

The background of the cover is a photograph of a modern building with a glass facade. The building is viewed from a low angle, looking up. The sky is a clear, light blue. In the upper right corner, the word "MOTIVA" is written in a bold, black, sans-serif font. A thick yellow horizontal bar is positioned across the middle of the page, partially overlapping the building's facade. Below this bar, the title and subtitle are written in black text on a white background.

**MOTIVA**

# **Sähkön kulutusjousto teollisuudessa ja palvelukiinteistöissä**

**Asiantuntijaselvitys**

12/2025

## **Sähkön kulutusjousto teollisuudessa ja palvelukiinteistöissä**

Julkaisija  
Motiva Oy

Tämän selvityksen tekemisessä on hyödynnetty tekoälyä tiedonhaussa, tekstinmuokkauksessa sekä haastattelujen muistiinpanoissa ja yhteenvedossa. Tekoälyn tuottaman aineiston on aina tarkastanut ihmisasiantuntija.

# Esipuhe

---

Teollisuuden ja palvelukiinteistöjen kulutusjousto on keskeinen osa modernin energiajärjestelmän kehittämistä. Sen merkitys kasvaa jatkuvasti energiamarkkinoiden muutosten sekä uusiutuvan energian tuotannon lisääntyessä. Tämä kirjallisuusselvitys on laadittu vastaamaan Motiva Oy:n tarpeeseen tarjota ajantasainen tietopaketti kulutusjoustopotentialin hyödyntämisestä teollisuudessa ja palvelukiinteistöissä. Tilaajana Motiva Oy on itse edelläkävijä kestävä kehityksen ja energiatehokkuuden edistämiseksi.

Selvityksen tavoitteena on kuvata kulutusjoustopotentialin nykytila, tunnistaa siihen liittyvät tekniset ja taloudelliset mahdollisuudet sekä tuoda esiin keskeiset haasteet joustopotentialin hyödyntämisessä. Selvityksen avulla pyritään tukemaan yrityksiä kulutusjoustopotentialin käyttöönotossa ja markkinoille osallistumisessa. Kulutusjousto voi pienentää energiakustannuksia ja luoda uusia ansaintamahdollisuuksia osallistumalla aktiivisesti energiamarkkinoille, kuten reservi- ja säätösähkömarkkinoille. Kulutusjousto hyödyttää myös energiajärjestelmää laajemmin yhteiskunnallisella tasolla tasaamalla sähkön hintavaihtelua ja osallistumalla taajuuden tasapainotukseen. Näiden hyötyjen saavuttaminen edellyttää teknistä valmiutta, toimivia prosesseja ja markkinoiden vaatimusten ymmärtämistä.

Selvitys vastaa muun muassa seuraaviin kysymyksiin: millaisia ansaintamahdollisuuksia kulutusjousto tarjoaa, mitkä ovat keskeiset joustoresurssit teollisuudessa ja palvelukiinteistöissä, sekä millaisilla prosesseilla ja toimenpiteillä yritykset voivat hyödyntää joustokäyttönsä tehokkaasti.

Työn toteutti Granlund Oy. Työn ohjaamiseen ja yrityshaastatteluihin osallistuivat Motivan Teemu Kettunen, Tomi Kiuru, Harri Heinaro sekä Erja Saarivirta. Selvityksen rahoitti Energiavirasto osana energiatehokkuussopimusten toimeenpanoa.

Kiitämme lämpimästi Motivaa tämän selvityksen tilaamisesta ja tuesta sen toteutuksessa. Lisäksi haluamme kiittää selvitykseen osallistuneita yrityksiä, joilta on kerätty tietoa, esimerkkejä ja näkemyksiä tämän työn mahdollistamiseksi. Tämä selvitys toivottavasti antaa yrityksille ja päättökentekijöille sekä uutta tietoa että konkreettisia välineitä kehittää toimintaansa joustoratkaisujen hyödyntämisessä.

Helsingissä 15.12.2025,

Markus Kurkinen  
Projektipäällikkö  
Granlund Oy

<b>Esipuhe</b>	<b>3</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Kulutusjousto</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Kulutusjouston esittely ja hyödyt</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Joustotavat</b>	<b>11</b>
2.2.1 Pörssisähkön hinnan mukainen ohjaus	11
2.2.2 Tehomaksujen leikkaus	12
2.2.3 Reservi- ja säätösähkömarkkinat	12
2.2.4 Siirtojenhallinta	12
<b>2.3 Reservimarkkinoiden vaatimukset</b>	<b>12</b>
2.3.1 Rajoitettujen energiavarastojen poikkeavat vaatimukset	17
<b>2.4 Muiden joustotapojen vaatimukset</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Seuranta, ohjaus, automaatio</b>	<b>18</b>
<b>3 Joustavat resurssit</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Tyypilliset resurssit</b>	<b>21</b>
3.1.1 Varavoimakoneet	21
3.1.2 Sähkökattilat	22
3.1.3 Akkuenergiavarastot	22
3.1.4 Teollisuus	23
3.1.5 Sähköajoneuvot	23
3.1.6 Lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet	24
3.1.7 Kylmävarastot	24
3.1.8 Sähköntuotanto	25
3.1.9 Talotekniikka	25
3.1.10 UPS	26
<b>3.2 Yleiset kokemukset kulutusjoustosta</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Joustopotentiali</b>	<b>27</b>
3.3.1 Ilmanvaihtojärjestelmät	33
3.3.2 Sähköiset lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	33
3.3.3 Lämmitysjärjestelmät ja kaukolämpö	34
3.3.4 Valaistusjärjestelmät ja aurinkosähkö	35
3.3.5 Akkuenergiavarastot	35
<b>4 Yrityshaastattelut</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Tietämys ja osaaminen</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Tausta ja tavoitteet</b>	<b>36</b>
<b>4.3 Kulutusjouston toteutus</b>	<b>36</b>

4.4	Kokemukset ja haasteet	37
4.5	Havainnot haastatteluista	38
5	Toteutuksen prosessi	39
6	Palveluntarjoajat ja toimintamallit	42
7	Kulutusjouoston haasteet ja toteutus	43
7.1	Markkinariski	43
7.2	Toteutuksen kustannukset	44
7.3	Dokumentaatio	46
7.4	Joustoresurssien soveltuvuus	47
7.5	Anturoinnin riittävyys	47
7.6	Kulutusmittaroinnin soveltuvuus	48
7.7	Tietoturva ja datan hallinta	48
7.8	Huolto ja ylläpito	48
8	Kulutusjouoston toteutuksen case-esimerkki	49
9	Jatkoselvitystarpeet	52
10	Yhteenveto	52

## Kuvat

Kuva 1	Implisiittinen ja eksplisiittinen kulutusjousto	9
Kuva 2	Sähkömarkkinoiden rakenne ja markkinapaikat	11
Kuva 3	FCR-reservien aktivointi taajuuspoikkeaman suhteen	16
Kuva 4	Reservien kapasiteettimarkkinoiden tuottopotentiali	28
Kuva 5	Reservimarkkinoiden kapasiteettimarkkinoiden liikevaihto tuntimarkkinoilta (21.11.2024–20.11.2025)	29
Kuva 6	Kulutusjouoston käyttöönoton prosessi	41
Kuva 7	Fingridin ennuste ja toteutunut reservin hankintamäärä 2019-2035	44
Kuva 8	Esimerkki sähkön reservimarkkinahankkeen etenemisestä ja tarvittavista sopimuksista	51

## Taulukot

Taulukko 1	Kulutusjouoston hyödyt rooleittain	10
Taulukko 2	Reservimarkkinoiden päävaatimukset	14
Taulukko 3	Rajoitettujen energiavarastojen (LER) vaatimukset FCR:ssä	17
Taulukko 4	Tiedonvaihdon ja päätötehomittauksen vaatimuksia	19
Taulukko 5	Joustavien resurssien tekninen ja taloudellinen joustopotentiali	30
Taulukko 6	Kulutusjouoston toteutuksen mahdollisia kustannuseriä	45

## Termistö

- **API (Application Programming Interface)**  
Rajapinta, jonka avulla eri ohjelmistot tai palvelut voivat kommunikoida keskenään. Se määrittelee, miten tietoa voidaan pyytää, lähettää tai käsitellä järjestelmien välillä.
- **BACnet**  
BACnet on avoin viestintästandardi rakennusautomaatiojärjestelmiin. Sen avulla erilaiset laitteet ja järjestelmät—kuten ilmanvaihto, valaistus, turvajärjestelmät ja energiankulutuksen seuranta—voivat vaihtaa tietoa keskenään riippumatta valmistajasta. BACnet toimii useiden tiedonsiirtotapojen yli, kuten IP-verkossa (BACnet/IP).
- **ENTSO-e**  
Eurooppalaisten kantaverkkoyhtiöiden yhteistyöjärjestö
- **eSett**  
Pohjoismainen taseselvityspalveluita tarjoava yritys, jonka tehtävä on luoda yhteinen taseselvitys (energian toimituksen jälkeinen tuotannon ja kulutuksen taseen määrittäminen)
- **HTTP (Hypertext Transfer Protocol) / HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure)**  
HTTP on protokolla, jota käytetään tiedon siirtämiseen verkkopalvelinten ja asiakkaiden (esim. selainten) välillä. HTTPS on sen suojattu versio, jossa tiedonsiirto on salattu TLS/SSL-tekniikalla. HTTPS takaa tiedon eheyden ja luottamuksellisuuden, ja sitä käytetään lähes kaikessa nykyaikaisessa verkkoliikenteessä.
- **M-Bus (Meter-Bus)**  
M-Bus on eurooppalainen standardi etäluettaville mittareille, kuten lämpö-, vesi- ja energiankulutusmittareille. Se on matalan tehonkulutuksen ja pitkien kaapelointien mahdollistava väylä, jota käytetään erityisesti kiinteistöjen mittaustiedon keräämiseen ja siirtämiseen keskitettyyn järjestelmään.
- **Modbus**  
Modbus on teollisuuden, mutta myös rakennusautomaatiossa paljon käytetty, väyläprotokolla, jota käytetään laitteiden väliseen kommunikointiin esimerkiksi automaatio- ja prosessinohjausjärjestelmissä. Se on yksinkertainen ja laajasti tuettu standardi, ja sitä voidaan käyttää sekä sarjaliikenteessä (Modbus RTU) että IP-verkoissa (Modbus TCP).
- **Pollausfrekvenssi**  
Kuinka usein järjestelmä kysyy (pollaa) tietoa laitteelta tai anturilta. Mitataan yleensä minuutteina tai sekunteina.
- **REST (Representational State Transfer)**  
REST on arkkitehtuurityyli verkkopalveluiden suunnitteluun. Se perustuu HTTP-protokollan standardikäyttöön ja määrittelee joukon periaatteita, joiden tavoitteena on tehdä rajapinnoista yksinkertaisia, skaalautuvia ja helposti käytettäviä. REST-rajapinnoissa resurssit esitetään URL-osoitteina, ja niihin kohdistuvat toiminnot toteutetaan HTTP-metodeilla (kuten GET, POST, PUT, DELETE). Vastaukset palautetaan yleensä JSON- tai XML-muodossa. REST ei ole varsinainen standardi, vaan joukko suunnitteluperiaatteita, joita noudattamalla voidaan rakentaa selkeitä ja yhteensopivia API-rajapintoja.
- **VAK (Valvonta-alakeskus)**  
Valvonta-alakeskus on rakennusautomaatiojärjestelmän osa, joka kerää ja käsittelee tietoa rakennuksen teknisistä järjestelmistä, kuten ilmanvaihdosta, lämmityksestä ja sähköjärjestelmistä. VAK suorittaa ohjauksia, valvoo tiloja ja välittää tietoa ylemmälle valvomolle. Se toimii rakennusautomaatiojärjestelmän paikallisena ohjausyksikkönä.

# 1 Johdanto

---

Suomen energiajärjestelmä on murroksessa, jossa tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja parantaa energiatehokkuutta. Kulutusjousto, eli sähkönkulutuksen tai -tuotannon joustava ohjaaminen, on keskeinen keino vastata näihin tavoitteisiin ja lisätä sähköjärjestelmän joustavuutta.

Kulutusjousto tarjoaa sähkön käyttäjille mahdollisuuden sopeuttaa kulutustaan markkinahintojen, verkkotilanteen ja järjestelmän tarpeiden mukaan. Teollisuus ja palvelukiinteistöt muodostavat kulutusjouston kannalta merkittävän kohderyhmän, sillä niiden sähkönkulutus on suurta ja monin paikoin ohjattavissa. Näissä kohteissa kulutusjousto voi tuoda sekä kustannussäästöjä että uusia tulonlähteitä osallistumalla sähkömarkkinoille.

Tämän selvityksen tavoitteena on tarkastella kulutusjouston hyödyntämisen nykytilaa teollisuudessa ja palvelukiinteistöissä. Selvitys käsittelee kulutusjouston teknisiä ja taloudellisia edellytyksiä, keskeisiä joustoressursseja sekä markkinoiden ja ohjauksen vaatimuksia. Lisäksi työ tunnistaa kulutusjouston käyttöönottoon liittyviä haasteita ja esittelee käytännön toteutusmalleja.

Selvitys tukee energiatehokkuussopimusten tavoitteita edistämällä energiatehokasta ja joustavaa energiankäyttöä. Tavoitteena on tarjota yrityksille ja kiinteistöjen omistajille selkeä kokonaiskuva kulutusjouston mahdollisuuksista sekä käytännön lähtökohdat joustoratkaisujen kehittämiseen.

## 2 Kulutusjousto

---

### 2.1 Kulutusjouston esittely ja hyödyt

---

Kulutusjousto (joskus myös kysyntäjousto) tarkoittaa sähkönkulutuksen tai -tuotannon lisäämistä tai vähentämistä sähköenergian markkinahintojen, siirtohintojen, verkon kuormitustilanteen tai verkon vakaustarpeiden mukaan. Kulutusjoustosta tulee kriittinen osa sähköjärjestelmän joustavuutta erityisesti uusiutuvan sääriippuvan sähköntuotannon vaihdellessa voimakkaasti.

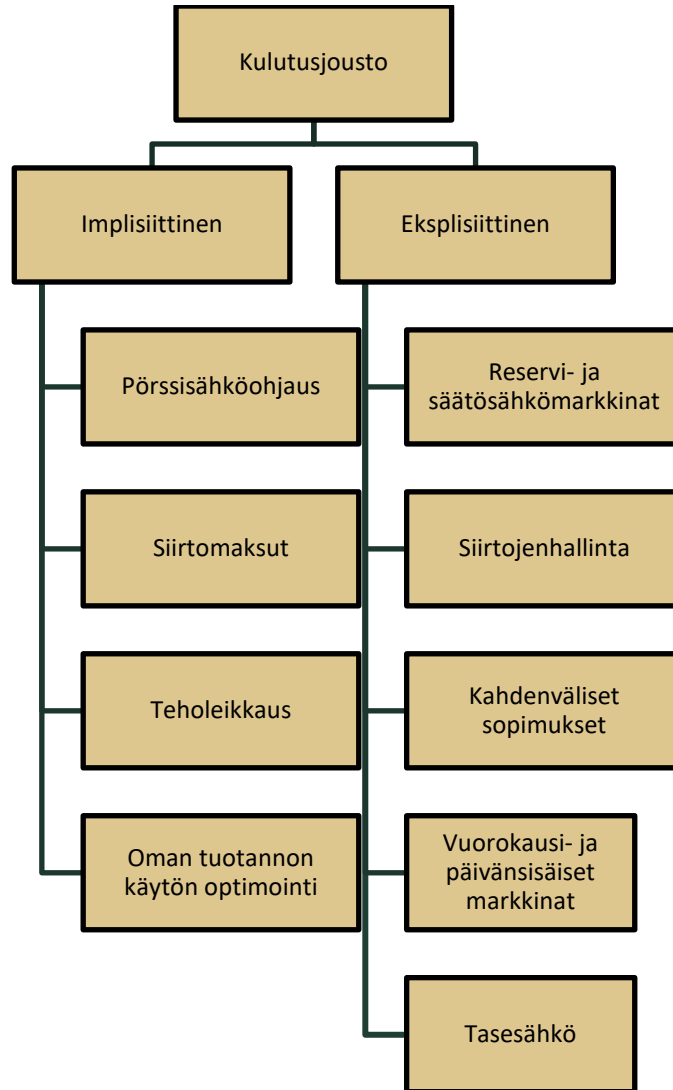
Kulutusjousto voidaan toteuttaa osana energiankäyttöä ohjaavia automaatio- ja energianhallintajärjestelmiä. Tyypillisiä joustokeinoja ovat kulutuksen tilapäinen vähentäminen, kulutuksen siirtäminen ajankohtaan, jolloin sähkö on edullisempaa tai tuotantoa on runsaasti, sekä sähkön tuotannon tai varastoinnin hyödyntäminen joustotilanteissa.

Kulutusjousto jaetaan yleensä kahteen päätyyppiin: implisiittiseen ja eksplisiittiseen kulutusjousto (Kuva 1).

**Implisiittisessä kulutusjoustossa** kuluttaja reagoi sähkön hintasignaaleihin tai tariffirakenteisiin ilman erillistä käskyä tai sopimusta. Kulutusta ohjataan esimerkiksi tuntihinnoittelun tai siirtohintojen perusteella. Hyödyt syntyvät suoraan kuluttajalle pienempinä energiakustannuksina tai tehomaksuina. Implisiittinen kulutusjousto perustuu kuluttajan omaan päätöksentekoon ja riskinottoon.

**Eksplisiittisessä kulutusjoustossa** kuluttaja tai aggregaattori sitoutuu ennalta sovittuun joustokapasiteettiin tai reagointiin sähkömarkkinoilla, kuten reservi- tai säätösähkömarkkinoilla. Markkinoilta saa korvauksen aktivoitua joustosta tai joustokyvyn ylläpitämisestä varalla (reservissä). Eksplisiittinen kulutusjousto on aktiivista osallistumista markkinoille. Suora hyöty joustosta tulee jollekin muulle toimijalle kuin joustajalle.





**Kuva 1 Implisiittinen ja eksplisiittinen kulutusjousto**

Kulutusjouston hyödyt vaihtelevat toimijan roolin mukaan. Hyödyt kohdistuvat paitsi jouston tarjoajaan myös koko sähköjärjestelmään. Kulutusjousto vähentää kuormitushuippuja, parantaa järjestelmän vakautta ja voi pienentää tarvetta investoida uusiin tuotanto- ja siirtokapasiteetteihin. Jouston tarjoajalle hyödyt näkyvät energiakustannusten alenemisena, tehomaksujen pienentymisenä tai markkinoilta saatavina korvauksina. Keskeiset hyödyt eri toimijoille on koottu seuraavaan taulukkoon (Taulukko 1).

**Taulukko 1 Kulutusjouston hyödyt rooleittain**

Osapuoli	Keskeiset hyödyt
<b>Systeemitaso / sähköjärjestelmä</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kuormahuippujen tasaaminen ja reservien käytön optimointi, mikä vähentää kalliden varavoimlaitosten tarvetta</li> <li>- Parantaa järjestelmän joustavuutta ja vastekykyä häiriötilanteissa</li> <li>- Mahdollistaa suuremman osuuden uusiutuvaa energiaa järjestelmässä, koska kysyntä voi reagoida tuotannon vaihteluun</li> <li>- Voi vähentää investointitarvetta siirto- ja jakeluverkkojen kasvattamiseen huippukuormien pienetessä</li> <li>- Säästöt tuotantokustannuksissa (esim. vähemmän fossiilisen tuotannon käyttöä, parempi kapasiteetin käyttöaste)</li> </ul>
<b>Joustoparantaja (liiketoiminta, teollisuus, kiinteistö)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tulonmuodostusmahdollisuus eksplisiittisillä joustomarkkinoilla aktivointikorvauksilla</li> <li>- Energia kustannusten säästö korkeiden hintojen aikaisten leikkausten avulla (esim. kulutuksen siirto halvempiin aikoihin)</li> <li>- Sähkön tehomaksun pieneminen kulutushuippujen leikkauksen avulla</li> <li>- Optimointimahdollisuudet yhdistää oma tuotanto (esim. aurinko), varastot (akku, lämpövarasto) ja joustotoiminnot - Parantaa yrityksen energiariippuvuuden hallintaa ja vähentää hintariskiä</li> <li>- Mahdollisuus viestiä ympäristövastuullisena ja tukea kestävästä kehityksen tavoitteita</li> </ul>
<b>Joustoparantaja / järjestelmäoperaattori / verkkoyhtiö</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luotettava ja kustannustehokas tapa lisätä järjestelmän joustavuutta ja varareservejä</li> <li>- Parempi kapasiteetin ja tasesähkön hallinta</li> <li>- Vähemmän tarvetta aktivoida kallista tuotantoa hätätapauksissa</li> <li>- Tasapainotus- ja säätöpalvelujen kustannusten pienentyminen</li> <li>- Paremmat markkinamallit ja kilpailuetu toimijoille, jotka voivat tarjota joustoa</li> </ul>
<b>Sähkön tuottaja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ennustettavampi kysyntäkuorma ja vähentynyt säätövoiman tarpeen vaihtelu</li> <li>- Voi hyötyä siitä, että kulutusta voidaan lisätä äkillisesti ylituotantotilanteissa</li> <li>- Parempi tuotannon käyttöaste ja pienempi tarve ajaa alle optimaalisen kuormituskäyrän</li> <li>- Vähemmän hintapiikkejä, mikä voi tasata marginaaleja ja vähentää volatiliiteettia ja muita riskejä</li> </ul>
<b>Sähkön siirto- ja jakelu-yhtiöt (jakeluverkko, Fingrid)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vähennetään paikallisia huippuja ja jännitekuormituksia, mikä vähentää ylikuormitusriskiä ja investointipaineita</li> <li>- Pidemmän tähtäimen verkon kapasiteettivarausten tarve pienenee</li> <li>- Parantaa verkon vakautta ja riskinsietokykyä dynaamisissa kuormitustilanteissa</li> <li>- Mahdollisuus tarjota joustopalveluita asiakkaille ja tukea alueellista energijärjestelmän optimointia</li> </ul>

Teollisuus ja palvelukiinteistöt muodostavat kulutusjoustoparantajan kannalta merkittävän ryhmän, sillä niissä sähkönkulutus on sekä suurta että monesti hallittavissa. Näissä kohteissa kulutusjousto ei ole vain tekninen mahdollisuus, vaan myös strateginen keino parantaa toiminnan joustavuutta, pienentää energiakustannuksia, ja sitä kautta myös pienentää riskejä.

Teollisuus ja palvelukiinteistöt muodostavat kulutusjouston kannalta merkittävän kohde-ryhmän, koska niiden sähkönkulutus on suurta ja monin paikoin ohjattavissa ilman, että toiminnan laatu tai turvallisuus vaarantuu. Teollisuudessa jousto liittyy erityisesti prosessien ohjaukseen, tuotannon ajoitukseen ja energian varastointiin. Palvelukiinteistöissä joustomahdollisuuksia tarjoavat muun muassa lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihto- ja valaistusjärjestelmät sekä varavoima ja sähköajoneuvojen lataus.

Kulutusjouston hyödyntäminen edellyttää ymmärrystä omasta energiankäytöstä, joustettavien resurssien ominaisuuksista sekä markkinoiden ja ohjauksen vaatimuksista. Parhaat tulokset saavutetaan, kun kulutusjousto integroidaan osaksi yrityksen energiat strategiaa ja sitä tukevia ohjaus- ja seurantajärjestelmiä. Tällöin kulutusjousto ei ole yksittäinen toimenpide, vaan pysyvä osa energianhallintaa ja riskienhallintaa.

## 2.2 Joustotavat

Kulutusjoustokykyä voidaan hyödyntää useilla eri tavoilla riippuen kohteen teknisistä valmiuksista, sähkönhankintamallista ja tavoitteista. Joustotavoilla voidaan joko pienentää energiakustannuksia tai osallistua aktiivisesti sähkömarkkinoille joustokyvyn tarjoajana. Sähkömarkkinoiden rakenne ja markkinapaikat on esitetty alla (Kuva 2). Seuraavissa alaluvuissa kuvataan keskeiset kulutusjouston hyödyntämistavat.

Nasdaq eex		NORD POOL epexspot		FINGRID Statnett SVENSKA KRAFTNÄT ENERGINET		NORD POOL epexspot		FINGRID Statnett SVENSKA KRAFTNÄT ENERGINET		eSett	
Johdannais- markkinat	Vuorokausi- markkinat	Reservikapasi- teettimarkkinat	Päivänsisäiset markkinat	Reservienergia- markkinat	Toimitus	Taseselvitys					
Kaupankäynti	Huutokauppa: Huominen	Huutokauppa: Huominen	Huutokauppa ja jatkuva kaupankäynti	Reaaliaika		Toimituksen jälkeen					
Ajanjaksot	Tunti	Tunti	15 min	15-60 min		Tasesähkö Taseselvitysjaksot: 15 min					
10 vuotta - päivä eteenpäin											
Vuosi, kvartaali, kuukausi ja viikko											

Kuva 2 Sähkömarkkinoiden rakenne ja markkinapaikat<sup>1</sup>

### 2.2.1 Pörssisähkön hinnan mukainen ohjaus

Pörssisähkön hinnan mukainen ohjaus on yleisin kulutusjouston muoto. Sen tavoitteena on pienentää sähköenergian kustannuksia siirtämällä kulutusta edullisemmille tunneille tai vähentämällä kulutusta korkean hinnan aikana. Pohjoismaisilla vuorokausimarkkinoilla seuraavan päivän tuntihinnat julkaistaan edellisenä päivänä, mikä mahdollistaa kulutuksen ennakkoinnin ja suunnittelun.

<sup>1</sup>Fingrid Oyj. Nettisivut. Sähkömarkkinat, markkinapaikat. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/johdanto-sahkomarkkinoihin/#sahkomarkkinoiden-aikajana>

Tämän joustotavan hyödynnettävyys riippuu sähköhankintasopimuksesta. Jos sähkö on kokonaan tai osittain kiinnitetty, altistus pörssihintojen vaihtelulle voi olla rajallinen. Kulutusjoustosta voi silti olla hyötyä, kun kulutusta sovitetaan hankittuun sähkömäärään tai vähennetään tasepoikkeamia. Vastaavasti joustoa voidaan tarjota myös vuorokausimarkkinoille aggregaattorin välityksellä.

#### 2.2.2 Tehomaksujen leikkaus

Tehomaksujen leikkauksessa joustokykyä hyödynnetään yksittäisten kulutuspiikkien pienentämiseen. Tämä voi alentaa sähköliittymän tehomaksuja tai mahdollistaa liittymän ja sähköjärjestelmän mitoituksen pienemmälle teholle. Tyypillinen esimerkki on sähköajoneuvojen latauksen kuormanhallinta.

Tehonleikkaus soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa kulutushuiput ovat lyhytkestoisia. Pitkäkestoisten huippujen hallinta edellyttää merkittävää ja pitkäaikaista joustoa tai energiavarastointia, jotta saavutetaan taloudellisesti merkittäviä hyötyjä.

#### 2.2.3 Reservi- ja säätösähkömarkkinat

Reservi- ja säätösähkömarkkinoilla kulutusjoustoa hyödynnetään sähköjärjestelmän tasapainottamiseen. Suomessa näitä markkinoita ylläpitää Fingrid yhteistyössä muiden pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden kanssa. Markkinoilla hankitaan joustokykyä sekä kapasiteettina että energiana verkon taajuuden ja tuotannon sekä kulutuksen tasapainon hallintaan.

Reservimarkkinoilla joustokyky pidetään valmiudessa ja aktivoidaan tarvittaessa, kun taas säätösähkömarkkinoilla jousto aktivoidaan erillisestä pyynnöstä. Joustokyvystä maksetaan markkinaehtoinen korvaus joko valmiudesta, aktivoidusta energiasta tai molemmista. Markkinoille osallistuminen edellyttää teknisten vaatimusten täyttämistä, luotettavaa mittarointia ja sopimuksia. Reservi- ja säätösähkömarkkinoiden vaatimuksia ja toimintaa käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.

#### 2.2.4 Siirtojenhallinta

Kulutusjoustoa voidaan hyödyntää myös sähköverkon paikallisten pullonkaulojen hallinnassa. Siirtojenhallinnassa joustokykyä hankitaan kohdennetusti alueille, joissa siirto- tai jakeluverkon kapasiteetti on hetkellisesti rajoittunut. Tämä toteutetaan kahdenkeskisin sopimuksin tai erillisten markkinapaikkojen kautta.

Suomessa Fingrid ja Helen kehittävät siirtojenhallinnan markkinapaikkaa FinFlex-hankkeessa. Markkinan tavoitteena on tarjota kustannustehokas vaihtoehto verkkoinvestoinneille hyödyntämällä paikallista joustokykyä. Kehitysvaiheen jälkeen markkinan on mahdollista laajentua valtakunnalliseksi.

### 2.3 Reservimarkkinoiden vaatimukset

---

Fingrid ylläpitää Suomessa reservimarkkinoita, joiden tarkoituksena on varmistaa sähköjärjestelmän taajuuden ja tuotannon sekä kulutuksen välinen tasapaino kaikissa käyttötilanteissa.

Reservejä hankitaan eri markkinoilta sen mukaan, kuinka nopeasti ja millä tavalla joustokyvyn tulee reagoida järjestelmän tarpeisiin.

Reservimarkkinat on jaettu aktivointinopeuden perusteella useisiin reservityyppeihin. Nopeimmista hitaimpiin nämä ovat FFR (Fast Frequency Reserve), FCR-D (Frequency Containment Reserve for Disturbances), FCR-N (Frequency Containment Reserve for Normal operation), aFRR (automatic Frequency Restoration Reserve) ja mFRR (manual Frequency Restoration Reserve). Kunkin reservityypin keskeiset tekniset vaatimukset, minimitarjouskoot ja markkina-aikajaksot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2).

Reserviin osallistuminen tarkoittaa, että joustettava resurssi sitoutuu ylläpitämään tarjotun joustokyvyn sovitun markkina-ajanjakson ajan. Aktivointi voi tapahtua automaattisesti verkon taajuuden perusteella tai Fingridin erillisestä ohjaussignaalista riippuen reservityypistä. Aktivointi voi tarkoittaa joko sähkönkulutuksen vähentämistä tai lisäämistä taikka tuotannon lisäämistä tai vähentämistä.

Reservimarkkinat toimivat pääosin tuntimarkkinoina ja osin myös vuosimarkkinoina. Tarjoukset asetetaan hintajärjestykseen, ja Fingrid hankkii tarvittavan reservimäärän edullisimmista tarjouksista alkaen. Kaikki hyväksytyt tarjoukset hinnoitellaan marginaalihinnoitteluperiaatteella, jossa korvaus määräytyy kalleimman hyväksytyyn tarjouksen hinnan mukaan. Tämä koskee sekä kapasiteettimarkkinoita että energiamarkkinoita.

FFR- ja FCR-reservit aktivoituvat itsenäisesti sähköverkon taajuuden poiketessa nimellistaajuudesta 50 Hz. Näille markkinoille osallistuvan resurssin tulee mitata verkon taajuutta ja suorittaa aktivointi automaattisesti ilman erillistä ohjauskäskyä. Aktivointivasteaikavaatimukset ovat erittäin tiukkoja, erityisesti FFR- ja FCR-D-markkinoilla.

AFRR- ja mFRR-reservit aktivoidaan Fingridin lähettämän ohjaussignaalin tai aktivointipyynnön perusteella. AFRR-reservissä ohjaussignaali on jatkuva ja vaste automaattista, kun taas mFRR-reservissä aktivointi tapahtuu erillisellä pyynnöllä ja pidemmällä vasteajalla. Näillä markkinoilla joustokyvyn ylläpidosta maksetaan kapasiteettikorvaus kapasiteettimarkkinoilta, ja aktivoidusta energiasta erillinen energiamarkkinahinta.

Reservimarkkinoille osallistuminen edellyttää säätökokeiden läpäisemistä. Säätökokeilla varmistetaan, että resurssi täyttää markkinan tekniset vaatimukset, kuten vasteajan, säätötarkkuuden ja mittausten luotettavuuden. Säätökokeet ovat pakollisia FFR-, FCR- ja aFRR-markkinoille.

Reservimarkkinoiden vaatimukset asettavat erityisiä edellytyksiä mittaroinnille, ohjaukselle ja automaatiolle. Näitä käsitellään tarkemmin luvuissa 2.3.1 ja 2.5.

Taulukko 2 Reservimarkkinoiden päävaatimukset<sup>2</sup>

Markkina	Hankinta/käyttö	Aktivoinnin vasteaika	Aktivoinnin keston vaatimus	Minimi tarjouskoko	Markkinat	Markkina-aikajakso
<b>FFR</b> <b>Nopea taajuusreservi</b>	Matalan inertian aikoina suuressa taajuuden laskussa. Hankitaan osalle vuoden tunneista.	0,7 s / 49,5 Hz 1 s / 49,6 Hz 1,3 s / 49,7 Hz	5 s, jos deaktivointi max 20 %/s, muuten 30 s		Tuntimarkkinat	
<b>FCR-D</b> <b>Taajuusohjattu häiriöreservi</b>	Nopeassa taajuuden laskussa. Hankitaan jatkuvasti.	Teho: 86 % / 7,5 s Energia: 3,2 x kapasiteetti / 7,5 s Nopealla 0,4 Hz:n poikkeamalla	1/3 h energiavarastoille, 1 h muuten	1,0 MW	Tuntimarkkinat, vuosimarkkinat, ylösäättömarkkinat, alassäättömarkkinat	1 h
<b>FCR-N</b> <b>Taajuusohjattu käyttöreservi</b>	Pieneen jatkuvaan taajuussäätöön ylläpitämään taajuutta lähellä 50 Hz. Hankitaan jatkuvasti.	Siniaaltotesti, n. 63 % / 1 min ja n. 95 % / 3 min, 0,1 Hz taajuuspoikkeamalla		0,1 MW	Tuntimarkkinat, Vuosimarkkinat	
<b>aFRR</b> <b>Automaattinen taajuudenpalautusreservi</b>	Tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseen, vapauttaa nopeammat reservit, palauttaa taajuuden poikkeamasta takaisin 50 Hz:iin. Hankitaan vuoden joka tunnilla.	5 min sisään tilauksesta (maks 30 s valmistelu + 4,5 min aktiivointi)	1 tunti	1,0 MW	Kapasiteettimarkkinat, energiamarkkinat, ylös- ja alassäättö erikseen	Kapasiteetti: 1 h Energia: 4 s, energiatarjoukset kuitenkin 15 min tarkkuudella
<b>mFRR</b> <b>Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat</b>		15 min sisällä aktivoinnista				Kapasiteetti: 1 h Energia: 15 min

<sup>2</sup> Tiedot koottu Fingridin nettisivuilta: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/>

### **FFR (Fast Frequency Reserve, nopea taajuusreservi)**

FFR-reservillä Fingrid hankkii sähköjärjestelmää tukevaa reserviä matalan inertian tilanteisiin. Tämä reservi on nopeasti aktivoituva. Aktivoitu reservi on joko tuotannon nostamista tai kulutuksen laskemista (ylössäättöä). Reservi aktivoituu 100 %, kun taajuus alittaa valitun aktivointirajan. Aktivointirajoja on kolme, joilla on eri vaatimukset aktivointinopeudelle. Aktivointia täytyy kyetä ylläpitämään vähintään 5 sekuntia, jos aktivoitua tehoa voidaan laskea hitaasti, enintään 20 % sekunnissa. Jos aktivoitu teho täytyy laskea nopeammin tai kerralla, tulee kyetä 30 sekunnin aktivointeihin. Reservi aktivoituu harvoin suuren matalan taajuusrajan takia.

### **FCR (Frequency Containment Reserve, taajuuden vakautusreservit)**

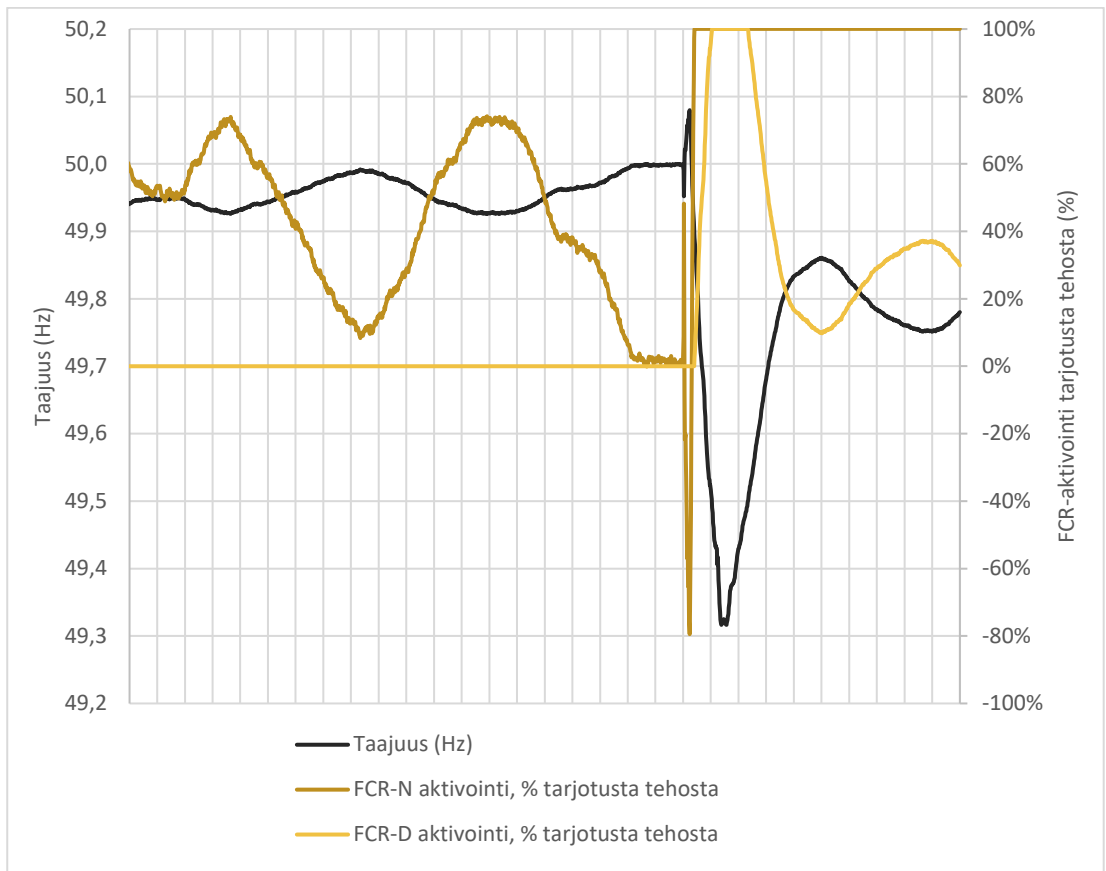
FCR-D-reservi aktivoituu ennen kuin FFR (pienemmästä taajuuspoikkeamasta). FCR-D:tä hankitaan verkon häiriötilanteisiin, nopeiden suurien taajuuspoikkeamien varalle. FCR-D aktivoituu lukuisia kertoja vuodessa, kuitenkin yleensä vain hyvin lyhyitä aikoja. FCR-D:ssä tulee kyetä tarjotun ajanjakson pituiseen aktivointiin, jonka suuruus riippuu lineaarisesti taajuuspoikkeaman suuruudesta.

Reserviin tarjotaan joustokapasiteettia erikseen kumpaankin suuntaan, ylös tai alas. Tarjottu ja markkinalle hyväksytty reservi tulee ylläpitää vastaavan markkina-ajanajan ajan, eikä sitä saa käyttää muuhun. Aktivointi aloitetaan, kun taajuus alittaa 49,9 Hz ylössäättömarkkinalla. Alassäättömarkkinalla aktivointi aloitetaan, kun taajuus ylittää 50,1 Hz. Vaadittu aktivointivasteaika on lyhyt. Se määritellään niin, että taajuuspoikkeamasta 7,5 sekunnin päästä 86 % tarjotusta tehosta tulee olla aktivoituna ylös- tai alassuuntaan (voi olla joko tuotannon nostamista tai laskemista, tai kulutuksen nostamista tai laskemista). Reservi aktivoidaan 100 %, kun taajuus on laskeutunut vähintään 49,9 Hz:iin tai noussut 50,1 Hz:iin.

FCR-N toimii 49,9-50,1 Hz:n ”normaalitaajuusalueella”. Sitä hankitaan vuoden joka hetkelle, kuten FCR-D:tä, mutta koska sähköjärjestelmän taajuus on käytännössä aina jotain muuta, kuin 50 Hz, myös FCR-N aktivoidaan jatkuvasti pieneen taajuussäätöön. Kuten FCR-D:ssä, aktivointi on lineaarinen tarjotusta tehosta taajuuspoikkeaman mukaan. Kun taajuus poikkeaa 0,1 Hz:ä 50 Hz:stä, tulee reservi aktivoitua 100 %:sesti. Toisin kuin FCR-D, FCR-N:ssä on vain yksi markkina, jossa aktivointeja tulee tehdä kumpanakin suuntaan, taajuuspoikkeamasta riippuen. Markkinalla tuleekin kyetä yhtä suureen aktivointiin kumpaankin suuntaan. Jos esimerkiksi ylössäättöön pystytään 100 kW:n verran ja alassäättöön 200 kW:n verran, markkinalle hyväksytään vain 100 kW. Aktivointikyky määritellään säätökokeissa siniaaltotestillä. Siniaaltotesti vastaa käytännössä n. 63 % aktivointia 1 minuutissa ja n. 95 % 3 minuutissa, 0,1 Hz:n taajuuspoikkeamalla.

FCR-D:n ja FCR-N:n aktivointia on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 3). Kuvaaja ei ota huomioon aktivointiviiveitä (äärettömän nopea vaste) vaan esittää laskennallisen reservien aktivoinnin. Kuvaaja esittää todellista tilannetta kolmen minuutin ajan 26.4.2023, jolloin häiriö ydinvoimalassa aiheutti poikkeuksellisen suuren taajuuspoikkeaman kello 07:39:59. Kuvaajasta nähdään kuinka aluksi vain FCR-N olisi aktivoitunut. Voimalan vikaantumisesta johtunut nopea taajuuden pudotus taas olisi aktivoitunut myös FCR-D:n täysin. FCR-N olisi aktivoitunut täysin jo ennen tätä. Suurimman häiriön jälkeen nähdään aaltoileva vakiotilan taajuus 49,8 Hz:n ympäristössä, johon häiriö saatiin vakiinnutettua. Häiriö johtui 100 km Forsmarkin ydinvoimalalta olevan

kytkinaseman oikosulusta, jonka johdosta ydinvoimala irtosi verkosta, josta aiheutui äkillinen tuotannon menetys.<sup>3</sup>



**Kuva 3 FCR-reservien aktivointi taajuuspoikkeaman suhteen**

**FRR (Frequency Restoration Reserve, taajuuden palautusreservit)**

AFRR ja mFRR (automaattinen ja manuaalinen taajuuden palautusreservi) aktivoidaan nopeammin aktivoituvien reservien jälkeen, ja ne vapauttavat nopeampia reservejä sekä ylläpitävät tuotannon ja kulutuksen tasapainoa. AFRR tulee aktivoida Fingridin jatkuvasti lähettämän signaalin perusteella automaattisesti, vähintään 5 minuutin kuluessa signaalin saapumisesta. Aktivointi täytyy aloittaa 30 sekunnin kuluessa signaalista. Markkinalla on erikseen kapasiteettimarkkina, jolle tarjottu ja hyväksytty teho tulee ylläpitää reserviä varten. Ylläpitämisestä saa kapasiteettikorvauksen. Kapasiteettimarkkinalle hyväksytyn tehon ja kapasiteettikorvauksen saamisen vastineeksi tulee vastaavalle markkina-ajanjaksolle tarjota hyväksytyn tehon verran energiatarjouksia. Kapasiteettimarkkinalla Fingrid varmistaakin, että sillä on käytettävissä tarvittu määrä energiatarjouksia. MFRR toimii vastaavalla tavalla kuin AFRR, mutta aktivointi tulee suorittaa täyteen tehoon 12,5 minuutin kuluessa Fingridin lähettämästä erillisestä aktivointipyynnöstä ja määrästä.

<sup>3</sup> Sweden’s Tenth National Report under the Convention on Nuclear Safety, Ds 2025:22, Government Offices of Sweden, Ministry of Climate and Enterprise. Nettisivut government.se.



12,5 minuuttia koostuu 2,5 minuutin valmisteluajasta ja 10 minuutin tehonmuutosajasta. Vaihtoehtona on toteuttaa säätö täyteen tehoonsa 15 minuutin kuluessa aktivoinnista. AFRR- ja mFRR-energiamarkkinat toimivat vuorokausimarkkinoiden tavoin 15 minuutin aikajaksoissa. Kapasiteettimarkkinoiden markkina-ajanjakso on 1 tunti.

### 2.3.1 Rajoitettujen energiavarojen poikkeavat vaatimukset

Osa kulutusjoustoon soveltuvista resursseista on luonteeltaan rajoitettuja energiavaroja (Limited Energy Reservoir, LER). Tällaisia resursseja ovat esimerkiksi akut, sähköajoneuvojen akut, lämpövarastot ja prosessit, joiden joustokyky on käytettävissä vain rajatun ajan tai energiamäärän.

Rajoitetun energiavarojen keskeinen ominaisuus on, että sen tarjoama joustokyky ei ole ylläpidettävissä jatkuvasti ilman palautumisjaksoa. Tämä poikkeaa esimerkiksi teollisuuden jatkuvatoimimisista kuormista, jotka voivat tarjota joustoa pidempään ilman energiavarojen tyhjenemistä tai täyttymistä. Tästä syystä LER-resurssien osallistuminen reservimarkkinoille edellyttää poikkeavia vaatimuksia ja rajoituksia (katso Taulukko 3).

Käytännössä LER-resurssit soveltuvat parhaiten nopeisiin ja lyhytkestisiin reservituotteisiin, joissa aktivoinnit ovat harvinaisia tai lyhyitä. Tällaisia markkinoita ovat erityisesti FFR- ja tiettyin ehdoin FCR-D-markkinat. Sen sijaan reservimarkkinat, joissa vaaditaan pitkäkestoista tai jatkuvaa säätöä, asettavat LER-resursseille merkittäviä rajoitteita.

Poikkeavat vaatimukset koskevat erityisesti aktivointien kestoa, palautumisaikaa ja energiasisällön hallintaa. LER-resurssin on kyettävä osoittamaan, että sillä on riittävä energiasisältö tarjotun joustokyvyn toteuttamiseen koko aktivoinnin ajan. Lisäksi resurssin tulee hallita omaa energiatasettaan siten, että se on käytettävissä markkinasääntöjen mukaisesti sovittuina ajanjaksoina.

Rajoitettujen energiavarojen osallistuminen reservimarkkinoille edellyttää usein tarkempaa ennakkointia, automaattista ohjausta ja aktiivista tilan seurantaa. Näiden vaatimusten täyttyminen varmistetaan säätökokeilla ja jatkuvalla valvonnalla markkinoille osallistumisen aikana.

**Taulukko 3 Rajoitettujen energiavarojen (LER) vaatimukset FCR:ssä<sup>4</sup>**

Vaatus	FCR-D ylös	FCR-D alas	FCR-N
Energia, ylös	1/3 h x FCR-D ylös kapasiteetti	-	1 h x FCR-N kapasiteetti
Energia, alas	-	1/3 h x FCR-D alas kapasiteetti	1 h x FCR-N kapasiteetti
Teho, ylös	1 x FCR-D ylös kapasiteetti	0,2 x FCR-D alas kapasiteetti	1,34 x FCR-N kapasiteetti
Teho, alas	-0,2 x FCR-D ylös kapasiteetti	-1 x FCR-D alas kapasiteetti	-1,34 x FCR-N kapasiteetti

<sup>4</sup> Fingrid Oyj, verkkosivut. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-markkinoille-osallistuminen/fcr-taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi/#tekniset-vaatimukset>

## 2.4 Muiden joustotapojen vaatimukset

---

Tehonleikkaus ja sähkön spot-hinnan optimointi voidaan toteuttaa rakennuksen tai joustavien resurssien omalla ohjauksella itsenäisesti. Tehonleikkauksessa mitataan ja seurataan liittymän hetkellistä tehoa. Joustot aktivoidaan ennalta määritellyn tavoitetehon mukaan tavoitetehon lähestyessä tai ajoitetusti. Tällöin voidaan pienentää liittymän tehomaksuja tai säästää liittymän ja sähköjärjestelmän mitoituksessa. Näissä tapauksissa riittää hitaampi jouston reagointi tai aktiivointiaika.

Pörssisähkön hinnat saadaan tietoon edellisenä päivänä. Tällöin kulutusennusteen avulla voidaan suunnitella seuraavan päivän joustot hyvissä ajoin etukäteen. Riippuu myös sähkönhankintasopimuksesta, onko spot-sähkön mukainen ohjaus mahdollista tai edes järkevää. Mahdollista ohjaus on, jos sähkön tehokiinnitys on korkealla kulutusprofiiliin nähden, ja kiinnityksen ylittävä kulutus ostetaan vuorokausimarkkinoilta tai kun kiinnitykset hetkellisesti ylittävät kulutuksen. Tällöin kuormansiirto kiinnitykset ylittäviltä tunneilta kiinnitykset alittaville tunneille on mahdollinen. Myös tasesähkön ostoa voidaan minimoida joustojen avulla leikkaamalla kulutuksen, joka ylittää sen tunnin aiemman sähkön hankinnan.

Siirtojenhallinnan markkinapaikka koostuu kapasiteetti- ja energiamarkkinasta. Kapasiteettimarkkinoille voidaan jättää vähintään 0,1 MW -kokoisia tarjouksia. Hyväksytyt kapasiteettitarjous velvoittaa tarjoajaa jättämään vastaavan määrän energiatarjouksia samalle hyväksytylle markkina-aikajaksolle. Kapasiteettitarjoukset järjestetään hintajärjestykseen, jonka jälkeen joustojen ostaja, esimerkiksi Fingrid, kattaa tarjouksilla joustotarpeensa edullisuusjärjestyksessä. Energiemarkkinat on jaettu vuorokausimarkkinaa edeltävään ja jälkeiseen markkinaan, ja joilla on reservimarkkinoiden tapaan teknisiä rajoitteita. Minimitarjouskoko on 0,1 MW ja markkina-aikajakso on 60 minuuttia. Ennen vuorokausimarkkinoita jätettävät tarjoukset jätetään joustoja edeltävänä päivänä, mutta tarjouksia voi jättää vuorokausimarkkinoiden jälkeen myös 60 minuuttia ennen jouston toimitusajankohtaa. Vuorokausimarkkinoita edeltävät tarjoukset tilataan huutokaupan kautta, vuorokausimarkkinoiden jälkeen jatkuvalla kaupankäynnillä. Reservimarkkinoista poiketen hyväksytyt kapasiteetti- ja energiatarjoukset hinnoitellaan pay-as-bid-periaatteella, jolloin jokainen hyväksytty tarjous ostetaan tai myydään tarjotulla hinnalla. Lisäksi tarjoaja voi määritellä tarjoukselleen joustavan resurssin ominaisuuksia, kuten

- valmistelu- tai ramppiaika
- aktiivointien välinen lepoaika
- peräkkäisten aktiivointien vähimmäis- ja enimmäismäärät
- ylös- vai alassäätötarjous.

Tällä hetkelle markkina-alue on Fingridin osalta koko Suomen siirtoverkon alue, Ahvenanmaata lukuun ottamatta ja Helenin osalta Helenin jakeluverkon alue.

## 2.5 Seuranta, ohjaus, automaatio

---

Kulutusjoustop toteutus vaatii tietyn tasoista kulutusmittarointia ja ohjausta. Lisäksi on kohteesta ja joustavista resursseista kiinni, tarvitaanko lisäksi olosuhdeseurantaa. Olosuhdeseuranta tulee kyseeseen esimerkiksi joustettaessa ilmanvaihtoa tai lämmitystä.

Reservimarkkinoilla on valmiit vaatimukset kulutusmittaroinnille ja raportoinnille Fingridin suuntaan. Fingrid vaatii tarkkaa reservien tehonmittausta ja raportointia, jotta voidaan varmistua

siitä, että markkinoille tarjottu joustokapasiteetti- tai energia on todella ollut joustojen käytössä. Pääasiassa halutaan mitata reservikohteen hetkellistä pätötehoa ja raportoida ylläpidettävä reservimäärä. Reservien pätötehon mittauksen ja historiatiedon vaatimukset on koottu alla olevaan taulukkoon (Taulukko 4). Lisäksi Fingridille tulee raportoida tiettyjä tilatietoja. Näiden vaatimusten täyttäminen ei ole erityisen hankalaa, mutta on huomioitava mittarien sijoittelu suhteessa joustaviin resursseihin ja ajantasaiset vaatimukset tulee tarkastaa Fingridin vaatimuksista.

**Taulukko 4 Tiedonvaihdon ja pätötehomittauksen vaatimuksia<sup>5</sup>**

Reservi	Tiedonvaihdon päivitysväli	Pätötehon mittausrésoluutio	Historiatietojen tallennus	Mittaustarkkuus
FFR	Maks. 60 s (saatavilla olevan pätöteho 10 s vaihtele- van tuotannon ja kulutuksen kohteille)	0,01 MW	14 vrk ajan, tallennusväli maks 0,1 s	±5 %, kun teho < 1,5 MW ±1 %, kun teho 1–10 MW
FCR		0,01 MW tai 0,025 %	14 vrk ajan, tallennusväli maks 1 s	MW ±0,5 %, kun teho >10 MW
aFRR	Maks. 10 s	0,1 MW	1 kk ajan, tallennusväli maks 1 min	-
mFRR	Maks. 60 s	0,1 MW	-	-

Koska Fingridille pitää raportoida ylläpidetty ja toteutettu jousto mittauksen perusteella, täytyy mittauksista olla nähtävissä toteutettu jousto. Jos joustavat resurssit ovat sellaisen mittarin takana, joka mittaa myös muuta ei-joustavaa kulutusta, voi tämä ei-joustava kulutus peittää alleen tai häivyttää mittauksista tehdyn jouston. Siksi erityisesti talotekniikan liittämisen reservimarkkinoille tulee huomioida riittävä mittarointitarkkuus, ja ryhmitellä joustavat resurssit erillisten mittarien tai mittausryhmien taakse. Huonoimmassa tapauksessa tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi erillistä mittausjärjestelmän kerroksen ilmanvaihtokoneelle.

FFR ja FCR ovat itsenäisesti sähköverkon taajuuden mukaan aktivoituvia reservejä. Tämä tarkoittaa sitä, että näille markkinoille osallistuvan toimijan tulee mitata verkon taajuutta haluamastaan pisteestä (esimerkiksi samalla kiinteistöllä joustavan resurssin kanssa, myös keskitetty mittaus pilven kautta on mahdollista, mutta se tuo latenssia ohjaukseen). Kun resurssin tarjoajan mittaama taajuus ylittää tai alittaa reservien aktivointirajat hyväksytyyn tarjouksen markkina-ajan kohtana, tulee aktivointi suorittaa automaattisesti viivyttämättä. Tätä verkon mittausjärjestelmän varten tarvitaan verkkoanalysointia. Fingridillä on määritetty vaatimukset taajuusmittauksille, joiden täyttäminen tulee varmistaa analysointiosaston osalta.

AFRR ja mFRR aktivoidaan Fingridin lähettämän signaalin ja viestin perusteella. AFRR:ssä Fingrid lähettää jatkuvasti signaalia, joka kertoo 4 sekunnin välein pitääkö reservi aktivoida vai ei. MFRR:ssä Fingrid lähettää elektronisen sanoman, jossa on määritetty mm. joustoajankohta ja jouston suuruus.

<sup>5</sup> Fingrid Oyj. Reservikaupankäynti ja tiedonvaihto -ohje. V.1.2. 12.5.2025.

Kulutusmittaroinnin täytyy reservimarkkinoilla olla niin kattavaa, että joustot pystytään todentamaan. Lisäksi mittarointi auttaa kohteiden tunnistamisessa ja kulutusjoustotoiminnan varmistamisessa. Mittareiden ominaisuuksien pitää myös olla sellaiset, että mittaustietoa voi luotettavasti käyttää prosessien ohjaukseen (mm. tarkkuus, reaaliaikaisuus (esim. M-bus vs. BACnet)). Vaihtoehtoisesti Fingridillä on hyväksyttävä joustojen laskennallinen määrittäminen ohjaussignaalin perusteella, jos mittareiden lisäämisen kustannukset kasvavat esimerkiksi resurssien pienen yksikkökoon vuoksi.

Resurssien täytyy lähtökohtaisesti olla säädettävissä portaattomasti, joskin joitain on-off voidaan hyödyntää myös eri joustotavoissa. Vasteajan täytyy olla riittävän nopea valittuun markkinaan. Resurssien seurattavuuteen on myös hyvä panostaa, jotta voidaan varmistua, että ne toimivat oikein. Seurannalla voidaan myös tehostaa ylläpito- ja huoltotoimintaa, millä voidaan edesauttaa resurssien käytettävyyttä, kun niitä tarvitaan. Kenttäväyliä kannattaa hyödyntää kattavasti (etenkin BACnet, mutta myös Modbus ja muut).

Ohjaavan automaatiojärjestelmän (yleensä rakennusautomaatiojärjestelmä) täytyy pystyä ottamaan vastaan ulkoisia tietoja ja käskyjä sekä välittämään tietoa ulkopuolisiin järjestelmiin. Lähtökohtaisesti automaatiojärjestelmällä täytyy löytyä soveltuvat ohjelmointirajapinnat (API), jotka mahdollistavat nopean tai tapahtumapohjaisen (asynkronisen) tiedonsiirron (ts. REST ei välttämättä ole soveltuvin nopeimpiin markkinoihin). Vaihtoehtoisesti kiinteistöön voidaan tuoda palveluntarjoajan laite, joka liitetään automaatiojärjestelmään ja suorittaa tiedonsiirron automaation ja joustopalvelun välillä. Laite liitetään esimerkiksi Ethernet-yhteydellä automaatiojärjestelmään (esim. BACnet IP). Tietoturvan (fyysinen ja digitaalinen) täytyy olla kaikin puolin kunnossa, jotta ulkopuoliset tahot eivät pääse väärinkäyttämään joustoresursseja tai niitä ohjaavia järjestelmiä.

Sisäisessä joustossa, joka kattaa omaa sähkönhankintaa optimoivan ohjauksen ja tehomaksujen hallinnan, riittää mittaroinnin osalta olemassa oleva laskuttava mittari, kuten liittymän päämittaus, sillä joustojen säästöt syntyvät näissä tapauksissa sähkölaskun pienentämisestä.

Olosuhdeseurannan täytyy olla niin kattavaa, että voidaan varmistua, ettei jousto heikennä olosuhteita liikaa. Joko anturointia täytyy asentaa laajalti tai simuloinneilla paikantaa kriittisimmät tilat. Jälkimmäinen voi kuitenkin olla tilamuutosten kannalta huono vaihtoehto. Ei-kriittisissä tiloissa voi riittää myös kokemukseräinen olosuhteiden varmennus, mutta tämä riippuu tilojen käyttäjästä.

## 3 Joustavat resurssit

---

### 3.1 Tyypilliset resurssit

---

Teollisuudesta ja kiinteistöistä löytyy monenlaisia resursseja, jotka voivat teoriassa joustaa. Kiinteistöissä ja erityisesti teollisuudessa on kuitenkin hyvin tapauskohtaista, onko jokin resurssi joustettavissa. Pääasiassa tähän vaikuttaa jouston vaikutukset olosuhteisiin tai prosesseihin, sekä resurssin ohjauksen ja automaation taso. Esimerkkejä joustamattomista kriittisistä resursseista ovat paineilmakompressorit, maalaamojen puhaltimet, erillispoistot, valaistus riippuen kohteesta, jatkuvatoimiset pumput sekä jotkin kylmä- ja kuumaprosessit.

Olosuhteisiin vaikuttavissa joustoratkaisuissa tulee myös tarkastella palvelualueita, joiden olosuhdevaatimukset voivat vaihdella suuresti, ja tarpeen mukaan sulkea joustoista ulos kriittisiin alueisiin ja prosesseihin vaikuttavat resurssit. Tämä voidaan toteuttaa etukäteen tehtävillä testeillä, tai aloittaa joustot jollain suuruudella, ja seurannan tai käyttäjäpalautteen kautta muokata joustojen suuruutta tai ajankohtaa. Seuraavaksi on esitelty mahdollisia joustavia resursseja ja niille mahdollisia joustotapoja.

#### 3.1.1 Varavoimakoneet

Varavoimakoneet ovat yleensä yksinkertainen kulutusjoustoresurssi. Varavoimakoneet käynnistyvät noin 15 sekunnin kuluessa käynnistyskäskystä. Siten ne sopivat hyvin hitaampiin joustotapoihin, kuten aFRR- ja mFRR-reservimarkkinoille, kiinteistön tehohippujen leikkaukseen, sekä sähkön hinnan mukaiseen tuotantoon. Käyttöönottoa suunniteltaessa reagointinopeuden lisäksi tulee kiinnittää huomiota generaattorien kuormanottokykyyn ja varmistaa ettei se rajoita joustojen aktivointia reservimarkkinoilla.

Varavoimakoneiden käyttämisestä polttoaineesta riippuu kuinka usein ja millä hinnalla joustoja kannattaa tehdä. Lisäksi polttoainevarasto ja sen haluttu minimitaso aiheuttavat rajoituksia tuotetun energian määrälle.

Varavoimakoneiden ohjaus on yleensä yksinkertainen, ja kulutusjoustokäskyt voidaan liittää suoraan varavoimakoneiden ohjaukseen. Lisäksi mittaukset ovat usein jo hyvällä tasolla. Erityisesti suunnitteluvaiheessa joustojen mahdollisuudet kannattaa huomioida ohjauksessa sekä polttoainevaraston koossa.

Varavoimakoneet voivat toteuttaa joustoja joko syöttämällä tehoa kiinteistön kulutukseen, vähentäen siten sähköverkosta otettua tehoa. Toinen vaihtoehto on syöttää varavoimakoneiden tuottamaa tehoa verkkoon. Tämä kasvattaa joustojen toteutuksen mahdollisuuksia vähentämällä joustojen suuruuden riippuvuutta kulutuksen määrästä. Siten mahdollisuuksien mukaan on hyödyllistä mahdollistaa varavoiman ja sähköverkon rinnankäyttö tai syöttö sähköverkkoon.

Lisäksi ns. ”PIPO-asetuksen” vaatimien 500 käyttötunnin raja tulee huomioida keskisuurten energiantuotantoyksiköiden yhteydessä. Tämä ja muut käyttötuntirajoitukset ovat kuitenkin yksinkertaista huomioida sopimuksissa sekä käytännössä, kun joustoja toteuttaessa nähdään mihin käyttötunnit vuoden aikana kehittyvät. Ennalta määritellyn käyttötuntimäärän lähestyessä, voidaan joustot lopettaa ja varata käyttötunteja muuhun varavoiman käyttöön.

Varavoimakoneiden käyttö varavoiman tuotannon lisäksi kulutusjoustossa voi vaatia paikallisen jakeluverkonhaltijan ja Fingridin järjestelmätekniisten vaatimusten täyttämistä. Vaatimusten toteutettavuus kannattaakin selvittää etukäteen.

### 3.1.2 Sähkökattilat

Sähkökattilat ovat yksinkertaista tekniikkaa ja niiden kuluttamaa tehoa voidaan helposti ohjata. Lisäksi niiden teho voi monissa kohteissa olla suuri. Nopean säädettävyyden ja lineaarisen ohjauksen takia sähkökattiloita voidaan hyödyntää lähes kaikilla markkinapaikoilla ja eri joustotavoilla. Vanhemmissa sähkökattiloissa säädettävyyden voi kuitenkin olla heikko, jos järjestelmän suunnittelussa joustoja ei otettu huomioon. Tällöin sähkökattiloiden reagointinopeus voi jäädä esimerkiksi FCR-D:n vaatimuksia hitaammaksi.

Rajoittavana tekijänä sähkökattiloiden joustolle on myös mihin tuotettu ylimääräinen lämpö laitetaan. Paljon lämpöä kuluttavissa kohteissa, joissa on vaihtoehtoinen lämmöntuotantoratkaisu, tai lämmöntarve- tai prosessi on joustava, sähkökattilat ovat hyvä jouston lähde. Jatkuvassa käytössä olevia sähkökattiloita voidaan tällöin säätää pienemmälle teholle nopeasti tarvittaessa.

Kohteissa, joissa sähkökattila toimii harvoin, kuten huippulämmöntuotannossa ilmanvaihtoja tilalämmityskohteissa, sähkökattila on useimmiten käyttämättömänä. Tämä tarkoittaa, että sähkökattila mahdollistaa sähkötehon kulutuksen lisäyksen lähes koko vuoden ajan, mutta kulutuksen vähentäminen harvoin onnistuu. Ylimääräinen tuotettu lämpö kulutusta kasvattavassa joustossa, jota ei välittömästi tarvita, voidaan syöttää tapauksen mukaan joko kaukolämpöverkkoon tai varastoida tarkoitusta varten suunniteltuun lämpöenergiavarastoon. Myös lämmön lauhdutus hukkaan ilmaan tai veteen on joissain tapauksissa kannattavaa.

On kuitenkin huomioitava, ettei sähkökattilan käyttö kasvata sähkön siirron tehomaksuja. Etuna myös esimerkiksi nestekaasusta sähkökattilaan siirryttäessä on mahdollisuus polttoaineen optimointiin, jos hybridikäyttömahdollisuus säilytetään.

### 3.1.3 Akkuenergiavarastot

Akkuenergiavarastoja, kuten kalliimpia, energiatiheitä litium-ioni-akkukemiaan perustuvia järjestelmiä, tai kestävämpiä ja paloturvallisempia litium-rauta-fosfaatti-akkuja voidaan hyödyntää monipuolisesti kulutusjoustossa. Hyvän säädettävyyden ja nopeuden vuoksi ne soveltuvat käytännössä kaikille reservimarkkinoille ja kulutusjoustotapoihin.

Rajoitteita voi tuoda akuston kyky syöttää tehoa suoraan sähköverkkoon (jolloin akun syötämisen kiinteistön kulutus voi ajoittain rajoittaa akun tehoa), energiavaraston kapasiteetti tai sähkönhankinnan tuomat rajoitteet. Yksi verkkoon syöttöä rajoittava tekijä on esimerkiksi, jos kiinteistö on keskijänniteliittymässä, mutta akuston jännite on 400 V.

Reservimarkkinoiden lisäksi akustot voivat toimia huipputehon leikkauksessa, pörssisähköhinnan mukaisessa energiankäytön optimoinnissa, tasepoikkeaman minimoinnissa, vuorokausimarkkinoilla tai jopa päivänsisäisillä markkinoilla (intra-day). Kohteesta ja akkuenergiajärjestelmästä riippuen järjestelmä voi pystyä tuottamaan varavoimaa verkon häiriötilanteissa. Reservimarkkinoilla perinteisesti parhaat sähkövarastojen markkinat ovat olleet FCR-D ja FCR-N.

Suosittelavaa on, että akkuenergiajärjestelmä, sen ohjausalgoritmi ja sen mitoitus mahdollistavat mahdollisimman laajan käyttötapausjoukon, mikä vähentää markkinariskiä hajauttamalla tulovirtoja. Tämä näkyy erityisesti akuston tehon ja energiakapasiteetin mitoituksessa, ja mahdollisuudessa syöttää tehoa verkkoon, sekä mahdollisuus akuston ja verkon rinnanajoon.

Sähköenergiavarastot soveltuvat hyvin moneen kohteeseen, ja ne ovatkin lähes paikkariippumattomia, kunhan sähköliittymä on riittävä. Kiinteistöihin sijoitettaessa on huomioitava liitettävyyden olemassa olevaan sähköjärjestelmään, paloturvallisuus ja akustojen sijoittelu sekä esimerkiksi vakuutukset. Sähköenergiavarastojen kulutusjoustopuolelta on olemassa paljon erilaisia toimittajia ja palvelumalleja.

#### 3.1.4 Teollisuus

Teollisuudesta löytyy useita mahdollisuuksia joustoihin aina talotekniikasta prosessin joustoihin asti. Teollisuuden joustomahdollisuudet ovat hyvin tapauskohtaisia. On tärkeää tuntea omat prosessinsa ja niiden energiankulutus. Lisäksi tulee tunnistaa prosessin kohdat, jotka voivat joustaa tuotanto, turvallisuus, ohjaus ja kokonaistaloudellisuus huomioiden. Teollisuuden oman sähköntuotannon hyödyntäminen hintaperusteisessa ohjauksessa ja FRR- tai jopa FCR-D-markkinoilla on selkeitä ensimmäisiä selvityskohteita, jos tuotantoa ei vielä dynaamisesti hyödynnetä.

Lämpöä käyttävässä prosessissa, kuten sähkölämmitteisissä uuneissa, on mahdollista hyödyntää kulutusjoustoja on/off-ohjauksella tai lineaarisesti säätäen. Teollisuuden lämmön varastointiin ja sen tuomaan joustavuuteen on olemassa ratkaisuja kaupallisia ratkaisuja myös korkean lämpötilan sovelluksiin. Jatkuvässä tuotantoprosessissa jousto kannattaa todennäköisesti toteuttaa lineaarisella säädöllä, mikä voi vaatia muutoksia automatiikkaan. Panostyypillisessä prosessissa voidaan tuotanto keskeyttää kokonaan hitaammassa joustotavoissa, kuten pörssihinnan ohjauksessa tai mFRR:ssä, mikä yksinkertaistaa ohjausta. Monesti kuitenkin tuotannon tai prosessin hidastaminen on vähemmän häiritsevä ratkaisu.

Teollisuudessa on käytössä paljon jarruvastuksia, jotka muuttavat sähkömoottorien jarrutuksen energian lämmöksi. Käyttämällä regenerointiyksikköä tai akustoa, energia voidaan palauttaa verkkoon tai varastoon, mikä tuo joustoa. Tulee tapauskohtaisesti arvioitavaksi, miten kannattavaa näiden resurssien hyödyntäminen kulutusjoustopuolella on.

Muita yleisiä joustoresursseja teollisuudessa ovat pumpit, sekoittimet, puhaltimet tai metalliteollisuuden tapauksessa esimerkiksi valssaus. Yksinkertaisimmillaan jousto tuotantolinjalla voidaan toteuttaa esittämällä linjan operoinnista vastaaville sähkön hinta tai hintaennuste, jolloin linjalla voidaan tehdä päätös linjan ajoaikataulusta tapauskohtaisesti, kuten erään haastattelun mukaan on tehtykin. Mahdolliset huollot kannattaa ajoittaa joustojen takia tehtäviin tuotannon taukoihin.

Helenin Afryllä teettämän selvityksen<sup>6</sup> mukaan teollisuudessa on paljon vielä hyödyntämättömiä joustopotentiaaleja. Selvityksen mukaan teollisuuden sähkön hinnan perustuvat joustot tuovat merkittävää hyötyä teollisuudelle sekä Suomen energiajärjestelmälle.

#### 3.1.5 Sähköajoneuvot

Sähköajoneuvojen latauksessa kannattaa alusta asti varautua vähintään dynaamiseen kuormanhallintaan, jolla rajoitetaan lataustehoa latauskentän kokonaistehon kasvaessa liian suureksi. Tämä on mahdollista esimerkiksi asukaslatauksessa, jossa on yleensä mahdollisuus ladata

---

<sup>6</sup> Helen Oy. Joustava energiankäyttö voi nostaa Suomen globaalien kilpailun kärkeen. (Afry) 10.12.2025. [https://www.helen.fi/globalassets/helen-oy/tietoa-yrityksesta/helen\\_joustoselvitys\\_fi.pdf](https://www.helen.fi/globalassets/helen-oy/tietoa-yrityksesta/helen_joustoselvitys_fi.pdf)

sähköautoja pidemmän aikaa, ja autot ovat harvoin kaikki latauksessa samanaikaisesti. Dynaaminen kuormanhallinta toimii myös esimerkiksi logistiikka- ja teollisuuskohteissa sähkörekkojen ja -kuorma-autojen lataustehon hallintaan. Luonnollisesti rajoitus ei ole mahdollista, jos latauspaikkojen käyttöaste on suuri ja latausaika on lyhyt. Pörssisähkön hintaan perustuva latauksen älykäs ohjaus on jo nykypäivää. Tämä ratkaisu toimii kuitenkin vain, jos lataushetkeä voidaan siirtää. Jos latauksen aikaikkuna on pieni, ei optimointiin jää mahdollisuuksia. Lisäksi sähköajoneuvot ovat osallistuneet FCR-D-markkinalle.

Lisäksi sähköajoneuvojen latausjärjestelmän suunnittelussa voidaan varautua kaksisuuntaiseen lataukseen (V2G, ajoneuvosta verkkoon, tai V2L, ajoneuvosta kuormaan). Näin ajoneuvot, jotka eivät ole käytössä, voidaan käyttää kulutusjoustopa, esimerkiksi sähkön hinnan mukaisessa ohjauksessa, tehopiikkien hallinnassa tai laajemmin reservimarkkinoilla (jos mahdollinen joustopaasiteetti voidaan ennustaa tarpeeksi luotettavasti). Varautumalla kaksisuuntaiseen lataukseen helpotetaan siihen siirtymistä tulevaisuudessa välttämällä turhilta uusintainvestoinneilta.

### 3.1.6 Lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet

Lämpöpumput ovat yleensä hyvin ohjattavissa rakennusautomaation tai lämpöpumppujen oman ohjauksen kautta. Näin ne soveltuvat erityisesti sähkön hinnan mukaiseen joustoon. Teholeikkauksessa tulisi kuitenkin huomioida lisäksi muu järjestelmä ja ohjauslaitteet, jotta korvaava lämmön- tai kylmäntuotanto ei paikkaa kulutusta. Esimerkiksi jos kohde on lämpöpumppu-kaukolämpö-hybridi, voi kaukolämmön kulutus kasvaa, kun sähkön tehoa leikataan vähentämällä lämpöpumpun käyttöä. Tällöin kaukolämmön tehomaksut voivat kasvaa ja joustopa hyöty jopa menettää. Vastaava on mahdollista myös sähkökattilan ja lämpöpumpun yhdistelmässä.

Suurissa kohteissa voidaan ohjaukseen ottaa mukaan myös kaukolämmön, sähkökattilan ja pumppujen ohjaus, joka estää epätoivotut toimet, mutta mikä tuo samalla kompleksisuutta ja sitä kautta kustannuksia toteutukseen. Parasta onkin, jos lämpöpumppujen kanssa samalla voidaan myös ohjata tukevaa lämmöntuotantoratkaisua tai hyödynnetään tarpeeksi suurta energiavaraajaa tai -varastoa.

Vedenjäähdytyskoneet toimivat vastaavasti kuin lämpöpumput, mutta kesällä. Vedenjäähdytyskoneiden kulutus ajoittuu useimmiten kesälle, ja on hyvin hetkittäistä sekä piikikästä. Tämän takia jäähdytyksen tuotantoon käytettävän sähkön vähentäminen on rajoittunutta, erityisesti kun jäähdytyksen vähentäminen vaikuttaa olosuhteisiin. Ratkaisuja jäähdytyksen joustopa toteuttamiseksi ovat lähinnä tarpeeksi suuri kylmäenergiavarausto, pieni olosuhteiden heikentymisen salliminen, tai pienennetään jäähdytystarpeen hetkellinen pienentäminen esimerkiksi ohjaamalla samanaikaisesti ilmanvaihtoa.

### 3.1.7 Kylmävarastot

Kylmävarasto auttaa myös käyttämään jäähdytyksen tuotannon laitteistoja sähkön kulutuksen hetkelliseen nostamiseen, jos energiavarausto ei koko ajan pidetä täysin ladattuna. Pakastetiloja ja muita kylmävarastoja palvelevat vedenjäähdytyskoneet toimivat periaatteessa samalla tavalla kuin vedenjäähdytyskone kylmäenergiavarauston kanssa. Kylmävarastoissa voi olla huomattava määrä termistä massaa, mikä sallisi hetkelliset joustopa. Kuitenkin tarkat vaatimukset olosuhteiden ylläpidolle rajoittavat varsinkin sähkönkulutuksen hetkellistä vähentämistä käyttäviä joustopa-  
poja.



Lämpöpumput ja muu kompressoreihin perustuva kulutus toimivat parhaiten joustoresursseina hitailla ja ennakoitavissa olevilla markkinapaikoilla tai joustotavoilla, kuten sähkötehon hallinnassa tai sähköhinnan mukaisessa ohjauksessa.

Kuitenkin jotkut laitteet kykenevät myös nopeampaan reagointiin, jolloin reservimarkkinoista FCR-N, aFRR ja mFRR ovat mahdollisia, riippuen käyttöprofiilista ja mahdollisesta jouston kestosta. Lämpöpumpun nopeampaa joustoa (kuten aFRR ja erityisesti FCR-N) harkittaessa on hyvä olla yhteydessä laitteen valmistajaan tai maahantuojaan reunaehtojen varmistamiseksi. Kompressorien on/off-ohjaus ei kuitenkaan ole suositeltavaa usein tapahtuvassa joustossa, jotta kompressorien elinikä ei lyhene. Suositeltavaa onkin lineaarinen jousto ohjaamalla lämpöpumpun tehoa suoraan esimerkiksi välillä 20-100 %, niin ettei kompressoreita laiteta kiinni tai asetusarvojen kautta hitaammissa joustoissa. Usein mahdollista onkin muuttaa lähinnä lämpötiloja tai pumpun virtaamaa.

### 3.1.8 Sähköntuotanto

Sähkön tuotanto on perinteisesti osallistunut kulutusjoustoan. Vesivoima, polttava voimantuotanto ja ydinvoima voivat osallistua monelle markkinalle, myös reservimarkkinoille. Erityisesti vesivoima on ollut Suomessa tärkeä säätövoimanlähde.

Tuulivoiman ja aurinkovoiman lisääntyessä myös niiden merkitys reservimarkkinoilla voi kasvaa. Näitä tuotantomuotoja voidaan ohjata leikkaamalla tuotannosta, kun markkinoilla on tarve. Mahdollista on myös nostaa tuotantoa, jos sitä on alun perin rajoitettu. Perinteisesti tuulivoima ei ole merkittävässä määrin osallistunut reservimarkkinoille, mutta tämä jää nähtäväksi tulevaisuudessa.

Kiinteistötasolla aurinkovoimaloita, erityisesti suurempia voimalakokonaisuuksia tarpeeksi merkittävän tehon saamiseksi, voidaan ohjata MPPT-säätimen avulla (Maximum Power Point Tracking), ja näin mahdollistaa osallistuminen myös reservimarkkinoille, kuten FCR-D ja FCR-N.

### 3.1.9 Talotekniikka

Talotekniikan kulutusjousto on yksi monimutkaisimmista toteutusta. Tämä johtuu näiden resurssien yleensä pienemmästä yksikkökoosta ja vaihtelevasta toteutuksesta. Talotekniikan mahdollisia joustavia resursseja ovat ilmanvaihtokoneiden puhaltimet, valaistus, pumput, lämpöpumput, vedenjäähdytyskoneet ja muu kompressoritekniikka, sekä esimerkiksi hissit.

Vaatumuksena talotekniikan joustoille on ohjattavuus sekä tieto siitä, paljonko ja milloin eri resursseja voidaan joustaa. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden puhaltimia voidaan ohjata teho- tai taajuuspistettä muuttamalla taajuusmuuttajalla. Ilmavirran ja lämpötilan asetusarvojen muuttaminen on helpompaa, mutta sähkötehon muutoksen vasteaika on hitaampi, jolloin tämä ohjaustapa soveltuu vain hitaampiin joustotapoihin, kuten sähköhinnan, teholeikkauksen tai FRR-markkinalle (mutta jossa vaaditaan isoa tehoa, todennäköisesti aggregointia ja energialtaan isoa joustoa). Näillä markkinapaikoilla ja joustotavoilla on myös se etu, että säädön ei tarvitse olla lineaarista, vaan myös portaittainen säätö riittää (esimerkiksi on/off-ohjaus tai puoliteho). Jouston suuruuden määrittely voidaan tehdä joko simuloinnilla, jos kohde on mallinnettu, jolloin saadaan alkuarvaus teoreettisesta suuruudesta tai suoraan käytännön testeillä. Kohde voidaan myös ottaa joustoihin konservatiivisella jouston määrällä, ja kokemuksen karttuessa lisätä sallittua jouston määrää.

Valaistuksen ohjauksessa vasteaika voi olla hyvinkin nopea. Muutokset eivät kuitenkaan saa olla liian nopeita tai toistuvia tiloissa, joissa on ihmisiä. Valaistuksen jouston etuna nopeuden lisäksi on sen pitkäkestoisuus. Pieni valaistuksen tehon muutos pystytään ylläpitämään kauan haittaamatta tiloissa oleskelevia. On kuitenkin hyvin kohdekohtaista, kuinka paljon valaistuksesta voidaan joustaa. Haasteena on usein myös valaistuksen keskitetyn säädön puute (rakennuksen automaatiojärjestelmästä).

### 3.1.10 UPS

Jossain kohteissa tarvitaan keskeytymätöntä sähkönsyöttöä, ja tästä syystä kohteessa on olemassa UPSeja tai vastaavia nopean reagoitokyvyn akkuenergiajärjestelmiä. UPSit soveltuvat hyvin FFR-markkinalle, jossa vaaditaan 0,7–1,3 sekunnin reagoitinopeutta, riippuen valitusta aktiivoinnin rajataajuudesta.

Etuna FFR:ssä on sen harvoin tapahtuva aktiivointi. FFR aktivoidaan automaattisesti, kun verkon taajuus on laskenut 50 Hz:stä 49,5–49,7 Hz:iin. Vuonna 2024 alle 49,7 Hz:n käytiin vain kuusi kertaa, ja näiden tapahtumien keskimääräinen kesto oli 7,8 sekuntia. Haittapuolena markkinalla on sen pienuus ja hankintaa tehdään vain osalle vuodesta. Uutena markkinana FFR:ssä oli saatavilla hyviä tuottoja, mutta hinnat ovat olleet laskussa viime vuosina.

Aktiivoinnin vähimmäiskesto FFR:ssä pitää olla 5 tai 30 sekuntia. Valittaessa 5 sekuntia mahdollinen aktiivointi pitää purkaa hitaasti, 20 % sekunnissa. 30 sekunnin vähimmäisaktiivointi valittaessa aktiivointi voidaan purkaa kerralla. UPSeja voidaan tarjota FFR:ään pienentämällä UPSin suojaaman kohteen verkosta otettua sähköä, tai jos mahdollista, syöttämällä tehoa sähköverkkoon. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista kytkennästä riippuen ja mahdollisten varavoimakoneiden vaikutuksesta johtuen. Uusien kohteiden suunnittelussa verkkoonsyötön mahdollisuus on suositeltavaa tutkia.

Markkinalle voidaan osallistua mahdollisen vapaan energiavarastokapasiteetin rajoissa. Esimerkiksi, jos UPSin akusto on mitoitettu 30 sekunnin kestolle täydellä purkuteholla, mutta UPSin suojaama kohde tarvitsee vain 15 sekuntia, ennen kuin varavoimakoneet mahdollisen sähkökatkon aikana käynnistyvät, voidaan ylimääräinen 15 sekuntia tarjota markkinalle. Jos energiavarasto on suurempi, voidaan tarjota myös FFR-FCR-D-yhdistelmätarjous. Tällöin tarjous, jota ei hyväksytä FFR:lle siirretään automaattisesti FCR-D-markkinatarjoukseksi. FCR-D:ssä energiavaraston vaatimus on 20 minuuttia energiavarastoilla.

## 3.2 Yleiset kokemukset kulutusjoustosta

---

Granlundin kokemuksen sekä yrityshaastattelujen perusteella paras joustopotentiali kiinteistöpuolella on havaittu olevan varavoimakoneissa, energiavarastoissa sekä sähkökattiloissa. Näissä resursseissa säädettävyyden on hyvä ja yksikköteho on suuri. Suuri ohjattavan pisteen yksikköteho tarkoittaa mahdollisesti helppoa käyttöönottoa joko suoraan automaation kautta tai erillisen ohjainlaitteen avulla. Haasteena näillä resursseilla on pääasiassa riittävän sähköliittymän saaminen ja riittävä energiankulutus. Energiankulutusta korvaamaan voidaan joustoja varten investoida energiavarastoon, tai mahdollisuuteen syöttää tehoa takaisin verkkoon.

Ilmanvaihtokoneista voidaan aggregoida suuriakin kokonaisuuksia. Moderneissa tai saneeratuissa kohteissa ilmanvaihtokoneiden puhaltimet ja automaatio mahdollistavat toteutuksen pienillä muutoksilla. Ilmanvaihtokoneiden kulutusjoustossa yksinkertainen toteutus ja

monistettavuus ovat tärkeitä kustannustehokkuuden takia. Pieniä kohteita aggregoidessa kannattavuus voi jäädä olemattomaksi investointien takia. Tästä syystä kulutusjoustokyvykkyydet kannattaa rakentaa ennakoivasti uudiskohteisiin tai saneerausten yhteydessä olemassa olevissa kohteissa. Talotekniikan olosuhteiden asetusarvojen muutosten ohjaus vaikuttaa hitaasti sähkön kulutukseen, minkä takia reservimarkkinoilla vaaditaan suoraa tehon ohjausta. Ilmanvaihdon joustot voivat pitkittyessä vaikuttaa tilojen olosuhteisiin. Tästä syystä joustorajojen määrittäminen on tärkeää, ja olosuhteiden muutoksia on syytä seurata antureiden tai käyttäjien välityksellä. Lisäksi liian tiheästi toteutetut joustot voivat aiheuttaa painevaihteluita, ääntä ja hälytyksiä.

Lämpöpumpuilla nopea säätö on monimutkaista toteuttaa kustannustehokkaasti ja kompressoreita vahingoittamatta. Säätö tulisikin tehdä jollain muulla kuin on/off-ohjauksella. Haasteena on kuitenkin se, että lämpöpumpuilla on monesti käytössä sisäinen automaatio ja lämpöpumppujen joustoilla on heijastusvaikutuksia muuhun lämmitysjärjestelmään. Tästä syystä lämpöpumppujen osalta yleinen toteutus on osallistua joko hitaammille markkinoille, säätää tehomaksuja tai optimoida kulutusta spot-perusteisesti, tai jopa päivänsisäisillä markkinoilla ja tase-sähköohjauksessa.

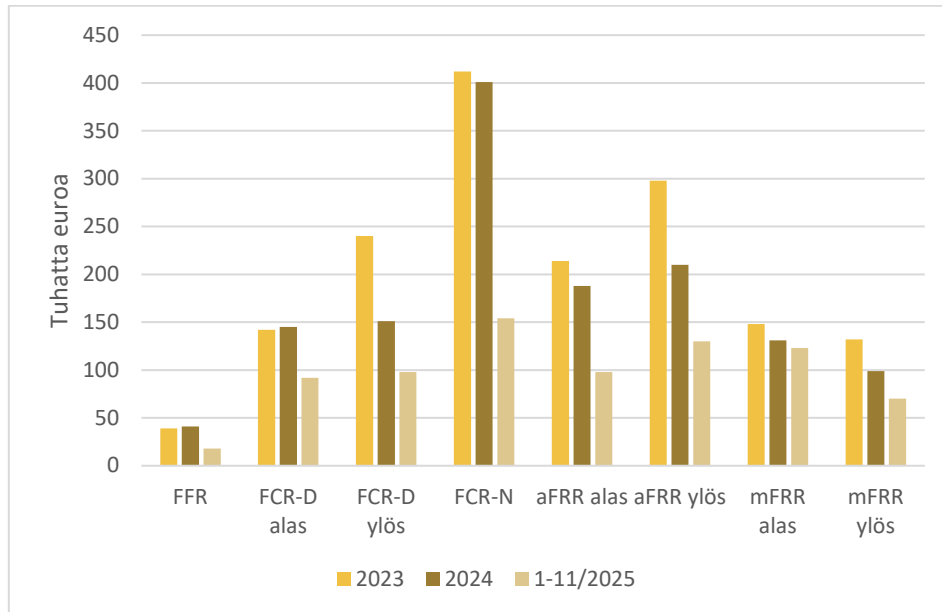
Kokemukset kylmäkoneiden kulutusjoustosta ovat vaihtelevia. Näiden osalta samat haasteet pätevät, kuin lämpöpumpuilla. Lisäksi suuritehoiset ja hyvän käyttöasteen kylmäkoneet palvelevat usein kylmävarastoja, joiden lämpötilan ei haluta nousevan.

Teollisten tuotantoprosessien toteutusmahdollisuudet ja myös kokemukset ovat hyvin tapauskohtaisia. Hitaamman ja ennustettavan jouston toteutuksen on todettu olevan kannattavaa ja helpompaa kuin nopeampien (reservimarkkinat). Onnistunut toteutus vaatii tuntemusta omista prosesseista, ei-kriittisten joustojen tunnistamista, sekä aktiivisia tuotantolinjoja.

### 3.3 Joustopotentiali

---

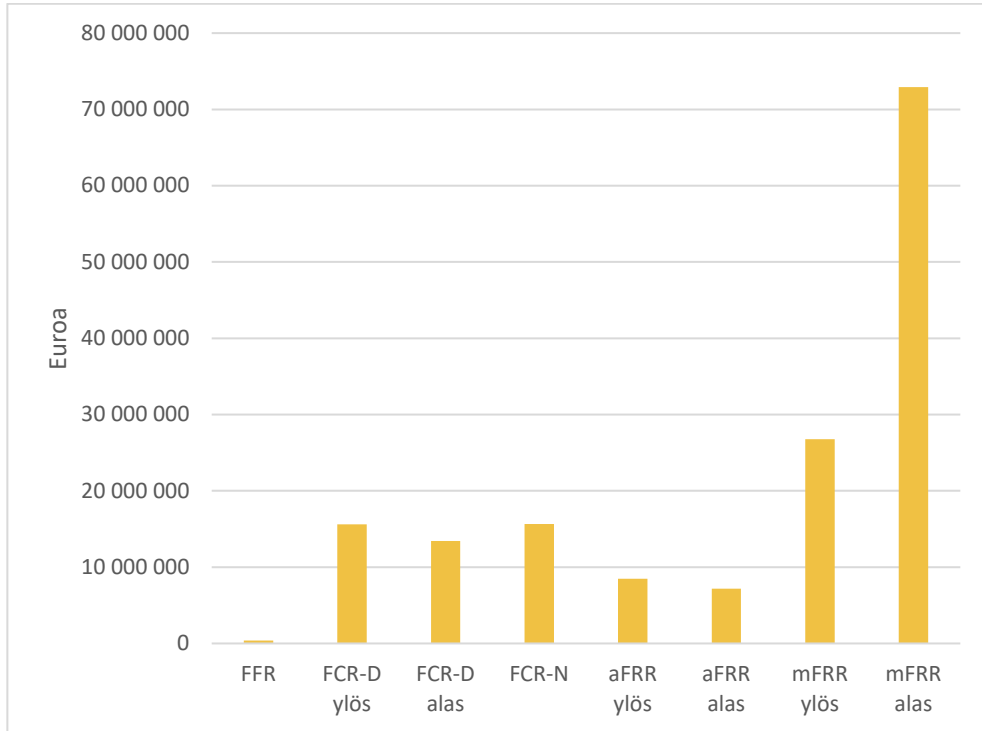
Joustopotentiali määräytyy pääasiassa resurssin nostettavan tai laskettavan tehon, säädön nopeuden ja ohjattavuuden sekä ajallisen keston perusteella. Nämä seikat määrittävät myös mahdollisuudet osallistua eri joustotapoihin. Taloudellisen kannattavuuden varmistamiseksi onkin tärkeää valita oikea reservimarkkina, mikä on pääosin kulutusjousto-operaattorin tai aggregaattorin vastuulla. Kuva 4 alla esittää kapasiteettimarkkinoiden tuottopotentialin 1 MW:n kokoiselle jatkuvalle tarjoukselle. Kuvassa on esitetty vuosi 2023, 2024 sekä vuosi 2025 marraskuuhun asti.



**Kuva 4 Reservien kapasiteettimarkkinoiden tuottopotentiali<sup>7</sup>**

Markkinoiden vuotuinen liikevaihto on hyvin eri kokoinen markkinoiden välillä, ja siten myös markkinoille mahtuva kapasiteetti ja sieltä saatava tuotto vaihtelevat suuresti. Kapasiteettimarkkinoiden vuoden ajanjakson liikevaihdot (tuntihankinta x tuntihinta) on esitetty kuvassa alla (Kuva 5). Pienin liikevaihto on ollut FFR:ssä, n. 330 000 €, ja suurin mFRR-alassäädössä, yli 70 miljoonaa euroa. Myös resurssin omistajan on syytä tuntea eri markkinat.

<sup>7</sup> Fingrid Oyj. Nettisivut. Reservituottolaskuri. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-markkinoille-osallistuminen/reservituottolaskuri/>



**Kuva 5 Reservimarkkinoiden kapasiteettimarkkinoiden liikevaihto tuntimarkkinoilta (21.11.2024–20.11.2025)<sup>8</sup>**

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 5) on arvioitu joustavien resurssien taloudellinen ja tekninen potentiaali arvosanalla 1-5. Potentiaali on hyvin tapauskohtainen, ja vaihtelee sekä kiinteistöittäin että resurssittain. Tekninen potentiaali kuvastaa säädettävyyttä, yleistä saatavaa tehoa ja joustopotentiaalia. Taloudellinen potentiaali kuvastaa käyttöönoton helppoutta sekä markkinoilta saatavia tuottoja että energiasäästöjä.

Paras potentiaali saavutetaan kokonaisvaltaisella lähestymisellä, jossa kerralla hankitaan merkittävä joustoteho, ja pitkällä aikavälillä voidaan optimoida joustoja useiden markkinoiden välillä, tai vähintään suurimmilla markkinoilla. Lähitulevaisuudessa erityisesti kustannustehokkaat resurssit voivat vielä saavuttaa hyvän kannattavuuden myös yksittäisille markkinoille osallistumisella.

---

<sup>8</sup> Kuvaajan tekemisessä käytetty data on saatu Fingridin avoin data -palvelusta: <https://data.fingrid.fi/>

Taulukko 5 Joustavien resurssien tekninen ja taloudellinen joustopotentialiaali

Joustoresurssi	Joustopotentialiaali	Tyypillinen kohde	Tekninen potentialiaali	Taloudellinen potentialiaali
UPS	FFR, FCR-D ylös	Datakeskukset	3	2
Akkuenergiavarasto	FCR-D ylös- ja alas, FCR-N, aFRR, mFRR, pörssi-sähkö, teholeikkaus	Teollisuus, kauppakeskus, toimisto	5	5
Sähkökattila	FCR-D, aFRR, mFRR, erityisesti alas, pörssi-sähkö	Teollisuus, toimisto, sairaala, kauppa ja kauppakeskus	4	5
Ilmanvaihdon puhaltimet	FCR-D, aFRR, mFRR, teholeikkaus, pörssi-sähkö	Toimisto, teollisuus, opetusrakennus, sairaala	3	3
Valaistus	FCR-D alas, teholeikkaus	Toimisto, teollisuus, kasvihuoneet, opetusrakennukset, sairaala, kauppa ja kauppakeskukset	2	1
Teollisuuden prosessit	aFRR, mFRR, siirtojenhallinta, teholeikkaus, pörssi-sähkö, tasehallinta	Teräs- ja metalliteollisuus, elintarviketeollisuus, kemi-anteollisuus	3	4
Varavoimakoneet	aFRR, mFRR, siirtojenhallinta, teholeikkaus, pörssi-sähkö, tasehallinta	Sairaalat, kaupat ja kauppakeskukset, teollisuus, data-keskukset	3	4
Lämpöpumput	Pörssi-sähkö, teholeikkaus, FCR-N, aFRR, mFRR	Toimistot, sairaalat, kauppakeskukset	4	3
Vedenjäähdytys/kylmäkoneet	Pörssi-sähkö, teholeikkaus, FCR-N, aFRR, mFRR	Kylmä- ja pakkasvarastot, elintarviketeollisuus, sairaalat, toimistot, jäähallit, kauppakeskukset, kaupat	3	3
Sähköajoneuvot	FCR-D, tehonhallinta, pörssi-sähkö, tasehallinta	Teollisuus/logistiikka, toimistot, kaupat ja kauppakeskukset, sairaalat	4	4

UPSit ovat nopeasti reagoivia ja ohjattavia, mutta niiden energiavarasto on yleensä hyvin pieni, erityisesti kun otetaan huomioon UPSien tarkoitus ja tätä varten ylläpidettävä energiamäärä. Tästä syystä ne kulutusjoustotavat, jotka sopivat UPSeille ovat vähäisiä. FFR soveltuu UPSeille hyvin, mutta FFR-markkina on hyvin pieni. FCR-D on toinen vaihtoehto erityisesti hyvin suuritehoisille- ja suurienergialle UPSeille, mutta jouston keston vaatimus rajoittaa FCR-D:lle osallistuvaa kapasiteettia. Pienen energiavaraston takia tekniseksi potentiaaliksi on annettu 3 ja pääasiassa vain FFR:ään osallistumisen vuoksi taloudellinen potentiaali on 2.

Akkuenergiavarastot ovat myös hyvin joustavia ja nopeasti säätyviä, kuten UPSit, mutta niillä on suurempi energiavarasto ja käyttötapausjoukko, jonka takia ne saavat arvosanat 5 ja 5.

Sähkökattiloiden tekninen potentiaali riippuu järjestelmän iästä ja ohjauksen tasosta, mutta sähkökattilat voivat olla hyvän joustopotentialin lähteitä, ja niitä onkin laajalti osallistunut eri markkinoille. Tekninen potentiaali saa 4 pistettä, sillä sähkökattilan käytön hyötyihin vaikuttaa paljon lämpönielun suuruus. Taloudellinen potentiaali on ollut hyvä, ja ratkaisut ovat monesti kannattavia, jos ne saadaan toteutettua, mutta markkinat ovat yleensä rajautuneet yhteen suuntaan (ylös- tai alassäätöön) kulutusprofiilista riippuen.

Ilmanvaihdon puhaltimien tekninen joustopotentiali vaihtelee suuresti. Kuitenkin jonkin tasoista joustoa on tehtävissä yleensä kaikissa tapauksissa. Tästä syystä ilmanvaihdon puhaltimien joustopotentiali saa 3 pistettä. Lisäksi joustot vaikuttavat olosuhteisiin, mikä rajaa potentiaalia. Pieni teho ja rajallinen jouston kesto rajoittavat taloudellista potentiaalia, yleensä impliittisen jouston tasolle pörssisähkön ohjaukseen ja tehonleikkaukseen. Suuri määrä pieniä hajautettuja kohteita tarkoittaa suuria käyttöönoton kustannuksia, jos investointi tehdään vain ilmanvaihdon puhaltimien joustoja varten. Jos ohjaus ja reagointinopeus saadaan erinomaiselle tasolle, ja FCR-N- ja FCR-D-markkinat ovat mahdollisia, on kuitenkin mahdollisuus saavuttaa hyviä tuottoja.

Valaistuksen pieni teho ja yleensä keskitetyn säädön puute ovat syy heikolle tekniselle ja taloudelliselle potentiaalille. Kuitenkin, jos ohjaus sen mahdollistaa, valaistus voi osallistua aktiivisen ajan ulkopuolella esimerkiksi FCR-D alassäätöön, mutta tuotot jäävät todennäköisesti pieniksi. Kasvihuoneissa on suuri valaistuksen joustopotentiali suuren sähkönkulutuksen ja joustettavuuden vuoksi.

Teollisuuden tuotannon prosessit on laaja käsite, joka sisältää hyvin paljon toisistaan eroavia joustoresursseja. Lisäksi teollisuuden oman sähkön tuotannon optimointi ja hyödyntäminen markkinoilla laaja-alaisesti on merkittävä resurssi. Teollisuuden prosesseissa on suuri energiankulutus, mikä mahdollistaa huomattavan kokoiset tuotot. Haasteena on käytännössä prosessien vaatimukset tai kriittisyys, jolloin suunniteltua tuotantoa ei juuri voida äkillisesti muuttaa. Tällöin mahdollisia ovat hitaammat joustot, kuten spot-hinnan mukainen ohjaus. Suuren tehon ja energian tarpeen vuoksi taloudellinen potentiaali on kuitenkin suuri. Helenin Afryllä teettämän selvityksen<sup>9</sup> mukaan muutaman teollisuudenalan (romurauta, paperitehtaat, mekaaninen massa, kemiallinen massa ja sinkki) energian joustopotentiali selvityksen oletuksilla olisi 0,4 TWh (n. 0,7 %) energiankulutuksesta sisältäen teollisuuden energiantuotannon. Joustokapasiteetti olisi 1,2

---

<sup>9</sup> Helen Oy. Joustava energiankäyttö voi nostaa Suomen globaalin kilpailun kärkeen. (Afry) 10.12.2025. [https://www.helen.fi/globalassets/helen-oy/tietoa-yrityksesta/helen\\_joustoselvitys\\_fi.pdf](https://www.helen.fi/globalassets/helen-oy/tietoa-yrityksesta/helen_joustoselvitys_fi.pdf)

GW (n. 17,4 %). Näistä syntyisi säästöä ja lisätuottoa yli 114 miljoonaa euroa (vuoden 2024 hinnoilla).

Varavoimakoneet ovat monesti suuritehoisia ja hyvin ohjattavia laitoksia. Ne soveltuvat hyvin ylössäätömarkkinoille, joille ne ovat tarpeeksi nopeita, kuten aFRR ja mFRR. Lisäksi ne voivat tukea kiinteistön tehomaksujen pienentämistä ja spot-ohjaukselle energiahintojen laskemista. Haasteena voi usein olla vanha ohjausjärjestelmä, rajallinen kiinteistön sisäinen kuorma, johon tehoa voi syöttää, rajallinen kyky syöttää tehoa verkkoon tai toimia verkon kanssa rinnan sekä voimalaitosten teknisten vaatimusten (VJV2024) täyttäminen. Nämä seikat heikentävät teknistä potentiaalia. Lisäksi toimijoilla voi olla varauksia käyttää varavoimajärjestelmää muuhun kuin sen alkuperäiseen käyttötarkoitukseen. Onnistuessaan toteutuksen taloudellinen potentiaali on hyvä.

Lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet perustuvat kompressoriteknikkaan, jota ei haluta säätää liian nopealla syklillä, ettei kompressorien käyttöikä lyhene. Lisäksi niiden joustot vaikuttavat joko prosesseihin tai olosuhteisiin. Tästä syystä lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet soveltuvat hybridienergiajärjestelmissä energian hinnan optimointiin tai tehomaksujen leikkaukseen. Myös hitaampi reservimarkkinatoiminta on mahdollista, erityisesti lämpöenergiavaraston avustamana, mutta sähköteho jää teollisuuden ulkopuolella markkinoille pieneksi. Joustotavat ja joustojen suuruus ovat rajoittuneita, mutta jos joustot saadaan toteutettua vain pienillä investoinneilla, on ratkaisu monesti taloudellisesti järkevä. Vedenjäähdytyskoneilla rajoittavana tekijänä on erityisesti joko järjestelmän kriittisyys (kylmävarastot) tai vain pieni, hetkittäinen kulutus (tila- ja IV-jäähdytys).

Sähköajoneuvojen tekniset mahdollisuudet kulutusjoustoan ovat hyvät, sillä laturin kautta voidaan ohjata lataustehoa, joka reagoi nopeasti. Kaksisuuntainen lataus ei ole vielä käytössä, mikä rajoittaa jouston käyttötapoja. Tehon rajoittaminen dynaamisen kuormanhallinnan kautta on jo laajalti käytössä erityisesti useampien latauspisteiden järjestelmissä, ja tämä on hyvin kannattavaa. Spot-sähkön mukainen jousto ja FCR-D ylössäätöön osallistuminen ovat myös mahdollisia. Haasteena ovat kuitenkin suhteellisen pieni energiankulutus ja satunnainen kulutus esimerkiksi kauppojen pihoilla reservimarkkinoiden näkökulmasta. Sähkön hinnan mukainen latauksen ajastus sekä tehonhallinta ovat kuitenkin hyvin kannattavia ratkaisuja ja tuovat hyvin säästöjä suhteessa investointiin ja resurssin pieneen yksikkökokoon.

Kiinteistöjen sähköisten järjestelmien kulutusjoustomahdollisuuksia on kirjallisuuden perusteella tutkittu erityisesti seuraavien osatekijöiden osalta:

1. Ilmanvaihtojärjestelmät
2. Sähköistetty lämmöntuotanto ja jäähdytysjärjestelmät
3. Lämmitysjärjestelmät ja kaukolämpö
4. Valaistusjärjestelmät ja aurinkosähkö
5. Sähköakut

Ilmanvaihtojärjestelmiin ja sähköisiin lämmitysjärjestelmiin liittyvät kulutusjoustomahdollisuudet linkittyvät paitsi sähköön, myös esimerkiksi kaukolämmöllä tuotettuun lämmitykseen. Seuraavassa kulutusjoustomahdollisuudet on jaoteltu edellä mainittujen taloteknisten järjestelmien osalta.



### 3.3.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihdon lämmitykseen sovelletun kulutusjouston osalta kirjallisuudesta saadut tulokset osoittavat, että kiinteäilmavirtaisissa järjestelmissä (CAV) säästöt ilmanvaihdon lämmityksessä ovat energian osalta luokkaa 3 % ja kustannussäästönä 6 %. Muuttuvan ilmavirran järjestelmissä (VAV) saavutettavat säästöt ovat korkeammat, lämmitysenergiassa 8 % ja lämmitysenergian kustannuksissa 11 %. Sähkön osalta kulutusjousto voi pienentää energiankulutusta 9 % ja kustannuksia noin 2 %. Kirjallisuudesta saadut viitteet ennakoivat, että kulutusjouston kokonaissäästöväikutus olisi 10–14 %, jos ilmanvaihtoa ohjataan ennakoivasti jäähdytystilanteessa CO<sub>2</sub>-pitoisuuden puitteissa.<sup>1011</sup>

### 3.3.2 Sähköiset lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Suomessa tehtyjen energiatehokkuushankkeiden perusteella huomattavaa kulutusjoustopotentiaalia voidaan saavuttaa hyödyntämällä sähkökattilaa kaukolämmön huipputehon (perusmaksun) leikkaukseen ja spot-sähkön mahdollistamia halpoja tunteja lämmön tuotantoon. Potentiaali on kuitenkin vahvasti sidottuna lisälämmön (esimerkiksi kaukolämpö) hinnoittelurakenteeseen ja sähkön tehomaksun hinnoitteluun. Tapauskohtaisesti vain toinen edellä mainituista on kannattavasti realisoitavissa. Spot-sähkön hyödyntäminen lämpövarastolla muuttuu realisoituneiden projektien perusteella kannattavaksi, jos kiinteistöllä on iso lämmitysenergiankulutus, korvattavan lämpöenergian hinta on korkeahko ja sähkön tehomaksun hinnoittelu kannustaa hyödyntämään hetkellisesti isoja sähkötehoja. Pienemmissä kohteissa kulutusjoustopotentiaalia heikentää pörsisähkön edellyttämän uuden käyttöpaikan käyttöönottokustannukset ja liittymän perusmaksut, jotka voivat kasvaa saavutettavaan kustannushyötyyn nähden suhteellisen isoiksi.

Lämpöpumppujärjestelmän avulla tehty kulutusjousto voidaan lämmitysjärjestelmän näkökulmasta toteuttaa yksinkertaisimmin hyödyntämällä mukautuvaa lämmitysjärjestelmän asetusarvoa. Tilalämmityksen asetusarvoa tai ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaa mukauttamalla pyritään siirtämään lämpöpumppujärjestelmän sähköenergiankulutusta epäedullisilta ajankohdilta edullisempiin ja paremmin hyödynnettäviin hetkiin. Suurin hyöty kulutusjoustosta saavutetaan muuttuvaa sähköenergian hintaa hyödyntävässä järjestelmässä, joissa osa sähkönhankinnasta on sidottu spot-sähköön. Kirjallisuuden perusteella yksinkertaisesti toteutetun kulutusjouston kokonaisyöty lämmitysenergian kustannuksissa on luokkaa 5 %, mutta kustannussäästö riippuu sekä kulutusjoustolla korvattavan lämpöenergian että sähkön kustannuksista. Kulutusjouston kustannussäästöissä on huomioitu noin 10 %:n lisäys lämpöpumppujärjestelmän sähköenergiankulutuksessa.

Kirjallisuuden perusteella lämpöpumppujärjestelmän kulutusjoustolla voidaan saavuttaa suurempia kustannussäästöjä, jos lämpöpumppujen lauhdutinpuolella hyödynnetään tavallista suurempaa puskurivaraajaa. Mahdollinen kustannussäästö kulutusjoustolla kasvaa tällöin 10–15

---

<sup>10</sup> Demand response potential of district heating and ventilation in an educational office building, Science and Technology for the Built Environment

<sup>11</sup> Demand Response and Optimization Control for Fresh Air of Building Air Condition Systems, PEAI '24: Proceedings of the 2024 International Conference on Power Electronics and Artificial Intelligence

% tasoon, vaati kuitenkin 3–4 kertaa isomman puskurivaraajan normaaliin lämpöpumppukäyttöön verrattuna. Kulutusjousto kasvattaa lämpöpumppujen sähköenergiankulutusta 15–20 %.<sup>12</sup>

Kulutusjousto lämpöpumpuilla voidaan myös toteuttaa hyödyntämällä kiinteistön käyttöaikoihin perustuvaa kulutusennustetta tuotetun lämpöenergian puskurioimiseksi. Merkittävin kulutusjoustopotentialiaali aikatauluohjauksella saavutetaan erityisesti aamun tuntien aikana, kun kiinteistön lämmitys palaa yöaikaiselta käytöltä normaaliin käyttötilaan. Kulutusjouston säästöpotentialiaali on aikatauluohjauksella jopa puolet pienempi kuin muuttuvaa sähköenergian hintaa hyödyntävällä logiikalla, mutta käytännön toteutus on yksinkertaisempi.

Lämpöpumppujärjestelmän tuoton hetkellinen kasvatus onnistuu parhaiten maalämpöä hyödyntävällä järjestelmällä, joka mahdollistaa keruutehon joustavan kasvattamisen. Hukkalämpöä kierrättävillä energiankierrätysjärjestelmillä keruutehon kasvattaminen voi olla rajatumpaa hukkalämmön määrästä ja ajallisesta vaihtelusta riippuen.

Jäähdytysjärjestelmiin kulutusjousto on sovellettu kirjallisuuden perusteella etenkin huipputehon leikkaamiseen pienillä asetusarvomuutoksilla. Palvelurakennuksiin sovellettuna, jäähdytyksen asetusarvon poikkeutus kuumimpina päivinä noin 1 °C ylöspäin säästää jäähdytyksen piikkitehoa luokkaa 13 %.<sup>1314</sup>

### 3.3.3 Lämmitysjärjestelmät ja kaukolämpö

Kaukolämpöverkkoon liittyvä kulutusjoustopotentialiaali perustuu kirjallisuuden mukaan erityisesti huipputehon leikkaukseen, jonka avulla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä kaukolämmön perusmaksuissa. Kirjallisuuden perusteella saavutettava säästö huipputehon leikkauksessa on 30–40 %, jos leikkaus toteutetaan lyhytaikaiseen käyttöön soveltuvalla lämpöakulla. Säästöpotentialiaalin ylärajalla mukaan otetaan myös asetusarvomuokkauksia, joilla pyritään kuitenkin mahdollisimman vähän vaikuttamaan olosuhteisiin.

Ilman lämpöakua huipputehon leikkauspotentialiaali tilalämmitysjärjestelmissä on kirjallisuuden mukaan 10–20 %, jolloin lämmitysenergiankulutus vastaavasti kasvaa 1–2 %. Kasvu johtuu lämpöhäviöistä ja hetkellisestä yllämmityksestä, jota ei voida täysin hyödyntää kulutushuipuissa. Saman kokoluokan huipputehon leikkaaminen on mahdollista saavuttaa, mikäli ilmanlaadun tasta voidaan hetkellisesti joustaa ja ilmavirtoja rajoittaa huippupakkasten aikana.<sup>1516171819</sup>

---

<sup>12</sup> Demand response potential of a grocery store refrigeration and heat pump system for heat recovery by using real time electricity pricing, Energy & Buildings

<sup>13</sup> Demand response potential of a grocery store refrigeration and heat pump system for heat recovery by using real time electricity pricing, Energy & Buildings

<sup>14</sup> Estimating cooling demand flexibility in a district energy system using temperature set point changes from selected buildings, Applied Energy

<sup>15</sup> Demand response and other demand side management techniques for district heating: A re-view, Energy

<sup>16</sup> Peak Shaving of a District Heated Office Building with Short-Term Thermal Energy Storage in Finland, Buildings

<sup>17</sup> Cost-Effective Heating Control Approaches by Demand Response and Peak Demand Limiting in an Educational Office Building with District Heating, Buildings

<sup>18</sup> Effects on district heating networks by introducing demand side economic model predictive control, Energy & Buildings

<sup>19</sup> TALOTEKNIikka 2030 - Rakennusten kulutusjousto ja lämmitystehon leikkaus lyhytaikaisella lämpövarastolla

### 3.3.4 Valaistusjärjestelmät ja aurinkosähkö

Sähköjärjestelmien kulutusjoustoa on kirjallisuudessa tutkittu etenkin aurinkosähkön, valaistus-sähkön ja jäädytykseen käytetyn sähkön yhteensovittamiseksi<sup>20</sup>. Kulutusjoustopotentialiaali voi kirjallisuuden perusteella olla energiasäästönä noin 25 %, kun järjestelmässä hyödynnetään aurinkosähköjärjestelmän tuottoa. Pelkälle valaistusjärjestelmälle mainittu tehonleikkauspotentialiaali julkisissa kiinteistöissä on luokkaa 10 % ja energiansäästövaikutus 8 %.

Aurinkosähköjärjestelmiä hyödyntävien kiinteistöjen osalta jäädytysjärjestelmien kulutusjoustopotentialiksi arvioidaan kirjallisuuden perusteella ja tehonleikkauksen näkökulmasta noin 45 %.

### 3.3.5 Akkuenergiavarastot

Sähköakkujen mahdollistama kulutusjoustopotentialiaali osana kiinteistön taloteknisissä järjestelmiä perustuu kirjallisuudessa huipputehojen leikkaamiseen, muuttuvahintaisen sähköenergian hyödyntämiseen sekä aurinkopaneelilla tuotetun sähkön varastointiin. Kirjallisuudesta löytyy viitteitä erityisesti sähköakkujen ja aurinkopaneelien hyödyntämisestä sähkön huipputehojen leikkaamiseksi.<sup>21</sup> Aasialaista teollisuuskiinteistöä käsittelevässä tutkimuksessa huipputehojen leikkaamisella saavutettu kustannussäästö on noin 7 % sähköenergian kustannuksista.

Kirjallisuuden perusteella todetaan, että sähköakuilla toteutettu kulutusjousto vaatii taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta käytännössä myös operointia sähkön reservimarkkinoilla, esimerkiksi markkinalla FCR-N.<sup>22</sup>

## 4 Yrityshaastattelut

---

Tämän asiantuntijaselvityksen osana haastateltiin yhtä kulutusjoustopalveluntarjoajaa, viittä teollisuusyritystä ja neljää kiinteistönomistajaa sähkön kulutusjoustosta. Haastatteluissa kysyttiin yrityksiltä kulutusjoustopotentialiaalin nykytietämyksestä ja osaamisesta, käytännön kokemuksista ja esiin nousseista haasteista, taustasyistä ja tavoitteista kulutusjoustopotentialiaalin käyttöönotolle sekä toiveita ja ajatuksia kulutusjoustopotentialiaalin tulevaisuudesta.

---

<sup>20</sup> Improving Energy Management through Demand Response Programs for Low-Rise University Buildings, Sustainability

<sup>21</sup> Demand-side flexibility in shopping centres, A case study on Väla shopping centre, Master thesis, Lund University

<sup>22</sup> Integrating Solar PV, Battery Storage, and Demand Response for Industrial Peak Shaving: A Systematic Review on Strategy, Challenges and Case Study in Malaysian Food Manufacturing, Ieee-explore

#### 4.1 Tietämys ja osaaminen

---

Haastattelujen perusteella kulutusjouoston tuntemus vaihtelee organisaatioiden sisällä merkittävästi. Tieto on usein keskittynyt muutamille henkilöille ja kulutusjousto koetaan epäselväksi ja vaikeatajuiseksi kokonaisuudeksi. Haastatteluissa yritykset kaipasivat vielä lisätietoa kulutusjoustopista ja tukea liikkeellelähtöön. Tietoa haetaan itse ja on saatu Fingridiltä ja Motivalta, konsulteilta ja järjestelmätoimittajilta. Sisäisen tiedon jakaminen ja osaamisen laajentaminen ovat tärkeitä tunnistettuja kehityskohteita.

Pienet henkilöstöresurssit ja rajallinen aika ovat yleisiä haasteita. Suuremmissa organisaatioissa on erillisiä energia- ja hankintatiimejä, joiden vastuulla kulutusjousto on, ja joilla on myös paremmat resurssit aiheeseen perehtymiseen. Pienemmissä organisaatioissa vastuu on yksittäisillä henkilöillä muiden toimien ohella.

#### 4.2 Tausta ja tavoitteet

---

Energiakriisi ja geopoliittiset tapahtumat ovat olleet liikkeellepanevia voimia.

Kulutusjouoston toteutuksissa liikkeelle on myös lähdetty usein teknologiatoimittajien aktiivisuudesta tai asiantuntijaselvitysten tukemana.

Hiilineutraaliustavoitteet ja vastuullisuus ohjaavat yritysten toimintaa, mutta taloudellinen kannattavuus on keskeisin päätöksentekoperuste kulutusjouoston käyttöönotossa. Kulutusjousto tuo operatiivisten energiasäästöjen lisäksi suoria tuottoja. Kiinteistösijoittajan näkökulmasta energiasäästöt hyödyttävät vuokralaisia alentuneina kustannuksina, kun taas reservimarkkinat tuovat kassavirtaa suoraan sijoittajalle, mikä voi siten nostaa kiinteistön arvoa. Lisäksi asiakasvaatimukset ja yhteiskuntavastuu voivat ohjata investointeja uusiutuvaan energiaan ja samalla joustoratkaisuihin.

Kulutusjousto nähdään myös yhtenä osana energiatehokkuus- ja sähköistämistrategiaa. Kulutusjousto sopiikin luontevasti osaksi näitä strategian toteuttamiseen tähtääviä toimia.

#### 4.3 Kulutusjouoston toteutus

---

Toteutuksia on tehty mm. lämpöpumppujen ohjauksessa niiden oman automaation kautta, ilmanvaihtopuhaltimien ja hissien ohjauksessa rakennusautomaation kautta ja erikseen hankittujen akkuenergiavarastojen avulla.

Lämpöpumppuja on ohjattu hitailla asetusarvomuutoksilla spot-hinnan mukaan ja niitä on suunniteltu ohjattavan mFRR-markkinoilla.

Ilmanvaihtokoneita on ensin tarkasteltu ohjauksen ja liitettävyyden kannalta, jonka jälkeen iv-koneen puhallin on liitetty yhdellä tehoa säätävällä pisteellä kulutusjouoston ohjausjärjestelmään.

Selvityksiä reservimarkkinoille osallistumisesta ja hankkeiden kannattavuudesta on yleensä tehty ennen toteutusta tiedon saannin, taloudellisuuden ja tekniikan soveltuvuuden varmistamiseksi.

Pilvipohjaiset ohjausratkaisut, automaation päivitykset ja integraatiokustannukset nostettiin merkittävinä lisäkustannustekijöinä, joita ei aina hankkeen alussa osata arvioida tarkasti.

Teollisuudessa suurimmat potentiaalit liittyvät prosessien ohjaukseen, kiinteistöissä IV-puhaltimet ja lämmitysjärjestelmät ovat tyypillisiä kohteita. Lisäksi mahdollisten omien voimalaitosten hyödyntäminen markkinoilla on ollut selkeä ja tuottoisa valinta. Pumppaamot voivat myös osallistua reservimarkkinoille, kuten eräs haastateltu yritys. Tässä tapauksessa pitkäaikainen jousto ei ollut mahdollinen, mutta pumput osallistuivat FCR-D:hen.

Virtuaalivoimalaitosratkaisut (VPP-palvelut) ovat käytössä joissakin kohteissa, mutta vaativat rakennusautomaatiosaneerauksia ja joissain tapauksissa pitkän käyttöönottoajan, erityisesti ensimmäistä kertaa tehdessä.

Eryityisesti akkuenergiavarastoratkaisut ja sähkökattilat on nähty helppoina ja potentiaalisina ratkaisuin. Varavoimakoneiden hyödyntämistä vielä pohditaan.

#### 4.4 Kokemukset ja haasteet

---

Haasteita ovat epävarmuus taloudellisista tuotoista ja markkinoiden kehityksestä, tekninen monimutkaisuus ja yllättävät kustannukset ohjausjärjestelmien integroinnissa sekä henkilöstöresurssien rajallisuus.

Kokemukset hankkeiden taloudellisista hyödyistä vaihtelevat suuresti haastattelujen perusteella. Jotkin toteutukset ovat olleet hyvin kannattavia muutamien vuosien takaisinmaksuajalla, kun taas joissain hankkeissa on päästy lähinnä nolatulokseen, tai saatettu jopa vahingoittaa laitteita. Tämän takia säätönopeus ja joustorajojen määrittäminen ovat tärkeitä hankkeen alussa.

Haastatteluissa nousi esiin toive palvelusta, jossa koko kiinteistön kaikki joustavat resurssit voitaisiin ottaa kulutusjousto-ohjaukseen yhden aggregaattorin toimesta, usean erikoistuneen palveluntarjoajan sijaan. Myös talotekniikan pienien resurssien aggregaattorien palvelukenttä nähtiin pienenä.

Epävarmuus taloudellisista tuotoista johtuu monesti reservi- ja säätösähkömarkkinoiden muuttuvasta luonteesta. Hinnat reservimarkkinoilla ovatkin olleet laskusuunnassa (Kuva 4), joten tärkeään asemaan nousee kulutusjouston hyötylähteiden hajauttaminen sekä kustannustehokas resurssien joustoön käyttöön.

Teknisiä haasteita on muodostunut pääasiassa prosessien kriittisyydestä, jonka takia joustoja ei voida tehdä, hajautetuista tai vanhentuneista automaatiojärjestelmistä, sekä liian pieneksi nähdystä joustotehoista.

Onnistumisia ovat akku- ja aurinkovoimalainvestoinnit, jotka ovat selkeitä erillishankkeita. Näillä hankkeilla on saavutettu hyvä kannattavuus. Reservimarkkinoille osallistuminen on ollut joissakin tapauksissa erittäin kannattavaa, ja pilottihankkeet ovat lisänneet ymmärrystä ja luoneet pohjaa laajemmille toteutuksille. Pilottihankkeisiin on myös saatu tukea, joka tekee hankkeista kannattavia ja laskee pilottien riskejä.

Teollisuudessa onnistumisia ovat tuoneet yksinkertaisemmat tuotannon ohjaukset, jalkauttamalla kulutusjousto suunnittelu ja toteutus tuotantolinjalle asti, jossa on paras tieto prosessista. Tässä tapauksessa joustoa tehtiin optimoimalla tuotantoa sähkön hinnan perusteella. Lisäksi teollisuuden sivuvirtojen energiantuotannossa reservimarkkinat ovat merkittävä ja kannattava lisätulojen lähde.

Ensimmäinen askel kulutusjouoston käyttöönotossa on tunnistaa ohjattavat kuormat ja arvioida niiden vaikutus prosesseihin ja olosuhteisiin. Toimenpiteet, jotka voidaan tehdä sen hetkellä tekniikalla ja toteutuksella ovat kannattavia ja helpoimpia toteuttaa.

**Tekninen näkökulma:** Hyödynnä rakennusautomaatio ja prosessiohjaus kulutusjouoston käyttöönotossa. Pilvipohjaiset ohjaustratkaisut ja standardoidut rajapinnat helpottavat integraatiota ja vähentävät työtä ja kustannuksia käyttöönotossa. Varaudu kuitenkin lisäinvestointeihin ohjauslogiikan ja automaation päivityksissä. Varmista myös hyvissä ajoin palveluntarjoajien vaihdettavuus ja varmista, ettei prosessien tai olosuhteiden kannalta kriittisiin toimintoihin vaikuteta.

**Taloudellinen näkökulma:** Reservimarkkinoille osallistuminen voi tuoda merkittäviä tuotteita, mutta hinnoittelu ja markkinadynamiikka vaihtelevat. Tee kannattavuuslaskelmat ja huomioi palvelumaksut. Hyödynnä tukia ja investointiavustuksia. Sovi riskien ja vastuunjako. Epävarmuus taloudellisista tuotoista johtuu monesti reservi- ja säätösähkömarkkinoiden muutoksista. Hinnat reservimarkkinoilla ovatkin olleet laskusuunnassa, joten tärkeään asemaan nousee kulutusjouoston hyötylähteiden hajauttaminen useammille markkinoille, spot-sähkön ohjaukseen, vuorokausimarkkinoille ja tehonleikkaukseen, nopea takaisinmaksuaika tai esimerkiksi mahdollisuus irtautua joustopalvelusopimuksesta.

**Organisatorinen näkökulma:** Luo selkeä vastuunjako ja osaamispolku. Kulutusjousto ei ole pelkkä tekninen hanke, vaan vaatii johdon sitoutumista ja operatiivisen tason ymmärrystä. Viesintä ja koulutus ovat kriittisiä aina johdosta käyttäjiin asti. Johto voi olla parhaimmillaan innostava ja liikkeellepaneva voima.

**Parhaat käytännöt:** Aloita helpoista kohteista (kuten lämpöpumput, varavoima, sähkökattilat, akkuenergiaratkaisut, tehonhallinta, spot-hintaohjaus). Laajenna asteittain ja hyödynnä pilot-tihankkeiden opit. Dokumentoi vaikutukset ja jaa kokemukset organisaation sisällä.

**Riskienhallinta:** Varmista olosuhteiden seuranta, jos sille on tarvetta ja mahdollisuus irrottaa ohjaukspisteet tarvittaessa. Tunnista joustojen vaikutus olosuhteisiin ja mikä olosuhdepoikkeama ei johdu joustoista. Määritä selkeät käytännöt olosuhdepoikkeamien osalta, kuten esimerkiksi mitä pitää selvittää, ennen kuin pisteet saa irrottaa joustosta. Käytä palveluntarjoajia, joilla on kokemusta reservimarkkinoista ja Fingridin vaatimuksista, tai joka on erikoistunut vain osaan kulutusjoustotavoista (esim. akkuenergiavarastot tai sähkökattilat).

**Tulevaisuuden näkymät:** Dynaamiset liittymäsopimukset ja verkon pullonkaulojen hallinta, akkuvarastot ja hybridiratkaisut yleistyvät. Varaudu siihen, että kulutusjousto muuttuu osaksi normaalia energianhallintaa ja kilpailukykyä. Varaudu markkinoiden muutokseen vähentämällä markkinariskiä laajalla joustokyvyllä. Yhä useammat toimijat tulevat todennäköisesti liittymään sähkön markkinapaikkoihin, tai heidän altistuksensa vaihteleville hinnoille todennäköisesti tulee kasvamaan. Tämän takia yritykset, joilla on joustokykyä, voivat saada markkinaedun verrattuna niihin, joilla ei ole joustokykyä, ja jotka ovat alttiimpia markkinoille ja hintojen muutoksille. Vuorokausimarkkinoiden volatiilisuus nähdään markkinoiden pysyvänä ilmiönä, ja joustokyky on tapa vähentää sähkön hankinnan kustannuksia, kustannusten vaihtelua sekä parantaa kilpailukykyä suhteessa joustamattomiin toimijoihin. Samalla joustavaa kykyä voidaan hyödyntää muilla tavoin, kuten reservimarkkinoilla.

**Toiveet:** Haastatteluissa yritykset nostivat esiin toiveita. Näitä olivat tiedonsaannin helpottaminen ja kulutusjoustopalveluiden sisällön yksinkertaistaminen toimijoille, joille kulutusjousto ei ole tuttua sekä yksinkertaisten voittavien ratkaisujen löytymistä. Palvelujen osalta toivottiin kokonaiskulutusjoustopalvelua, jossa yksi toimija voi ottaa kokonaisvaltaisesti koko kiinteistön kuormat hallintaansa sekä riskittömän markkinapalvelun tarjoamista, jossa jokin toimija ottaisi vastuun tuoton toteutumisesta. Lisäksi toivottiin aktiivista vuoropuhelua, tiedotusta ja tapahtumia alan toimijoiden kesken.

**Tietoisuuden lisääminen:** Kiinteistö- ja teollisuussektorilla tarvitaan selkeää viestintää ja käytännön esimerkkejä. Tee aiheesta ymmärrettävä ja houkutteleva myös ei-tekniikalle päättäjille.

Toimijoilla on kiinnostusta joustoihin kaikilla sähköistämisen aloilla, kuten sähköautojen latauksen optimointiin, hybridiratkaisuihin (sähkökattila/nestekaasukattila) ja tehonhallintaan. Akkujen kotimaisuus ja toimitusvarmuus voivat vaikuttaa investointipäätöksissä. Yleisesti nähdään, että on tarve yksinkertaistaa kulutusjoustopalveluiden viestintää ja tehdä aiheesta ymmärrettävä myös ei-tekniikalle päättäjille. Yritysesimerkit ja käytännön kokemusten jakaminen nähdään arvokkaana keinona edistää aihetta.

## 5 Toteutuksen prosessi

---

Kulutusjoustopalveluiden toteutuksen prosessi lähtee liikkeelle tavoitteiden määrittelystä sekä kohteiden ja resurssien nykytilan tuntemuksesta. Tärkeää on ensin tunnistaa merkittävimmän joustopotentialin resurssit, tarkistaa niiden ohjattavuus ja mahdollinen jouston suuruus, sekä arvioida joustojen käyttöönottoa automaation näkökulmasta. Joustamattomasta resurssista esimerkki on, jos IV-koneiden puhaltimet ovat vain päälle-pois-ohjattavia, IV-koneiden palvelualue ei kestä pienistä olosuhteiden muutosta, puhaltimia ei voida ohjata automaatiojärjestelmästä tai automaatiojärjestelmä ja IV-koneet ovat hyvin vanhoja ja tulossa saneerukseen.

Nämä asiat voidaan varmistaa kartoituksessa, joka kannattaa yhdistää mahdollisuuksien mukaan muihin kartoituksiin. Kulutusjoustopalvelusuunnitelmia kannattaa myös peilata pitkän ja lyhyen tähtäimen suunnitelmiin ja tarvittaessa päivittää niitä. Järjestelmien dokumentointi ja tiedon/datan puute onkin yksi haaste toteutuksessa. Hyvä tavoitetila olisi, että joka tapauksessa tehtävissä järjestelmä- ja laitesaneerauksissa pyritään nostamaan laatutasoa kulutusjoustopalveluiden mahdollistavaksi, jolloin kulutusjoustopalvelua varten voitaisiin yksinkertaisesti ottaa ominaisuudet käyttöön. Tämä kattaisi hyvän säädettävyyden, seurattavuuden ja nykyaikaiset rajapinnat, jotka ovat tarpeellisia energiatehokkaalle toiminnalle muutoinkin.

Alussa myös organisaation johtotason kiinnostus ja tietämys aiheesta nähtiin haastatteluissa tärkeäksi tekijäksi. Monessa tapauksessa organisaatiosta on tarvittu yksi henkilö, joka aktiivisesti tutustuu kulutusjoustopalveluun ja esittelee sitä muualle organisaatioon. Samoin myös muiden työntekijöiden tiedottaminen on tärkeää. Tämä tulee erityisesti tärkeäksi kulutusjoustopalveluhankkeen lähtiessä käyntiin, sillä lähes poikkeuksetta hanke vaatii organisaatiolta henkilöstöresursseja.

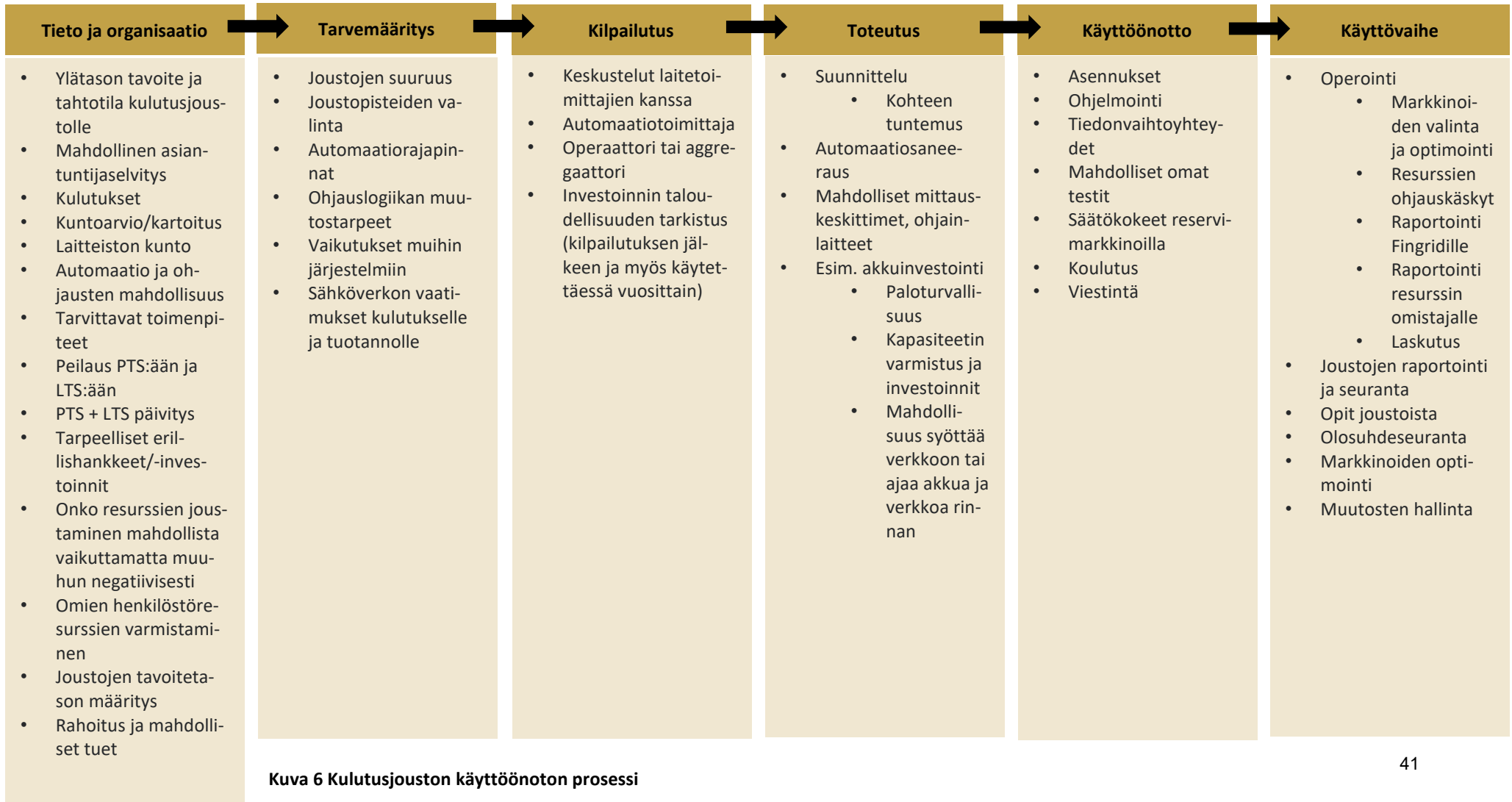
Kun tarvittavat lähtötiedot on saatu, voidaan määrittää tarkemmat tavoitteet joustoille: minkä perusteella joustetaan, miten joustetaan, kuinka paljon, ja mitkä resurssit otetaan mukaan joustoihin. Resurssien joustavuutta voidaan myös testata. Tässä vaiheessa huomiota tulee kiinnittää erityisesti ohjaukseen ja automaatioon, sekä ulkopuolisten järjestelmien liitettävyyteen. Myös uusien ison teholuokan laitteistojen hankinnassa sähköjärjestelmän kapasiteetti voi olla rajoittava tekijä.

Kun tiedetään mitä halutaan ja millaisia resursseja on mahdollista joustaa, kilpailutetaan toimijat (suunnittelu, ohjelmistotoimittaja, mahdolliset laite/teknologiatoimittajat, urakointi, operointi). Tukirahoitusta on tietyvästi niukalti tarjolla, pois lukien uusien teknologioiden ja innovatiivisten hankkeiden tuet, joten toteutuksessa on kannattavaa harkita muitakin näkökulmia kiinteistön kehittämisessä (esim. käytettävyys, digitalisaatio, optimointi, raportointi).

Sopimusten, asennusten ja ohjelmointien jälkeen varmistetaan järjestelmien toiminta. Fingrid vaatii säätökokeita, joista operaattorit vastaavat. Säätökokeet ovat voimassa 5 vuoden ajan. Tässä vaiheessa voidaan myös varmistaa omilla testeillä järjestelmän toiminta ja joustojen vaikutukset. Tietoliikenneyhteyksien toiminta tulee myös varmistaa.

Käyttöönoton jälkeen tulee käyttövaihe, jossa kulutusjousto toimii automaattisesti operaattorin välityksellä tai ilman esimerkiksi implisiittisen jouston tapauksessa. Joustojen käydessä on suositeltavaa seurata käyttäjätyytyväisyyttä sekä joustojen käytettävyyttä resurssi- ja portfoliotasolla. Saatuja säästöjä ja tuottoja on hyvä peilata tavoitteisiin ja markkinahintoihin. Kokemusten karttuessa ohjauspisteitä ja joustojen suuruutta säädetään tavoitteiden mukaisesti tai kun virheitilanteita on syntynyt. Seurannassa ja hienosäädössä voidaan hyödyntää palveluita tai esimerkiksi tekoälyä, tai sitä voidaan toteuttaa omin resurssein. Mitä kompleksisempi joustojärjestelmä on käytössä, sitä haastavampaa sen seuranta ja optimointi pelkin ihmisresurssein on.





Kuva 6 Kulutusjousto käyttöönoton prosessi

## 6 Palveluntarjoajat ja toimintamallit

---

Kulutusjoustopalveluntarjoajia on jo nykyisin useita, ja niiden palveluvalikoimat ja toimintamallit vaihtelevat. Osa toimijoista keskittyy teknologian toimittamiseen, osa operointiin ja aggregointiin, osa toimii markkinaosapuolina. Lisäksi markkinoilla on kokonaispalveluntarjoajia. Myös tarjottavat kulutusjoustotoiminnot ja hyödynnettävät markkinat vaihtelevat, ja markkinoilla on runsaasti tiettyihin resursseihin tai joustotapoihin erikoistuneita toimijoita.

Kulutusjouston palveluita ovat esimerkiksi laite- ja teknologiatoimitukset, ohjelmistopalvelut, tekninen jousto-operaattoritoiminta, aggregointi, markkinaoperaattori- ja markkinaosapuoli-palvelut sekä avaimet käteen -toimitukset.

Kulutusjouston operointia tarjoavat muun muassa useat energiayhtiöt, sähköyhtiöt ja teollisuusyritykset, tyypillisesti oman tuotannon ja kulutuksen optimointiin. Lisäksi operointia tarjoavat sähköenergiavarastoihin keskittyneet yritykset sekä yhtiöt, jotka on perustettu erityisesti reservimarkkinoiden hyödyntämistä varten. Sähköenergiavarastojen toimitukseen ja operointiin on olemassa useita eri vaihtoehtoja.

Markkinaosapuolina toimivat monet sähkönmyyjät ja salkunhaltijat. Ohjelmisto- ja automaatiojärjestelmätoimittajat tarjoavat alustoja resurssien ohjaamiseen, analysointiin ja seurantaan. Ajantasainen, mutta ei täysin kattava, lista reservimarkkinoille osallistuvista ja reservimarkkinapalveluja tarjoavista yrityksistä on saatavilla [Fingridin verkkosivuilta](https://www.fingrid.fi/verkkosivuilta) osoitteesta [fingrid.fi](https://www.fingrid.fi), polusta Sähkömarkkinat / Reservit / Reservimarkkinat.

Teknologiatoimittajat tarjoavat kulutusjoustoön liittyviä laitteistoja ja ohjelmistoja. Teknologiatoimittajia löytyy muun muassa sähköenergiavarastoihin, sähkökattiloihin, kulutusjouston optimointi- ja ohjausohjelmistoihin sekä langattomiin tiedonsiirtoteknologioihin.

Aggregaattori kokoaa kulutusjoustoön kykeneviä resursseja ja tarjoaa niitä markkinoille. Aggregaattori voi vastata resurssien ohjauksesta ja operoinnista sekä markkinapalveluista. Resurssien omistaja tekee sopimuksen vain aggregaattorin kanssa, kun taas aggregaattori vastaa sopimuksista Fingridin ja ENTSO-e:n kanssa. Aggregaattorilla voi olla yhteistyökumppanina erillinen markkinaosapuoli, joka vastaa kaupankäynnistä. Tämä ei välttämättä näy resurssien omistajalle.

Aggregaattorin valinnalla on merkitystä tietyillä reserveilla. Esimerkiksi mFRR-reservissä aggregaattorin on oltava reserviresurssin sähkönmyyjä tai tasevastaava, eikä mFRR-markkinalle voida aggregoida eri taseissa olevia resursseja. Muilla markkinoilla itsenäinen aggregointi on sallittua.

Operointi ja resurssien valvonta voidaan myös ulkoistaa tekniselle jousto-operaattorille, joka voi hallita esimerkiksi useita kiinteistöjä ja niiden talotekniikkaa.

Sähköenergiavarasto voidaan usein hankkia samalta toimijalta, joka vastaa myös varaston operoinnista, markkinatoiminnasta ja huollosta. Vastaava, laiteinvestoinnin poissulkeva toimintamalli on mahdollinen myös lämpöpumpuissa ja talotekniikan kulutusjoustoissa. Näissä kulutusjousto-operaattori- tai VPP-palveluissa (Virtual Power Plant) tarvitaan usein kuitenkin laite- tai automaatiotoimittajan tukea järjestelmämuutoksissa ja rajapintojen avaamisessa.

Palveluntarjoajien palkkiomallit vaihtelevat merkittävästi. Teknologiatoimittajat veloittavat tyypillisesti investointikustannuksen toimitetuista laitteista, mutta laajemmissa palveluissa

investointi voi sisältyä palvelumaksuun. Palvelumaksu on usein kiinteä kuukausimaksu, joka määräytyy palvelun laajuuden mukaan, esimerkiksi osallistuttavien markkinoiden tai ohjattavien resurssien lukumäärän perusteella. Joissakin tapauksissa palveluntarjoaja perii palkkion prosenttiosuutena markkinatuotoista, tyyppillisesti 5–20 %.

Lisäksi palvelukokonaisuuksiin voi sisältyä erillisiä maksuja, kuten aloitusmaksu, huoltomaksut, automaatio-ohjelmointi tai kartoitus tuntiveloituksella, rajapintojen avaaminen kertamaksulla tai resurssien liittämismaksut kappalekohtaisesti.

Kulutusjoustopon ympärillä on tarjolla myös runsaasti asiantuntijapalveluita. Monelle toimijalle on luontevaa aloittaa kulutusjoustoponhanke tilaamalla asiantuntijaselvitys, jossa arvioidaan toteutettavuus ja kannattavuus sekä annetaan yleiskuva kulutusjoustoposta ja eri joustopotavoista. Asiantuntijapalveluita tarjoavat esimerkiksi insinööritoimistot, jotka voivat tehdä myös resurssi- ja kiinteistökartoituksia.

Hankkeiden esteenä on usein markkinariskin pelko sekä puutteellinen markkinatuntemus kiinteistönomistajien ja teollisuusyritysten organisaatioissa. Markkinoiden tulevaisuuden näkymiä voidaan selkeyttää tilaamalla selvityksiä ja hintaennusteita, joita on nykyisin saatavilla aiempaa enemmän. Fingrid tarjoaa lisäksi runsaasti tietoa verkkosivuillaan ja ylläpitää avointa data-portaalia, josta on ladattavissa reservimarkkinoiden dataa, kuten historiallisia hintoja, tarjousmääriä ja hankintatietoja.

## 7 Kulutusjoustopon haasteet ja toteutus

---

Kulutusjoustopon toteutuksessa suurimpia haasteita ovat tietämys, taloudellinen kannattavuus ja riski sekä riittämätön joustokyky joko automaation, ohjaustapojen tai joustopon vaikutuksen takia.

### 7.1 Markkinariski

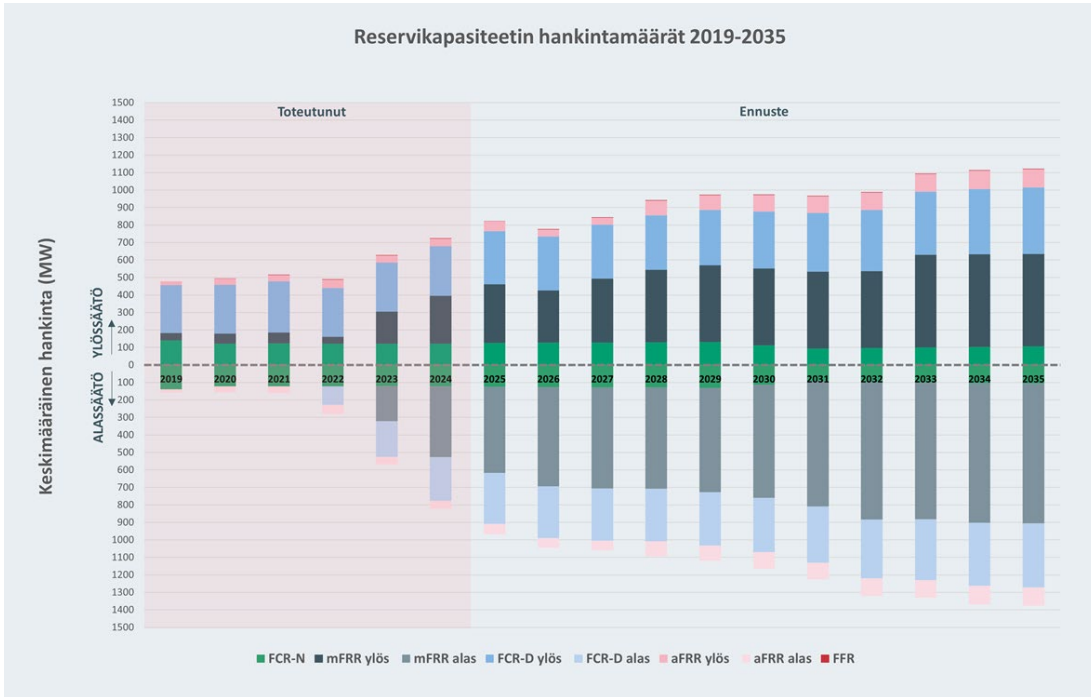
---

Taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa joustopon käyttöönoton investointien suuruus, palvelumaksut sekä joustopotentialin suuruus. Kaikista pienempiä hajanaisia joustoresursseja ei välttämättä ole kannattavaa ottaa joustopoihin mukaan, sillä näissä kulut voivat olla suuria suhteessa joustopon kokoon. Lisäksi reservimarkkinoilla toimimisessa on olemassa markkinariski, kuten muillakin markkinoilla.

Markkinat toimivat kysynnän ja tarjonnan periaatteiden mukaan, jolloin kysynnän laskiessa tai tarjonnan noustessa markkinoilta saatavat tuotot laskevat. Tätä riskiä voidaan pienentää osallistamalla mahdollisimman monelle markkinalle ja joustotapaan. Tulovirtojen hajauttaminen eri joustotapoihin tai vähintään näiden kyvykkyyksien mahdollistaminen pienentävät riskejä.

Vaikka reservien tarpeen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, myös joustavien resurssien ja sitä myöten tarjouskapasiteetin odotetaan kasvavan nopeasti. Esimerkiksi suuret akkuenergia-varastot ja sähkökattilat voivat osallistua monille markkinapaikoille, ja näihin resursseihin on

investoitu Suomessa viime aikoina. Pienimmät markkinat ovatkin ensin vaarassa täyttyä ja kokea hintojen laskun, joten osallistuminen suurimpiin markkinoihin on suositeltavaa. Fingridin markkinoiden toteutunut kapasiteetin hankinta ja Fingridin ennuste tulevasta kapasiteettitarpeesta on esitetty alla (Kuva 7).



Kuva 7 Fingridin ennuste ja toteutunut reservin hankintamäärä 2019-2035<sup>23</sup>

## 7.2 Toteutuksen kustannukset

Suuri haaste kulutusjouston käyttöönotolle on kustannukset, erityisesti suhteessa tuottopotentiaaliin. Kustannuskynnys johtuu pääasiassa kahdesta asiasta:

- kiinteistöt ja joustavat resurssit tai prosessit eivät ole alun perin suunniteltu joustaviksi, jolloin tarvitaan paljon työtä, suunnittelua ja jälkiasennuksia.
- joustokykyä ei ole tarpeeksi merkittävää määrää pienien kulutuskohteiden tai joustamattomien prosessien takia, jolloin tuotot jäävät pieniksi eivätkä investoinnit kannata.

Joustokyky on rajoittunut, jos resurssit eivät ole ajanmukaisia eivätkä säädettävissä tai keskiteytissä automaatiojärjestelmässä. Lisäksi jouston nopeus tai suuruus voi jäädä pieneksi olosuhteiden pysyvyyden tai prosessin kriittisyyden vuoksi. Aina jouston rajoittuneisuudelle ei voi mitään, mutta sopivan kokoiset säädöt sekä lämpö-, kylmä- ja sähköenergiavarastot auttavat.

Kulutusjouston toteutuksen kustannukset mahdollisten laiteinvestointien lisäksi on esitetty alla (Taulukko 6).

<sup>23</sup> Fingrid Oyj, nettisivut. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit/sahkojarjestelman-reservit/#reservikapasiteetin-hankintaennusteet>

Taulukko 6 Kulutusjoustop toteutuksen mahdollisia kustannuseriä

Kustannus	Selite
<b>Oma ajankäyttö</b>	Kulutusjoustop toteutus vaatii paljon aikaa mm. tarjousten hallintaan, sopimusten tekoon ja vastuumäärittelyyn, aiheeseen tutustumiseen, kiinteistön tietojen hankkimiseen ja kohdekäynteihin, palavereihin, projektointiin ja koordinointiin ja seurantaan
<b>Sähkön kapasiteetin vahvistamisen investoinnit</b>	Esimerkiksi sähköenergiavarastot tai sähkökattilat voivat vaatia kapasiteetin laajennusta liittymään sekä liittymän alapuoliseen sähköjärjestelmään.
<b>Kartoitukset</b>	Jos kiinteistön tai prosessin energiavirrat, laitteistojen ikä ja kunto, ohjattavuus, automaatiojärjestelmä sekä joustopotentiaali eivät ole hyvin tunnettuja ja dokumentoituja, joudutaan nämä asiat selvittämään. Kartoitukset onkin hyvä toteuttaa samalla muiden, esimerkiksi energiakartoituksen yhteydessä.
<b>Automaatio-ohjelmointi</b>	Automaatiojärjestelmän ohjelmointityöhön, erityisesti jälkikäteen tehtynä, voi kulua yllättävänkin paljon aikaa ja rahaa. Pahimmassa tapauksessa jokainen ohjaus ja ohjauspiste pitää määrittää erikseen ja useassa järjestelmässä.
<b>Rajapintojen avaukset</b>	Laitteistojen ja automaatiojärjestelmien rajapintojen avauksella voi olla hinta.
<b>Ohjauslaitteistot</b>	Toimijasta riippuen automaatiojärjestelmää tai laitetta voidaan ohjata pilvipalvelun kautta tai tuoda kohteeseen fyysinen ohjauslaite. Myös vanhat olemassa olevat ohjauslaitteet voivat vaatia päivitystä.
<b>Mittarit ja anturit</b>	Toteutus voi vaatia mittarien päivittämistä tai lisäämistä. Lisäksi voidaan investoida anturointiin, jos halutaan varmistua esimerkiksi tilojen olosuhteiden pysyvyydestä.
<b>Tietoliikenneyhteydet ja tietoturva</b>	Kulutusjoustopissa on datan siirtoa ja tallennusta, viestintää ja tiedonvaihtoa Fingridin, resurssin sekä operaattorin välillä. Huomioitava erityisesti aFRR:ssä.
<b>Väylä-, VAK- ja/tai valvomoparannukset</b>	Kulutusjoustopista vastaa kiinteistötasolla lähtökohtaisesti rakennusautomaatiojärjestelmä. Riippuen kulutusjoustop periaatteista ja joustomarkkinasta voi olla tarpeen päivittää käytettyjä väyläprotokollia tehokkaammiksi (voi edellyttää myös laitteiden vaihtamisen) ja/tai käytettäviä VAK- ja valvomorajapintoja. Vanhempia järjestelmiä voi joutua saneeraamaan täysin, jotta nykyaikaisia rajapintoja voidaan hyödyntää turvallisesti.
<b>LVIAS- ja muu suunnittelu</b>	Investoinnit ja muutokset ohjausjärjestelmiin voivat vaatia LVIAS-suunnittelijoita varmistamaan lisäohjausten toiminta ja vaikutukset muuhun järjestelmään.

<b>Palvelumaksut ja provi-siot</b>	Aggregaattoreilla ja operaattoreille on olemassa erilaisia palvelumaksumalleja. Näitä ovat mm. provisio reservimarkkina-tuotoista tai muista säästöistä, kiinteät kuukausimaksut markki-noiden tai ohjauspisteiden lukumäärän mukaan, kiinteä palvelu-maksu, aloitusmaksut kertamaksulla tai ohjauspisteiden määrän mukaan, huoltomaksut.
<b>Vakuutukset</b>	Erityisesti uusien investointien vakuuttaminen tuo luonnollisesti lisäkustannuksia, huomionarvoisesti sähköenergiavarojen yh-teydessä.
<b>Sanktiot</b>	Reservimarkkinatoiminnasta voi aiheutua Fingridin langettamia sanktioita, jos tarjottua reservikapasiteettia ei jostain syystä voitu aktivoida tai ylläpitää. Tämä yleensä vähennetään suoraan mahdollisista tuotoista, mutta sanktioiden jako on myös sovitta-vissa.

Näiden kustannusten huomioiminen, yhteensopivuuden ja avoimien rajapintojen vaatiminen, ennakointi saneeraushankkeissa sekä uudiskohteiden suunnittelussa on suositeltavaa, jotta väl-tytään jälkiasennusten kustannuksilta. Näin saadaan helpommin käyttöön joustopotentiali pie-nemmällä vaivalla, ja samalla parannetaan koko kiinteistön seuranta ja ohjattavuutta. Suunnit-telu ja ohjelmointi ovat kustannustehokkaampia toteuttaa yhdessä muun työn ohella kuin eril-lystyönä.

### 7.3 Dokumentaatio

Yksi merkittävistä haasteista kulutusjoustopuutteen käytössä on dokumentaation puutteellisuus tai sen täydellinen puuttuminen. Ilman kattavaa dokumentaatiota ei välttämättä pystytä luotet-tavasti toteamaan resurssien soveltuvuutta kulutusjoustopuuteeseen. Usein loppudokumentaatioon ei pa-nosteta riittävästi, jolloin suunnitelmat ja toteutunut järjestelmä eivät vastaa toisiaan. Tämä ai-heuttaa ristiriitoja, joiden selvittäminen on työlästä ja aikaa vievää. Vanhemmissa kohteissa do-kumentaatio voi puuttua kokonaan tai olla vain osittain saatavilla. Vaikka alkuperäinen dokumen-taatio olisi laadittu hyvin, kiinteistön elinkaaren aikana tehdyt muutokset jäävät usein kirjaa-matta, mikä heikentää luottamusta dokumentaation ajantasaisuuteen. Lisäksi dokumentaatio on harvoin saatavilla sähköisessä muodossa, mikä on edellytys tehokkaalle arvioinnille ja suunnitte-lulle. Perinteiset suunnitelmat ja urakoitsijan luovutusdokumentit eivät myöskään yleensä sisällä kulutusjoustopuutteen kannalta kriittisiä tietoja, kuten rajapintojen kuvauksia tai järjestelmän suoritus-kykyyn liittyviä tietoja.

Tilanteen parantamiseksi suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

- **Nykytilan kartoitus ja auditointi:** vertaillaan suunnitelmat toteutuneeseen järjestel-mään ja laaditaan tarvittaessa ajantasainen dokumentaatio.
- **Dokumentaation täydennys:** varmistetaan, että dokumentaatio kattaa kulutusjoustopuutteen ja muiden vastaavien toiminnallisuuksien arvioinnin edellyttämät tiedot.
- **Jatkuva ylläpito:** kaikki huolto- ja ylläpitotoimenpiteet sekä järjestelmä- ja laiteusinnat dokumentoidaan. Tämä lisää hieman kustannuksia lyhyellä aikavälillä, mutta tuo

merkittäviä säästöjä tulevissa muutoksissa, saneerauksissa ja mahdollisesti palveluiden käyttöönotossa.

#### 7.4 Joustoresurssien soveltuvuus

---

Kulutusjouston toteutusta rajoittaa usein se, että järjestelmät ja laitteet on suunniteltu ja valittu ensisijaisesti kustannusnäkökulmasta, täyttäen vain vähimmäisvaatimukset suunnitteluhetkellä. Tämä johtaa siihen, että laitteisto ei välttämättä sovellu kehittyneempiin käyttötarkoituksiin vaikka teknistä käyttöikää olisi jäljellä.

Suunnittelu tehdään perinteisesti kapeasti vain kyseisen suunnittelualan näkökulmasta, keskittyen järjestelmän tai laitteen primääriin käyttötarkoitukseen (esim. ilmanvaihto). Mahdolliset sekundääriset käyttötarkoitukset, kuten analytiikka tai kulutusjousto, jäävät usein huomioimatta. Lisäksi järjestelmä- ja laiteuusinnat toteutetaan kustannusten minimoimiseksi usein vanhoilla suunnitelmilla tai vähäisillä suunnitteluresursseilla. Tällöin toiminnallisuus ei kehity, eikä uuden teknologian edut tule täysimääräisesti hyödynnettyä. Vanhat suunnitelmat eivät tyypillisesti huomioi kulutusjouston edellyttämiä piirteitä, mikä voi johtaa siihen, että jouston käyttöönotto on kallista, mahdotonta tai vaatii kompromisseja toiminnallisuudessa.

Lisäksi uusintoja arvioidaan usein siilomaisesti, jolloin vaikutukset muuhun toimintaan jäävät miettimättä. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneen uusinnassa saatetaan vaihtaa pelkkä puhallin vanhan ratkaisun mukaisesti, jolloin uuden teknologian tuoma energiansäästö saavutetaan, mutta muita hyötyjä, kuten datan hyödyntäminen huollon ja ylläpidon parantamiseksi, jää käyttämättä.

Vaikka laitekanta olisi teknisesti joustoon soveltuva, sitä hallitsevat järjestelmät eivät välttämättä mahdollista ulkopuolisten ohjaus- ja säätösignaalien käyttöä. Tämä voi johtua rajapintojen puutteellisesta suorituskyvystä, tietoturvaongelmista tai siitä, ettei näitä ominaisuuksia ole alun perin vaadittu.

Tilanteen parantamiseksi suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

- **Suunnittelu tulevaisuuden tarpeet huomioiden:** Järjestelmä- ja laiteuusinnat tulee suunnitella niin, että ne vastaavat nykyisiä tarpeita ja ennakoivat tulevia. Laitetasolla on huomioitava rajapinnat (esim. kenttäväylät), säädettävyyden ja seurattavuuden. Järjestelmätasolla on varmistettava suorituskyky, rajapintojen käytettävyyden ja tietoturvan, esimerkiksi ulkopuolisten signaalien hyödyntämisen ja tapahtumaperusteisten rajapintojen osalta.
- **Uusinnat tavoitetilan mukaan:** Päätökset uusinnasta eivät saa perustua pelkästään tekniseen käyttöikään, vaan myös haluttuun tavoitetilaan. Uusintojen tulee viedä kokonaisuutta kohti kehittyneempää toiminnallisuutta. Kaikkea ei tarvitse uusina kerralla, kunhan vaiheittaisessa toteutuksessa huomioidaan kokonaisuuden tarpeet ja vaikutukset.

#### 7.5 Anturoinnin riittävyys

---

Kulutusjouston toteutuksessa yksi keskeinen haaste liittyy järjestelmien suunnittelun lähtötietoihin. Suunnittelu perustuu tyypillisesti säätötekniisiin tavoitteisiin, kuten sisäilmaluokan S2 täyttämiseen. Kustannusten minimoimiseksi arvioidaan usein, mikä on pienin määrä anturointia, joka

riittää osoittamaan olosuhteiden toteutumisen. Tämä johtaa siihen, että anturointi jää liian suppeaksi kulutusjoustopuolelta, kun halutaan varmistaa, ettei jousto heikennä olosuhteita liikaa missään tiloissa. Kun mitoitusarvoista joustetaan, järjestelmät eivät välttämättä enää toimi odotetusti. Riittävän kattava anturointi mahdollistaa sellaisten raja-arvojen määrittämisen, joilla riittävät olosuhteet voidaan säilyttää myös joustopuolella.

Anturointia voidaan lisätä jälkiasenteisena ja kulutusjoustopuolelta varten voidaan hyödyntää myös langattomia antureita, joiden jälkiasennus on helpompaa ja edullisempää.

## 7.6 Kulutusmittaroinnin soveltuvuus

---

Yksi kulutusjoustopuolelta käyttöön oton haaste liittyy kulutusmittarointiin, jota suunnitellaan ja käytetään usein raportointi- ja laskutustarpeisiin. Tätä käyttötarkoitusta varten toteutettu mittarointi ei monesti sovellu kulutusjoustopuolelta todentamiseen ja ohjaamiseen. Laskutuksessa ja raportoinnissa ei edellytetä täysin reaaliaikaista tietoa, kun taas kulutusjoustopuolelta usein tarvitaan välitöntä reaaliaikaista tietoa. Ilman luotettavaa mittarointia voi olla haastavaa arvioida ja todentaa joustopuolelta vaikutuksia energiankulutukseen. Mittaroinnin puutteet voivat estää joustopuolelta optimoinnin ja seurannan, ja ylipäättään joustopuolelta pääsyn. Kulutusjoustopuolelta voi myös edellyttää kulutusmittarointia hienojakoisemmin kuin laskutus- ja raportointikäyttö.

Kulutusmittarointia voidaan myös lisätä jälkiasenteisena, joskaan ei yhtä helposti kuin anturointia. Myös kulutusmittaroinnissa voidaan hyödyntää langattomia teknologioita, mutta on varmistettava, että reaaliaikaisuus- ja luotettavuusvaatimukset täyttyvät.

Joissain tapauksissa, esimerkiksi talotekniikan osallistuessa reservimarkkinoille, joustopuolelta erillinen mittarointi Fingridille raportointia varten voidaan korvata laskennallisella joustopuolelta määrittämisellä. Esimerkiksi ohjatessa ilmanvaihtokoneiden tehoa suoraan, voidaan tehomuutos todeta myös laitteiston nimellistehon ja ohjauksen asetusarvon perusteella. Tämän mahdollisuuden hyödyntäminen voi säästää investoinneissa kulutusmittareihin.

## 7.7 Tietoturva ja datan hallinta

---

Kulutusjoustopuolelta väistämättä edellyttää rajapintoja ja tiedonvaihtoa järjestelmien välillä. Tämä lisää tietoturvariskejä ja väärinkäytön mahdollisuuksia. Talotekniikan tietoturva on muutenkin IT-alaa huomattavasti jäljessä, vaikka mahdollisuudet haitan aikaansaamiseksi ovat merkittävät. Väärinkäytön mahdollisuuksia kulutusjoustopuolelta liittyy on esimerkiksi joustopuolelta resurssien toiminnan estäminen, kulutusjoustopuolelta vääränaikainen käynnistäminen tai keskeyttäminen, tai kulutusjoustopuolelta liittyvä datan kaappaaminen, manipulointi tai muu väärinkäyttö.

Kaikkien kulutusjoustopuolelta liittyvien järjestelmien tietoturva tulee varmistaa niin fyysisellä kuin digitaalisella tasolla. Tähän voidaan hyödyntää muun muassa Rakennusten digitaalisen turvallisuuden RT-ohjekortteja ja tietoturva-auditointipalveluita.

## 7.8 Huolto ja ylläpito

---

Kulutusjoustopuolelta kannalta on tärkeää, että joustopuolelta resurssit ja niitä ohjaavat järjestelmät toimivat suunnitellusti aina, kun joustopuolelta tarvitaan. Tämä korostuu varsinkin, kun joustopuolelta liittyy sanktioita. Perinteinen reaktiivinen ja aikataulutettu huolto- ja ylläpitotoiminta ei välttämättä pysty



varmistamaan tätä kustannustehokkaasti, jolloin tulee harkittavaksi tarpeenmukainen ja ennakkoiva huolto ja ylläpito.

Hyvin säädettävät ja seurattavat laitteet mahdollistavat usein toimintaansa liittyvän datan keruun, millä voidaan mahdollistaa tarpeenmukaisempi huolto ja ylläpito. Vastaavasti kattavalla anturoinnilla ja kulutusjouston vaatimukset täyttävällä kulutusmittaroinnilla voidaan havaita huoltotarpeita jo ennen, kuin laitteet alkavat itse hälyttämään.

## 8 Kulutusjouston toteutuksen case-esimerkki

---

Kuvitteellinen esimerkki tehdaskiinteistölle, jolle halutaan selvittää kulutusjouston mahdollisuudet, alkaa esiselvityksestä. Esiselvityksessä tarkastellaan kiinteistön nykytila energiakulutuksen sekä tekniikan osalta tutustumalla suunnitteludokumentteihin sekä tekemällä kohdekäynti. Tämän jälkeen määritetään kulutusjoustoan osallistuva laitteisto sekä konseptoidaan kohteen kulutusjousto toteuttava ratkaisu. Lisäksi määritetään tarvittavat investoinnit, saatavat tuotot sekä takaisinmaksuaika, ja mahdolliset vaikutukset olosuhteisiin. Esiselvityksen perusteella tehdään investointipäätös. Kuva 8 esittää reservimarkkinahankkeen etenemisen vaiheet alkuvaiheen esiselvityksestä operointiin sekä tarvittavat sopimusasiat.

Kuvitteellisessa tehdaskiinteistössä on jo hyvä kulutusmittarointi, jolloin tunnetaan potentiaaliset joustavat resurssit. Näitä ovat ilmanvaihdon puhaltimet, jotka halutaan mukaan kulutusjoustoan ja nestekaasukattilat prosessilämmön tuotannossa. Automaatiojärjestelmä on vanha, mutta kohteeseen on tulossa automaatioasaneeraus. Automaatioasaneerauksen suunnittelussa huomioidaan kulutusjouston keskitetyn ohjauksen tarpeet, avoimet rajapinnat ja ohjelmoidaan järjestelmään resurssien tehon säädölle pisteet ja joustologiikka. Samalla suunnitellaan muitakin tasonnostoja järjestelmän toiminnalle. Lisäksi nestekaasukattilan rinnalle halutaan sähkökattila polttoaineoptimointia varten. Tehtaan prosessi on esimerkissä jatkuvatoiminen, mutta pienet joustot sallitaan. Konseptiksi valitaan teholeikkaus sähkökattiloilla ja ilmanvaihdon puhaltimilla, spot-ohjaus sekä FCR-D-ylös- ja -alassäätömarkkinalle osallistuminen. Tässä vaiheessa varmistetaan myös sähköjärjestelmän riittävydestä ja case-esimerkissä halutaan jättää varaus mahdollisille tuleville akkuenergiavarastoille.

Teknisen suunnittelun vaiheessa tehdään yksityiskohtainen suunnittelu urakkatarjouksia varten, jonka jälkeen voidaan tehdä urakoiden kilpailutukset. Myös kulutusjoustoaggregaattori kilpailutetaan tässä vaiheessa. Aggregaattorin valinta aloitetaan tapaamalla mahdollisia palveluntarjoajia ja vertailemalla heidän kyvykkyyksiään. Kilpailutuksissa ja laitehankinnoissa varmistetaan FCR-D-kyvykkyys sähkökattiloiden reagointinopeuden ja ohjauksen osalta. Rakentamisen yhteydessä määritetään, tarvitaanko uusia sähkön liityntä- ja mittaus sopimuksia. Ilmanvaihdon ja sähkökattiloiden automaatiojärjestelmä liitetään aggregaattorin pilvipalveluun. Aggregaattorin kanssa on sovittu maksuista ja tuottojen jaosta sekä toimintarajat joustaville resursseille.

Kun laitteisto on otettu käyttöön, reservimarkkinoille osallistuttaessa tulee tehdä säätökokeet Fingridin vaatimusten mukaisesti (pois lukien mFRR-markkina). Fingrid hyväksyy

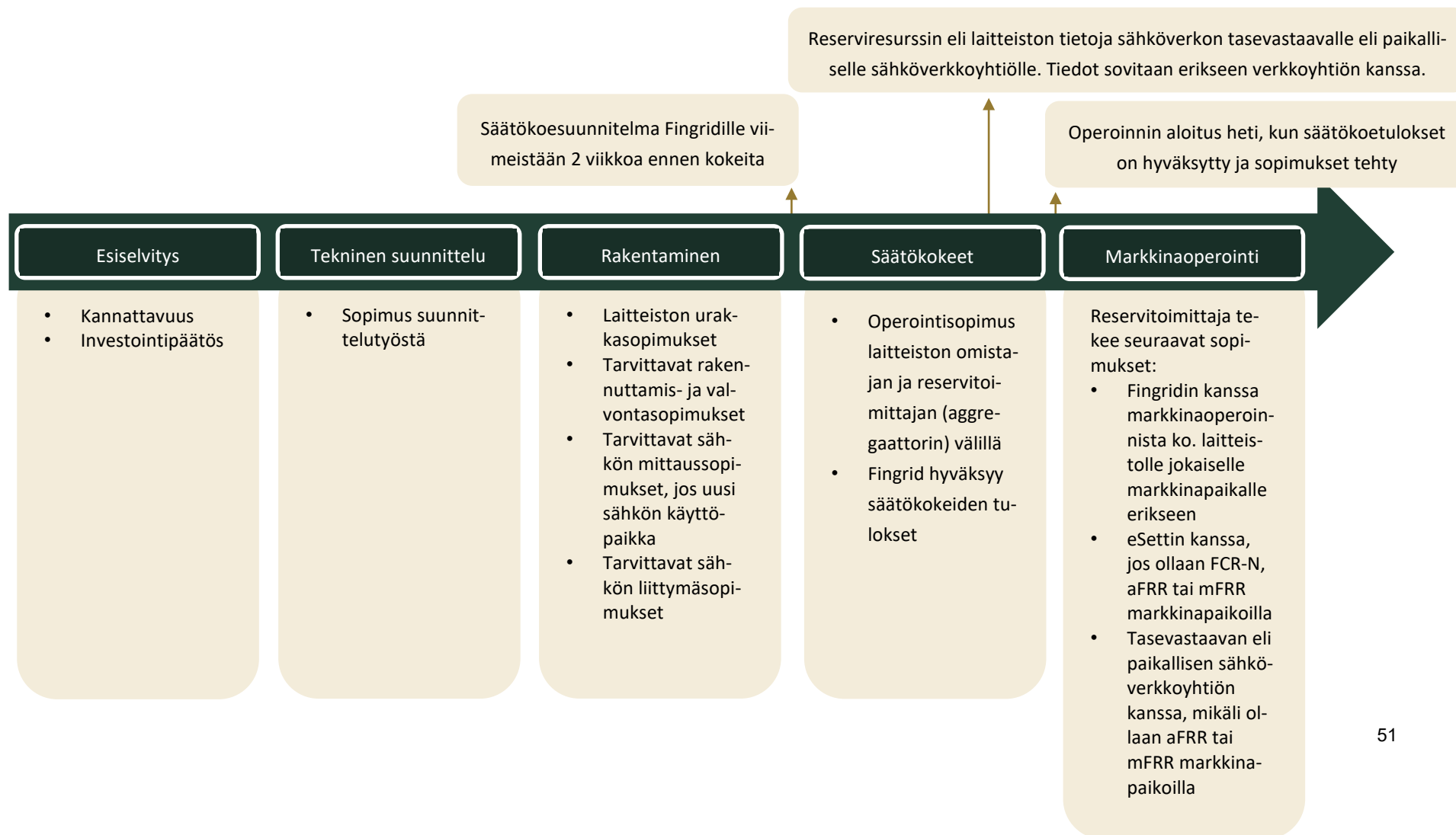
säätökoetulokset. Markkinapaikan mukaan tulee tehdä myös sopimukset tasevastaavan tai eSettin (Pohjoismaiden taseselvitystä hoitava yhtiö) kanssa. Käytön aikana aggregaattori tarjoaa resursseja markkinoille ja optimoi energiankäyttöä sekä operoi reservimarkkinoita. Tehtaan energiaorganisaatio seuraa säännöllisesti prosessin toimintaa, energiankulutusta sekä toteutuneita joustojen tuottoja. Ilmanvaihdon mahdolliset joustojen haitat huomioidaan pienentämällä sallittua joustotehoa tai joustoajankohtia.

Sähkökattiloiden ja nestekaasun käyttö optimoidaan tuotannon tarpeiden ja selvinneiden seuraavan päivän pörssisähkön hintojen perusteella. Tämän jälkeen aggregaattori tarjoaa reservimarkkinoille, FCR-D:hen, sovittun määrän joustotehoa. Kun sähkökattilat ovat käytössä, voidaan tehoa laskea, ja kun sähkökattilat eivät ole käytössä, voidaan markkinalle tarjota tehon nostoa. Matalan lämmöntarpeen tapauksessa lämpöenergiavarasto auttaa vastaanottamaan joustojen aikana tuottamaa lämpöä. Kulutusennusteen ja toteutuneen energiankulutuksen profiiliin perusteella on tunnistettu yksittäisiä muutaman tunnin mittaisia kulutuspiikkejä. Näitä osataan välttää etukäteen sekä seuraamalla liittymän tehoa reaaliaikaisesti, jonka perusteella voidaan välttää yksittäiset tehopiikit, jotka nostavat sähköliittymän tehomaksuja.

Ilmanvaihtokoneet osallistuvat liittymätehon hallintaan sekä spot-ohjaukseen soveltuvan tehon mukaan. Jos mahdollista, ilmanvaihtokoneet osallistuvat myös FCR-D:hen. Erityisesti tehtaan käyttöaikojen ulkopuolella ilmanvaihtokoneiden tehoa voidaan nostaa ja ylläpitää lähes rajoittoman kauan.

Reservitoimittaja hoitaa sopimukset laitteiston omistajan puolesta ja tekee markkinoille liittymisen helpoksi kiinteistön omistajalle. Prosessi on vastaavanlainen muissa kulutusjoustoprojekteilissa, mutta tällöin ei tarvitse tehdä sopimuksia Fingridin, tasevastaavan tai eSettin kanssa eikä reservimarkkinoille osallistumiseen vaadittavia säätökokeita.

Kuva 8 Esimerkki sähkön reservimarkkinahankkeen etenemisestä ja tarvittavista sopimuksista



## 9 Jatkoselvitystarpeet

---

Selvityksen perusteella on tunnistettu jatkoselvitystarpeita mahdollisen yhteishankkeen aiheiksi.

- Isona haasteena on nähty pienempien kohteiden, erityisesti talotekniikan, kulutusjoustopalvelun käyttöönotto ja palveluntarjoajien löytymien.
  - Konkreettinen pilotti, jossa seurataan ja dokumentoidaan kulutusjoustohanke alusta loppuun eri kiinteistöille, ottaen huomioon tekniikka ja ongelmat ja yllätykset mitä matkalla tulee
  - Pienempien talotekniikan kohteiden käyttöönoton pilotin prosessin, haasteiden, kustannusten ja toteutuksen avoin dokumentointi.
  - Lämpöpumppujen ja IV-koneet konkreettinen kohdekatselmus ja ohjeet suunnittelussa huomioimiseen.
- IV-koneiden liittämisen kustannukset – selvitys
- Lisäksi yleinen selvitys kulutusjoustopalvelun huomioimisesta suunnittelussa olisi apua uudishankkeille sekä kiinteistöille, joilla on tulossa taloteknisten järjestelmien saneerauksia.
- Lämpöpumppujen kompressorien eri käyttötapojen pilotti, kompressorien kyvykkyydet eri reservimarkkinoilla toimimisessa sekä vaikutukset muuhun lämmitysjärjestelmään voi madaltaa käyttöönoton kustannuksia hyvien toimintatapojen löytyttyä ja tietoisuuden lisäämisen kautta.
- Tämä selvitys keskittyy kiinteistöihin ja teollisuuteen. Kulutusjoustopalvelun käyttöönottoon voidaan saada arvokasta näkemystä kulutusjoustopalveluntarjoajiin ja palveluntarjoajien haastatteluihin keskittyvällä selvityksellä. Yhtenä tavoitteena on muodostaa kulutusjoustopalvelun käyttöönoton ja parhaiden toimintatapojen ”best practice” -opas.
- Kulutusjoustopalvelun käyttöönoton ja kustannusten tehostamiseksi tulisi löytää tietoa ja selvittää, mitä muuta kulutusjoustopalvelun mahdollistavat investoinnit voivat tarjota. Esimerkkejä oheishyödyistä voivat olla raportoinnin tehostuminen, yleinen energiatehokkuuden parantaminen sekä huolto- ja ylläpitotoiminnan tehostuminen.

## 10 Yhteenveto

---

Kulutusjoustopalvelu tarkoittaa sähkön kulutuksen tai tuotannon ohjaamista markkinahintojen, sähköverkon kuormituksen tai reservitarpeiden mukaan. Suomessa kulutusjoustopalvelu on sitä hyödyntäville toimijoille keskeinen keino vähentää energiakustannuksia, hankkia lisätuloja, parantaa energiajärjestelmän joustavuutta ja tukea uusiutuvan energian käyttöä. Tämä raportti tarkastelee

kulutusjoustopuun nykytilaa teollisuudessa ja palvelukiinteistöissä sekä sen teknisiä ja taloudellisia mahdollisuuksia ja keskeisiä haasteita.

Kulutusjoustopuun voidaan toteuttaa kahdella tavalla. Implisiittisessä joustossa kulutus reagoi hintasignaaleihin, kun taas eksplisiittisessä joustossa toimija osallistuu reservi- ja säätösähkömarkkinoille erillistä korvausta vastaan. Hyödyt voivat olla merkittäviä: yrityksille kulutusjoustopuun tarjoaa mahdollisuuksia energiakustannusten optimointiin, lisätuloihin reservimarkkinoilta ja riskienhallintaan. Sähköjärjestelmä hyötyy huippukuormien tasaamisesta, uusiutuvan energian paremmasta integroinnista ja investointitarpeiden pienentymisestä.

Suomessa Fingrid hallinnoi reservimarkkinoita, joihin kuuluvat FFR-, FCR-D-, FCR-N-, aFRR- ja mFRR-markkinat. Markkinoiden aktivointivaatimukset vaihtelevat sekunneista minuutteihin, ja minimitarjouskoot ovat 0,1–1 MW. Osallistuminen edellyttää reaaliaikaista tehomittauksia ja automaattista ohjausta. Tämä korostaa mittaroinnin ja automaatiojärjestelmien merkitystä sekä aggregoinnin tarvetta silloin, kun yksittäinen kohde ei täytä minimitarjouskokoja.

Tyypillisiä joustoresursseja ovat teollisuuden prosessit, sähkökattilat ja varavoimakoneet sekä kiinteistöjen ilmanvaihto, lämpöpumput, jäähdytyskoneet ja valaistus. Akkuenergiavarastot ja UPS-laitteet tarjoavat nopeaa reagointikykyä. Sähköajoneuvojen latausjärjestelmät voivat tuoda joustoa dynaamisen kuormanhallinnan, FCR-D:n ja tulevaisuudessa myös kaksisuuntaisen latauksen kautta.

Keskeisiä haasteita ovat kulutusjoustopuun koskevan osaamisen puute, kokonaisuuden koettu monimutkaisuus, taloudellisen kannattavuuden epävarmuus sekä vanhojen automaatiojärjestelmien tekniset rajoitteet. Myös mittarointiin ja tietoturvaan liittyy haasteita. Dokumentaation ajantasaisuus ja järjestelmien yhteensopivuus ovat onnistuneen toteutuksen edellytyksiä.

Suosittelavaa on aloittaa jousto helposti toteutettavista kohteista, kuten ilmanvaihtopuhaltimista olemassa olevien käyttörajojen puitteissa, sähkökattiloista ja akkuvarastoista. Pilottihankkeet tukevat käyttöönottoa, ja kulutusjoustopuun kannattaa integroida osaksi energiastrategiaa ja automaatiojärjestelmiä. Varavoimajärjestelmien hyödyntäminen olemassa olevissa kohteissa on usein haastavaa toimintavarmuuteen liittyvien riskien vuoksi. Mittarointiin, anturointiin ja tietoturvaan on syytä panostaa, ja kulutusjoustopuun hyödyt kannattaa hajauttaa reservimarkkinoiden, spot-hintaohjauksen ja tehonleikkauksen kesken.

Tulevaisuudessa kulutusjoustopuun yleistyy osaksi normaalia energianhallintaa. Akkuvarastojen, hybridiratkaisujen ja dynaamisten liittymäsopimusten merkitys kasvaa. Yritykset eriytyvät joustokykyisiin ja joustamattomiin, jolloin kilpailuetu syntyy joustosta. Kulutusjoustopuun on keskeinen keino pienentää sähkönhankinnan kustannuksia ja parantaa kilpailukykyä muuttuvilla sähkömarkkinoilla.

# MOTIVA