouksoon toteutetaan ja millaisia haasteita prosessi tuo mukanaan. Samalla voitaisiin analysoida myös taloudellisia vaikutuksia ja laatia laskelmia kysyntäjoukkomarkkinaan liittymisen kannattavuudesta. Tämä toisi aiheen tarkasteluun syvyyttä ja auttaisi liikekiinteistöjen omistajia tekemään tietoon perustuvia päätöksiä kysyntäjouksoon liittymisestä.

LÄHTEET

Fingrid. (2024). Yleistietoa sähkömarkkinoista. Haettu 22.1.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/>

Fingrid. (2023). Miten sähkön hinta muodostuu. Haettu 22.1.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/miten-sahkon-hinta-muodostuu/>

Fingrid. (2019). Nopea taajuusreservi (FFR). Haettu 22.1.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/nopea-taajuusreservi/>

Fingrid. (2017a). Kulutusjousto. Haettu 22.1.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/>

Fingrid. (2017b). Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito. Haettu 22.1.2025.
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/>

Fingrid. (2017c). Reservimarkkinat. Haettu 8.2.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>

Fingrid. (2017d). Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-tuotteet). Haettu 12.2.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattukaytto--ja-hairioreservi/>

Fingrid. (2017e). Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR) Haettu 12.2.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>

Fingrid. (2017f). Säätosähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat (mFRR) Haettu 12.2.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saatokapasiteettimarkkinat/>

Fingrid. (2017g). Reservimarkkinat. Haettu 29.1.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>

Fingrid. (2017h). Kuinka osallistua reservimarkkinoille. Haettu 17.2.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/>

Fingrid. (2017i). Ansaintamallit. Haettu 18.2.2025.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/ansaintamallit/>

- Härkönen, K. (2023). Smart buildings in the green energy transition. [väitöskirja LUT-yliopisto]. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-975-8>
- Härkönen, K., Hannola, L., Lassila, J., Luoranen, M. (2022). Assessment of the Electric Demand Management Potential of Educational Buildings' Mechanical Ventilation Systems. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en16010085>
- Järventausta, P. (2023). Johdanto sähkömarkkinoihin. Luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere.
- Määttä, T., Berg, E., Härkönen, K. (2020). Näin teet kiinteistöstäsi virtuaalivoimaitoksen -opas. Energiaviisaat kaupungit
- Sähköinfo Severi. (2024). Sähkön kulutusjousto rakennuksissa. Sähkötieto ry
- Särkijärvi, T. (2009). Sähkön hinta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. [pro gradu -tutkielma Tampereen yliopisto]. <https://urn.fi/urn:nbn:fi:uta-1-19607>
- VIBECO. N.d. Lappeenrannan kaupunki. Haettu 13.3.2025. <https://vibeco.fi/referenssit/lappeenrannan-kaupunki/>

LIITTEET

Liite 1. Haastattelukysymykset

Minkälainen kulutusprofiili liikekiinteistössä tulisi olla, jotta liitosta kysyntäjouston voisi harkita?

Mikä tai mitkä kuormat ovat helposti liitettävissä kysyntäjouston?

Mitkä kysyntäjoustomarkkinat olisivat potentiaalisia liikekiinteistölle?

Onko kulutuksen säädöllä jotain rajoittavia vaikutuksia kiinteistön käytölle?

Minkälainen rakennusautomaatiojärjestelmä soveltuu tähän tarkoitukseen?

Kuinka isossa roolissa kiinteistön sähkömittausjärjestelmä ja pitääkö se aina uusia?

Onko mittaustiedon todentamisessa haasteita?

Onko käyttöönotoista kokemuksia ja onko ilmentynyt haasteita?

Voiko kysyntäjoustoliitoksesta hyötyä taloudellisesti?