



# **Tekniset ratkaisut kysyntäjouaston toteuttamiseksi: Vertailu, edut ja haasteet**

Dzmitry Tsiakuchau

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2023

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

Tsiakuchau, Dzmitry

### **Tekniset ratkaisut kysyntäjouaston toteuttamiseksi: Vertailu, edut ja haasteet**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2023, 51 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Sähköverkon tasapainotukseen käytettävän kysyntäjouaston kapasiteettia on lisättävä, kun tuotannon mahdollisuudet joustoon vähenee uusien joustamattomien energiatuotantomuotojen käytön myötä. Kuluttajan sähkölämmityksen optimoinnilla on suuri potentiaali kysyntäjoustoan osallistumiseen. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Jyväskylän ammattikorkeakoulu ja tavoitteena oli löytää kuluttajalle sopivat kysyntäjouaston tekniset ratkaisut ja vertailla niitä sekä selvittää kysyntäjouaston keskeisimmät edut ja haasteet.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä oli käytetty kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Kysyntäjoustoan perehdyttiin arvovaltaisia lähteitä tutkimalla, joiden joukossa oli myös kansainvälisiä lähteitä. Teknisiksi ratkaisuisiksi oli valittu asiakaslähtöisten laitevalmistajien, Suomen markkinoilta löytyvät ratkaisut.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kattava tietopaketti, jossa kysyntäjoustoä käytettiin teoriatasolla tarkasti läpi, kerrottiin sen hyödyistä sekä siitä, miksi kysyntäjousto ei ole edennyt toivotulla tavalla. Teknisiksi ratkaisuisiksi oli valittu viisi, toisiinsa nähden, hyvin erilaista ratkaisua, joita vertailtiin yksityiskohtaisesti keskenään. Vertailussa oli huomioitu mm. vaadittavat investoinnit, ratkaisun tuoma säästö sähkölaskussa, hinta ja paljon muuta.

Kysyntäjousto on edelleen hyvin tuntematon käsite kuluttajalle. Kuluttajalle suunnattujen laiteratkaisujen määrä on ilmiöön nähden pieni. Aiheesta tiedottamisen puute hidastaa entisestään kysyntäjoustoan leviämistä kuluttajien keskuudesta. Parhaillaan tapahtuva sähkömarkkinarakenteen muutos sekä uusien etäluettavien mittareiden käyttöönotto edistää kysyntäjoustoan yleistymistä. Silti kuluttajan näkökulmasta ratkaisemattomia haasteita on edelleen paljon.

### **Avainsanat (asiasanat)**

kysyntäjousto, sähkömarkkinat, huipputehonrajoitus, kuorman ohjaus

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Tsiakuchau, Dzmitry**

### **Technical solutions for realizing demand response: Comparison, advantages and challenges**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 51 pages.

Degree Programme in Automation and Electrical Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

#### **Abstract**

The capacity of demand response used for balancing the electricity grid must be increased as the possibilities for flexibility in production decrease due to the use of new, inflexible forms of energy production. The optimization of consumer electric heating has great potential for participating in demand response. The thesis was commissioned by JAMK University of Applied Sciences, and the aim was to find and compare technical solutions for demand response suitable for consumers and to find out the key benefits and challenges of demand response.

The research method used in the thesis was a narrative literature review. Demand response was studied by examining authoritative sources, including international sources. The technical solutions chosen were those found on the Finnish market by customer-oriented equipment manufacturers.

The result of the thesis was a comprehensive information package in which demand response was examined in detail on a theoretical level, its benefits were explained and why demand response has not progressed as hoped. Five very different technical solutions were selected and compared in detail. The comparison took into account, among other things, the required investments, the savings in electricity bills brought about by the solution, the price and much more.

Demand response is still a very unknown concept to consumers. The number of device solutions aimed at consumers is small in relation to the phenomenon. The lack of information on the subject further slows down the spread of demand response among consumers. The ongoing change in the electricity market structure and the introduction of new remotely readable meters are likely to promote the spread of demand response. Nevertheless, from the consumer's point of view, there are still many unresolved challenges.

#### **Keywords/tags (subjects)**

demand response, electricity markets, peak power limitation, load control

#### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusmenetelmän kuvaus</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Kysyntäjousto</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Sähkömarkkinat</b> .....	<b>10</b>
4.1	Sähköpörssi .....	11
4.1.1	Finanssimarkkinat .....	11
4.1.2	Elspot (Day-Ahead) .....	12
4.1.3	Elbas (Intraday) .....	13
4.2	Reservimarkkinat .....	13
4.2.1	Nopea taajuusreservi (FFR) .....	14
4.2.2	Taajuuden vakautusreservi (FCR) .....	15
4.2.3	Taajuuden palautusreservi (FRR) .....	16
4.3	Tase .....	17
4.4	Aggregaattorit .....	18
4.5	Hinnan muodostuminen .....	20
<b>5</b>	<b>Toteutus</b> .....	<b>23</b>
5.1	SLY-kytkentä .....	23
5.2	AMR-mittarit .....	25
5.3	Automaattioratkaisut .....	26
5.3.1	Cozify ION .....	27
5.3.2	OptiWatti .....	29
5.3.3	Themo .....	32
<b>6</b>	<b>Ratkaisujen vertailu</b> .....	<b>34</b>
6.1	SLY-kytkentä vs. AMR-mittarit .....	34
6.2	Cozify ION vs. Optiwatti .....	36
6.3	Cozify ION & OptiWatti vs. Themo .....	37
6.4	Perinteiset ratkaisut vs. automaattioratkaisut .....	39
<b>7</b>	<b>Hyödyt ja haasteet</b> .....	<b>40</b>
7.1	Hyödyt .....	41
7.2	Haasteet .....	42
<b>8</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>44</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>46</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Kysyntäjousto havainnollistettuna.....	9
Kuvio 2. Sähkömarkkinoiden rakenne .....	10
Kuvio 3. Spot-sähkön markkinahinta .....	12
Kuvio 4. Reservimarkkinat Suomessa .....	14
Kuvio 5. Yhteenveto reservituotteista .....	17
Kuvio 6. Aggregointi käytännössä .....	19
Kuvio 7. Sähkön hinta.....	21
Kuvio 8. Sähkön markkinahinnan muodostuminen.....	22
Kuvio 9. SLY 1.3 kytkentäsovite.....	24
Kuvio 10. Cozify ION -älykotiohjain.....	28
Kuvio 11. OptiWatti laitteisto .....	31
Kuvio 12. Themo T700DIN .....	33

## Taulukot

Taulukko 1. Automaattioratkaisujen vertailu .....	39
---------------------------------------------------	----

# 1 Johdanto

Sähköverkon luotettavan toiminnan kulmakivenä on pitkään toiminut sen pitäminen tasapainossa. Edellytyksenä tähän on se, että sähköä tuotetaan ja kulutetaan joka hetkellä yhtä paljon. Sähkön tuotantoa ja kulutusta pyritäänkin suunnittelemaan etukäteen mahdollisimman tarkasti. Käytännössä todellinen tuotanto ja kulutus kuitenkin poikkeavat ennusteesta. Pitääkseen sähköverkkomme tasapainossa, säätöä on pitkään tapahtunut tuotannon puolella. Aktiivisesti tapahtuva lupominen fossiilisten polttoaineiden käytöstä kuitenkin tarkoittaa, että sähköä tuotetaan yhä enemmän joustamattomilla tuotantomuodoilla ja sähköverkkomme tasapainon ylläpitämiseksi jouston on tapahduttava kuluttajan toimesta. Kysyntäjousto houkuttelee kuluttajaa kulutuksen optimoinnin ansiosta syntyvillä säästöillä sähkölaskussa. Laajemmin tarkasteltuna kysyntäjoustolla varmistetaan sähköverkkomme toimivuus ja edistetään ilmastotavoitteiden täyttymistä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa teknisiä ratkaisuja kysyntäjouston toteuttamiseksi. Aihe syntyi toimeksiantajani Jyväskylän ammattikorkeakoulun tarpeesta lisätä tietämystä kysyntäjoustopuolesta. Opinnäytetyön tavoitteena onkin verrata teknisten ratkaisujen hyvät ja huonot puolet, tuoda esiin niiden eroavaisuudet ja sitä kautta kertoa kotitalouksien mahdollisuuksista osallistua kysyntäjoustopuolelle. Yhdessä toimeksiantajani kanssa on päädytty rajaamaan aihetta koskemaan tavallisia kuluttajia, toisin sanoen kysyntäjoustopuolella olevia ratkaisuja kotitalouksille. Kysyntäjoustopuolella tehokas toteuttaminen vaatii laajassa mittakaavassa teknisen valmiuden lisäämistä koko toimitusketjussa tuotannosta loppukäyttäjälle asti. Siksi aiheen rajaaminen on välttämätöntä, jotta opinnäytetyössä keskityttäisiin ainoastaan kuluttajan kannalta olennaiseen tietoon.

Opinnäytetyön alussa tutustutaan aiheen teoriaan. Kysyntäjousto on yleisesti tuntematon käsite. Siksi opinnäytetyökokonaisuuden ymmärtämisen kannalta on tärkeää käydä läpi, mitä kysyntäjousto käytännössä tarkoittaa. Teoriaosuudessa kerrotaan myös sähkömarkkinarakenteesta Suomessa sekä siitä, miten sähkön lopullinen hinta muodostuu. Sähkömarkkinoiden toiminnan ymmärtäminen auttaa hahmottamaan kysyntäjoustopuolella olevien ratkaisujen tärkeyttä sähköverkkomme kannalta.

Opinnäytetyön toteutusosiossa kuvataan erilaisia kuluttajan kysyntäjoustopuolella toteuttamista mahdollistavia teknisiä ratkaisuja ja verrataan kyseisten ratkaisujen potentiaalia, keskeisiä eroja sekä niiden hintaluokkaa. Opinnäytetyön lopussa kerrotaan vielä tarkemmin kysyntäjoustopuolella olevien ratkaisujen hyödyistä ja toteutuksen haasteista sekä käydään läpi, miksi kysyntäjousto ei ole edennyt toivotulla tavalla.

## 2 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi on valittu narratiivinen eli kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Hanna Vilka (2023) kertoo, että kuvaileva kirjallisuuskatsaus toimii keinona, jolla epäyhtenäistä tietoa voidaan tiivistää jatkuvaksi ja johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi. Minna Marjamaa ja Riikka Sinisalo (2020) toteavat puolestaan, että kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tehtävänä on olemassa olevan tiedon kuvaaminen ilmiölähtöisesti ja ymmärtäen. Opinnäytetyöni tarkoituksena onkin pikemminkin ymmärtää ja kuvata kysyntäjoustoja ja sen teknisiä ratkaisuja eikä kehittää sitä, joten kyseinen tutkimusmenetelmä sopii hyvin opinnäytetyöni toteutukseen.

Tässä opinnäytetyössä pyritään käyttämään mahdollisimman relevanttia tietoa, sillä kysyntäjoustop menetelmät ja toteutustavat muuttuvat nopeata vauhtia. Näin esimerkiksi kysyntäjoustoja hyödyttävät reservimarkkinat ovat jatkuvassa muutoksessa. Uusia kysyntäjoustop teknisiä ratkaisuja ilmestyy markkinoille jatkuvasti, samalla kun osa vanhoista ratkaisuksista poistuu. Teoriaa haetaan myös kansainvälisestä kirjallisuudesta ja julkaisuista, mutta kysyntäjoustop tekniset ratkaisut etsitään ainoastaan Suomen markkinoilta ja näin ollen siltä osin tietoa etsitään kotimaisia resursseja hyödyntäen. Kirjallisuuden ja alan toimijoiden julkaisujen lisäksi tietoa haetaan aiheeseen liittyvistä artikkeleista sekä laitevalmistajien verkkosivuilta.

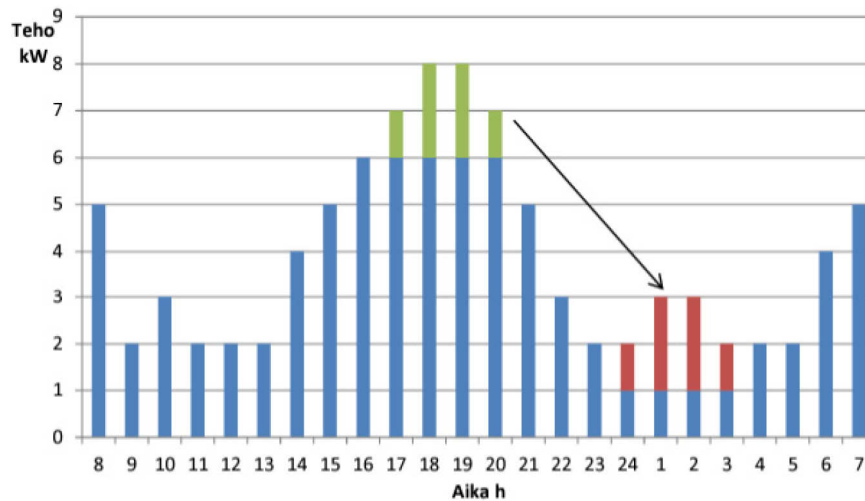
Opinnäytetyön keskeiset kysymykset ovat:

- Mitä on kysyntäjousto kuluttajan näkökulmasta tarkasteltuna?
- Mitkä ovat kuluttajalle suunnatut kysyntäjoustop tekniset ratkaisut?
- Miten tekniset ratkaisut eroavat toisistaan?
- Mitkä ovat kysyntäjoustop ja sen teknisten ratkaisuiden edut ja haasteet?

### 3 Kysyntäjousto

Globaali ilmastonmuutos on pakottanut ihmiskuntaa arvioimaan uudelleen omia tottumuksiaan ja elämäntapaa. Suurimmaksi haasteeksi ilmastonmuutoksen torjunnassa on noussut luopuminen fossiilisten polttoaineiden kuten öljyn, kaasun ja hiilen käytöstä osana sähköntuotantoa. Uusiutuvan energian kuten aurinko- ja tuulivoiman osuus sähköntuotannossa kasvaa vuosittain, mutta se tuo myös haasteita. Luonnollisesti uusiutuvat energianlähteet ovat pääosin joustamattomia sähköntuotantomuotoja, sillä emme voi vaikuttaa siihen, milloin aurinko paistaa tai milloin tuulee voimakkaasti. Energiakriisi on saanut ihmisten katseet kääntymään myös ydinvoimaan, joka ei teknisesti ole uusiutuvaa, mutta kuitenkin päästötöntä energiantuotantomuotoa. Mutta myös ydinvoima on joustamatonta, sillä ydinvoimalan tuotannon vähentäminen tai kokonaisen reaktorin pysäyttäminen ja uudelleen käynnistäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. (Kulutusjousto n.d.). Siksi tarvitaan kysyntäjousto.

Kysyntäjoustopissa sähkön kulutusta ohjataan hinnan perusteella. Käytännössä kysyntäjousto tarkoittaa kulutuksen siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta ajankohtaan, jolloin kulutus on vähäistä ja hinta on edullisempi (Kulutusjousto N.d.). Kansainvälisesti kysyntäjoustopista käytetään termiä demand response. Yhdysvaltain energiaministeriö kuvaa kysyntäjoustopia loppukäyttäjän kulutustottumuksen muutokseksi vastauksena sähkön hinnan muutokseen (Losi, Mancarella & Vicino 2015, 23). Kysyntäjoustopilla loppukäyttäjää kannustetaan muuttamaan kulutustottumuksia sähköjärjestelmän toiminnan helpottamiseksi. Yhä useammin kysyntäjoustopista käytetään termiä kulutusjousto. Kulutusjoustopissa suunniteltua kulutusta siirretään toiseen ajankohtaan. Kun taas tuotantoustopissa lisätään tai lasketaan sähkön tuotantoa. Kysyntäjoustopilla voidaan siis tarkoittaa sekä kulutus-, että tuotantoustopia. Kun joustamattomien tuotantomuotojen osuus tuotantoketjussa kasvaa, joustopon on kuitenkin yhä useammin tapahduttava kulutuksen optimoinnin kautta eli kulutusjoustopilla.



Kuvio 1. Kysyntäjousto havainnollistettuna (Grip 2013, 5)

On tärkeää ymmärtää, että kuluttajan näkökulmasta kysyntäjoustopäätökset eivät mukavuudesta tingitä – kulutusta ainoastaan siirretään sähkön hinnan edullisille tunneille sekä muuten optimoidaan kulutusta eli pyritään ohjaamaan sähkölaitteita mahdollisimman järkevällä tavalla jättäen turhan kulutuksen pois. Kuviossa 1 nähdään kysyntäjoustopäätöksen periaate, jossa kulutuksen ohjaus ja optimointi vähentää sähköverkon kulutuspiikkejä siirtämällä kulutuksen ajankohtaan, jolloin sähköverkko on vähiten kuormitettuna. Tämä puolestaan laskee sähkön hintaa, sillä korkea kulutus pakottaa käynnistämään kalliita sähköntuotantomuotoja vastatakseen kysyntään (Sähkön hinta ja hiilijalanjälki kulkevat käsi kädessä n.d.). Laajemmin tarkasteltuna kulutuspiikkien vähentämisellä varmistetaan sähköverkon toiminta. Kysyntäjoustopäätösten hyödyt käydään läpi luvussa 7.1.

Kysyntäjousto voi olla eksplisiittinen eli kannustinperusteinen tai implisiittinen eli hintaperusteinen. Eksplisiittisessä kysyntäjoustopäätöksessä kuluttaja saa tarjoamasta joustostaan hyvitystä. Käytännössä kyseinen malli usein edellyttää osallistumista aggregointiin, jolloin aggregointiyhtiö kerää pienten kulutuskohteiden joustokapasiteetit yhteen, mikä mahdollistaa osallistumisen esimerkiksi reservimarkkinoille. Aggregointia käydään tarkemmin läpi luvussa 4.4. Implisiittisessä kysyntäjoustopäätöksessä kuluttaja siirtää joko manuaalisesti tai automaattisesti kulutustaan sähkön hinnan edullisille tunneille ja säästää sitä kautta sähkölaskussa. Opinnäytetyössä keskitytään pääosin implisiittiseen eli hintaperusteiseen kysyntäjoustopäätösmalliin. Eksplisiittinen ja implisiittinen kysyntäjoustopäätösmalli eivät korvaa toisiaan ja kuluttaja voi mahdollisuuksiensa mukaan toteuttaa molempia kysyntäjoustopäätösmalleja samanaikaisesti. (Clarification of the standard processes required between BRPs and independent aggregators 2015, 2).

Koko ajan lisääntymässä oleva joustamaton tuotanto vaatii sähkömarkkinoilta mukautumista, sillä vanha markkinamalli, jossa kauppaa käydään ainoastaan energialla, ei vastaa nykypäivän tarpeita. Toimivan ja luotettavan sähköjärjestelmän edellytyksenä on, että sähköä tuotetaan ja kulutetaan joka hetki yhtä paljon. Tuotannon ja kulutuksen tasapainosta kertoo sähköverkon taajuus, joka on tasapainotilassa 50,0 Hz. Kun tuotanto ei pysty joustamaan, sähköverkon tasapainon ylläpitämiseksi jouston on tapahduttava kuluttajan suunnalta. Sähkön kulutusta ja tuotantoa pyritään myös suunnittelemaan niin, että sähköverkko pysyisi tasapainossa. Käyttötuntien aikana väistämättä tapahtuvat poikkeamat pyritään korjaamaan käyttämällä reservejä. (Härkönen 2021, 5). Sähkömarkkinarakenteesta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.

## 4 Sähkömarkkinat

Tässä luvussa käsitellään markkinapaikkoja, joilla on suora tai epäsuora vaikutus kysyntäjousto. Suurkuluttajat, kuten teollisuuslaitokset, ovat jo pitkään osallistuneet kysyntäjousto lisäämällä tai vähentämällä tuotantoa ja kulutustaan tarpeiden mukaan. Toteuttaakseen kysyntäjousto tavallisen kuluttajan on kuitenkin perehdyttävä sähkömarkkinoiden toimintaan ja rakenteeseen ja ymmärrettävä mistä sähkön hinta koostuu. Kuviossa 2 on havainnollistettu sähkömarkkinoiden rakenne Suomessa.



Kuvio 2. Sähkömarkkinoiden rakenne (Markkinapaikat n.d.)

## 4.1 Sähköpörssi

Sähköpörssissä käydään kauppaa fyysisistä tuotteista eli sähköstä ja finanssituotteista. Fyysisen tuotteen ostaminen johtaa aina sähkön toimitukseen. Finanssituotteen ostaminen ei johda sähkön toimitukseen, vaan myytävinä tuotteina ovat sähkön hintaan liittyviä johdannaistuotteita. Nord Pool on sähköpörssi, jossa Pohjoismaat ja Baltian maat käyvät kauppaa sähköstä. Kyseisestä sähköpörssistä sähköä on mahdollista ostaa edeltävänä päivänä Elspot-markkinoilta tai päivänsisäisillä Elbas-markkinoilla. Finanssimarkkinoista vastaa puolestaan Nasdaq OMX Commodities. Sähkökauppaa voi myös käydä pörssien ulkopuolella OTC-markkinoilla. Sellaisen kaupankäyntimuodon riskinä on kuitenkin se, että osapuolet eivät kykene hoitamaan kaupanteossa sovittuja velvoitteita. (Markkinapaikat n.d.).

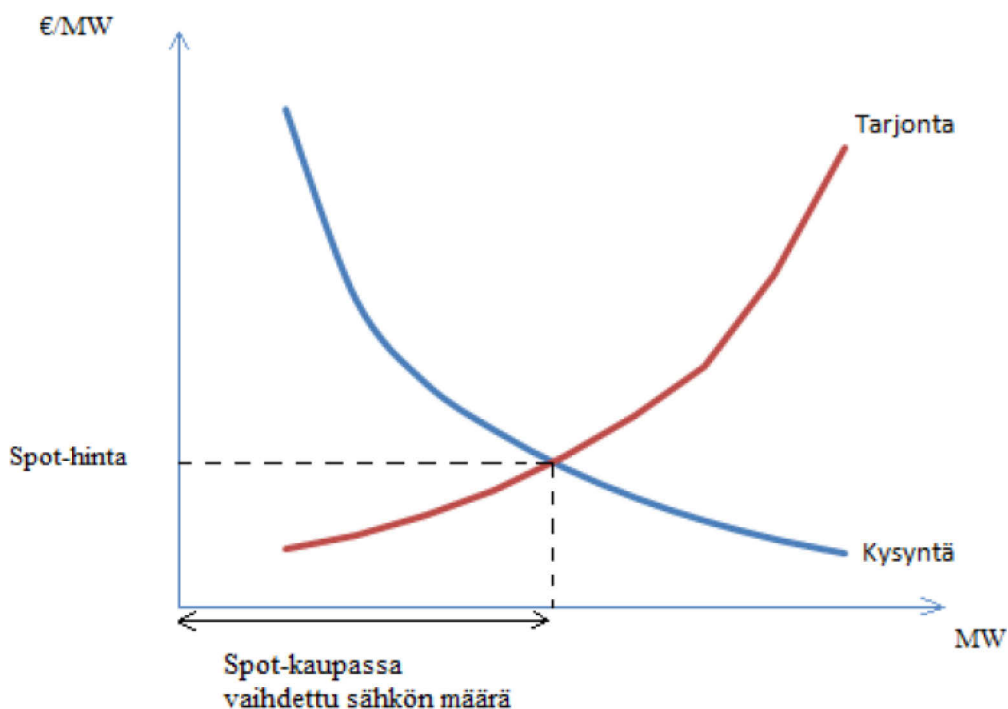
### 4.1.1 Finanssimarkkinat

Finanssimarkkinoiden tuotteita ovat futuurit, DS-futuurit ja optiot. Näitä tuotteita ostetaan pörssissä syntyvien riskien minimoimiseksi. Finanssimarkkinoilla kaupankäynnin osapuolet suojaavat itsensä sähkön räikeiltä hinnan vaihteluilta. Näin sähkön tuottaja voi varmistaa, että sen tuotettua sähköä ei myydä liian halvalla. Kun taas sähkön myyjä voi suojautua liian korkeilta hinnoilta, jos esimerkiksi hänen ja kuluttajan välillä on solmittu kiinteähintainen sähkösopimus. (Markkinapaikat n.d.).

Futuuri on tuote, joka sitoo kaupankäynnin osapuolia ostamaan ja myymään tulevaisuudessa sähköä kaupanteossa sovittuna hetkenä ja sovittuun hintaan. Lisäksi kaupanteon aikana sovitaan toimitusajanjaksosta. Pienin mahdollinen ostos on 1 MW. Osallistuakseen näille markkinoille, sekä myyjän, että ostajan on talletettava vakuudet. Vakuudet toimivat takuuna siitä, että kummatkin osapuolet kykenevät hoitamaan kaupanteossa sovittuja velvollisuuksiaan (Halla-Aho 2023). Futuurin ja DS-futuurin erona on lähinnä toimitusajanjakson pituus sekä eri tavalla tapahtuva tilitys. Optio on taas tuote, joka ei ole sitova, mutta antaa oikeuden ostaa tai myydä sähköä kaupanteossa sovittuna hetkenä ja sovittuun hintaan. (European Power Futures and Options n.d.).

#### 4.1.2 Elspot (Day-Ahead)

Elspot-markkinoilta ostetaan siis sähköä seuraavalle käyttöpäivälle. Näillä markkinoilla myytävää sähköä kutsutaan yleisesti spot-sähköksi. Spot-sähköä voi pitää eräänlaisena keinona osallistua manuaaliseen kysyntäjoukseen, sillä kuluttaja voi itse ajoittaa sähkönkäytön edullisille tunneille. Elspot-markkinat on suljettu huutokauppapörssi, toisin sanoen markkinaosapuolet eivät ole tietoisia toistensa tarjouksista. Kauppaa käydään anonyymisti ja kaupan vastapuolena on aina pörssi. Näin poissuljetaan mahdolliset kaupankäyntiriskit molempien kaupankäyntiosapuolten kohdalta. (Day-ahead market n.d.). Elspot-markkinoilla kauppaa käydään jokaisesta vuorokauden tunnista tai vaihtoehtoisesti voi tehdä blokkitarjouksen. Blokkitarjouksessa kyse on siitä, että kaupan kohteena on peräkkäisten tuntien sähkötoimitus ja sen minimikesto on 3 tuntia. Spot-sähkön pienin mahdollinen ostos on 0,1 MWh. (Partanen 2004, 24). Kuten pörsseissä yleensä, suurin hintaan vaikuttava tekijä on kysynnän ja tarjonnan suhde. Kuviossa 3 esitetään, miten spot-sähkön hinta muodostuu. Kahden kaaren leikkauspisteessä eli osto- ja myyntitarjousten kohtauspisteessä syntyy pörssisähkön markkinahinta.



Kuvio 3. Spot-sähkön markkinahinta (Partanen 2004, 25)

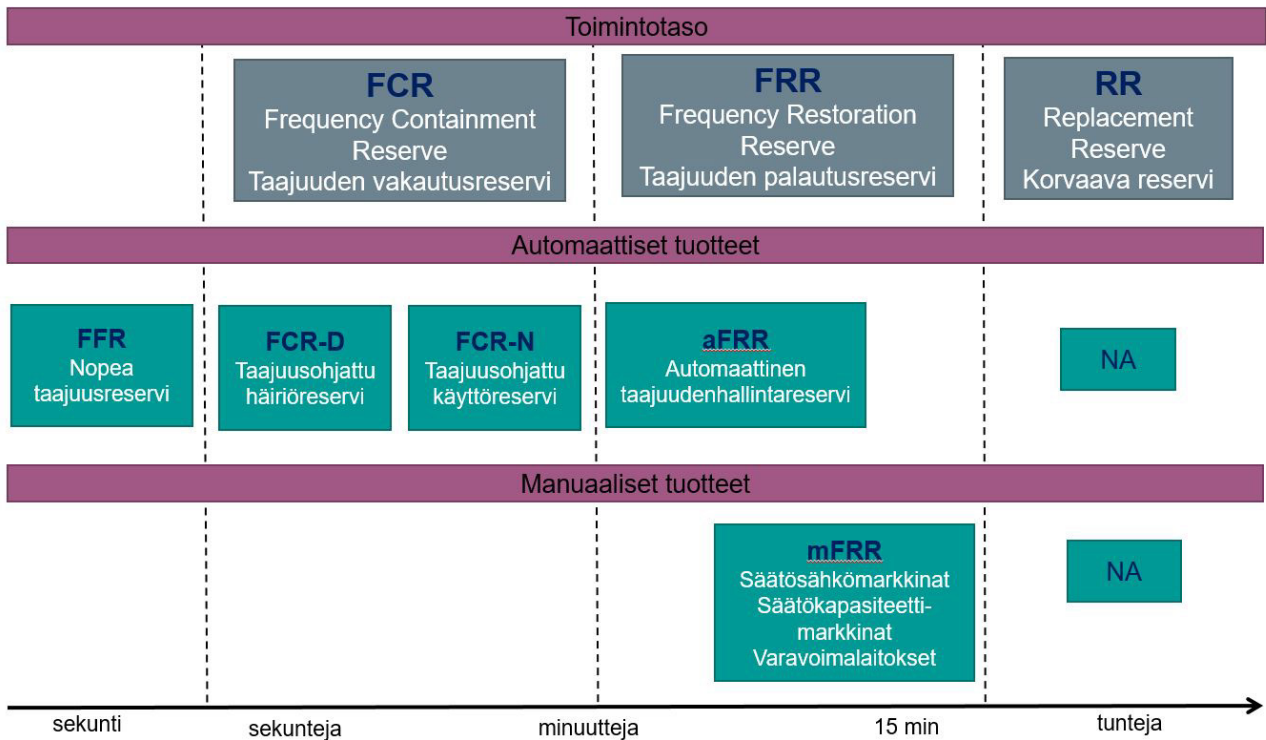
Kun tarjontaa on reilusti kysyntää enemmän, voi spot-sähkön hinta painua hetkellisesti jopa miinukselle, jolloin sähköntuottaja yleensä hyvittää asiakkailleen sähkönkäytön. Selina Keräsen (2023) artikkelissa Juha Hiekkala kuitenkin muistuttaa, että sähkön hinta ei ole kuluttajalle koskaan negatiivinen, koska sähkön jakelukustannukset ja verot täytyy ottaa myös huomioon.

#### **4.1.3 Elbas (Intraday)**

Koska Elspot-markkinoilla käydään kauppaa seuraavan päivän sähkötoimituksesta, tuotannon tai sähkön kulutus voi poiketa ennustetuista arvoista. Tuotanto voi jäädä alhaiseksi esimerkiksi komponenttivian vuoksi. Vastaavasti kulutus voi kasvaa, jos ennustettu lämpötila poikkeaa todellisesta ja lämmitykseen tarvitaankin enemmän energiaa. Siksi Elspot-markkinoiden tueksi, kysynnän ja tarjonnan tasapainottamiseksi on olemassa Elbas-markkinat. Siellä kauppa syntyy tuntia ennen sähkön toimitusta. Suomessa on joissakin tapauksissa mahdollista käydä kauppaa jopa hetki ennen toimitusta. Elbas-markkinoilla on mukana vain ne tunnit, joista on jo määritelty hinta Elspot-markkinoilla. Tänä päivänä Elbas-markkinoiden osuus pörssissä myytävästä sähköstä on pieni, mutta joustamattomien tuotantomuotojen, kuten aurinko- ja tuulivoiman lisääntyessä, tarve nopeasti toimitettavalle sähkölle pörssissä syntyvästä kaupasta saattaa kasvaa. (Intraday market n.d.).

#### **4.2 Reservimarkkinat**

Sähkön kulutusta ja tuotantoa suunnitellaan niin, että tuotanto vastaisi koko ajan kulutuksen määrää. Näin sähköverkko saadaan pysymään tasapainossa. Sähköverkon tasapainotilassa sen taajuus on 50,0Hz. Sähkökulutuksen määrää on kuitenkin mahdotonta ennustaa tarkasti etukäteen. Myös säästä riippuvan ns. joustamattoman energian kuten aurinko- ja tuulivoiman tuotanto-osuuden kasvu aiheuttaa haasteita sähköverkon tasapainon ylläpitämisessä. Siksi tarvitaan reservimarkkinoita. Reservejä saadaan mm. voima- ja teollisuuslaitoksista, jotka osallistuvat Fingridin ylläpitämiin reservimarkkinoihin ja jotka tarvittaessa lisäävät tai pienentävät omaa sähkönkulutustaan. (Reservimarkkinat n.d.).



Kuvio 4. Reservimarkkinat Suomessa (Reservimarkkinat n.d.)

Sähköverkon tasapainotusta reservien avulla tapahtuu koko ajan. Muutokset voivat tapahtua nopeasti tai hitaasti. Suomi kuuluu osaan pohjoismaista yhteiskäyttäjärjestelmää. Kuviossa 4 nähdään reservituotteita, jotka ovat käytössä kyseisessä järjestelmässä.

#### 4.2.1 Nopea taajuusreservi (FFR)

Nopea taajuusreservi FFR on vasta keväällä 2020 Pohjoismaissa otettu käyttöön reservituote. Se on paitsi uusi, myös nopein reservituote, sillä se reagoi sähköverkossa esiintyviin muutoksiin sekunnissa. Taajuusohjattu häiriöreservi, mikä on seuraavaksi nopein reservituote, aktivoi 50 prosenttia tehostaan 5 sekunnissa ja 100 prosenttia puolesta minuutissa (Nortio 2019), joten ero on huomattava. Sähköverkon taajuudenmuutokseen häiriötilanteessa vaikuttaa tehomuutoksen suuruus, reservien aktivoitumisnopeus ja inertia. Nopean taajuusreservin tarkoitus onkin reagoida niimensä mukaisesti nopeasti tilanteisiin, joissa sähköverkon inertia on pieni ja taajuuspoikkeamat ovat suuria. (Nopea taajuusreservi n.d.).

Perinteisten sähköntuotantomuotojen, kuten lauhdevoimaloiden, väistyessä, inertia pienenee entisestään. Inertia vaikuttaa suoraan sähköjärjestelmän kykyyn vastustaa taajuuden muutoksia. Tilanne on erityisen hälyttävä silloin, kun iso sähkön tuottaja, kuten ydinvoimala, irtoaa häiriötilanteesta pois verkosta ja siitä johtuen sähköverkon taajuudenmuutokset ovat niin suuria, että ne vaarantavat sähköjärjestelmää. Ennen nopean taajuusreservin käyttöönottoa, pienen inertian seurauksiin on reagoitu rajoittamalla sähköntuotantoa. Jukka Nortio (2019) artikkelissa Fingridin asiantuntija Mikko Kuivaniemi toteaa, että tällainen toimintamalli ei pitkässä ajanjaksossa tarkasteltuna ole kansantaloudellisesti kannattavaa, sillä näillä keinoilla puututaan energiamarkkinoiden toimintaan.

#### **4.2.2 Taajuuden vakautusreservi (FCR)**

Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) ja taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D) reagoivat automaattisesti taajuudenmuutoksiin ja pyrkivät vakauttamaan sähköjärjestelmää. Taajuusohjattu käyttöreservi on käytössä koko ajan ja on tarkoitettu reagoimaan pieniin taajuudenmuutoksiin, sillä se reagoi jo 0,1 Hz poikkeamaan normaalitilasta eli taajuuden ollessa 49,9–50,1 Hz ulkopuolella. Sen reagointiaika on noin kaksi minuuttia. (Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-tuotteet) n.d.). Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä kyseistä reserviä on saatavilla joka hetki 600 MW, josta Suomen osuus on 138 MW (Nortio 2019).

Sen sijaan taajuuden häiriöreservi kytkeytyy aivan kuten aikaisemmin mainittu nopea taajuusreservi (FRR) vain häiriötilanteessa, kun sähköverkon taajuudenmuutos on suuri. Se reagoi sekunneissa 0,5 Hz poikkeamaan normaalitilasta eli taajuuden ollessa 49,5–50,5 Hz ulkopuolella. (Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-tuotteet) n.d.). Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä kyseistä reserviä on saatavilla joka hetki 1200 MW, josta Suomen osuus vaihtelee 220–265 MW välillä (Nortio 2019). Osuus vaihtelee, koska kyseistä osuutta tarkastellaan viikko kerrallaan yhteiskäyttöjärjestelmässä. Taajuuden vakautusreservissä mukana olevien kohteiden pitää pystyä sekä ylös- että alassäätöön. Ylössäädössä lisätään tuotantoa ja vähennetään kulutusta, kun taas alassäädössä vähennetään tuotantoa tai lisätään kulutusta.

### 4.2.3 Taajuuden palautusreservi (FRR)

Taajuuden palautusreservi (FRR) jakautuu kahteen eri reservituotteeseen. Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR) toimii aivan kuten kaikki edellä mainitut reservit automaattisella ohjauksella. Se otettiin Pohjoismaissa käyttöön vuonna 2013, koska taajuuden laatu oli jatkuvasti heikentynyt edellisinä vuosina (Uusi reservilaji, automaattinen taajuudenhallintareservi otettu testikäyttöön 2013). Tämä reservityyppi pyrkii paitsi palauttamaan sähköverkon taajuuden tasapainotilaan eli 50 Hz:iin, mutta toimii myös taustatukena jo käytössä oleville reserveille, pyrkien palauttamaan ne takaisin täyteen käyttövalmiuteen. Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR) on keskitetty. Pyyntö reservien vapauttamisesta tulee Norjan kantaverkkoyhtiöltä Statnetilta Suomen kantaverkkoyhtiölle Fingridille, joka vuorostaan lähettää pyynnön eteenpäin omille reservihaltijoilleen. Aktivointipyyntö eli signaali voi olla kahta erityyppistä – nopeaan ja hitaampaan reagointiin. Signaalista riippumatta tehonmuutoksen on kuitenkin tapahduttava 5 minuutissa. Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR) on käytössä ainoastaan kohdistetuilla tunteilla, yleensä aamulla ja illalla, kun kulutus on suurimmillaan. (Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR) n.d.).

Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä automaattista taajuuden palautusreserviä (aFRR) on saatavilla joka hetki 300 MW, josta Suomen osuus on 70 MW (Nortio 2019). Suomi liittyyneen vuoden 2024 keväällä Euroopan yhteiselle aFRR-energian markkinapaikalle, jonka nimi on PICASSO (aFRR-reservin eurooppalainen markkinapaikka PICASSO n.d.). Tämän myötä Suomeen perustetaan kapasiteettimarkkinoiden lisäksi aFRR-reservin energiamarkkinat.

Muista reservityypeistä poiketen, säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat (mFRR) ovat manuaalisesti aktivoitavia reservejä. Tämä on hitain reservityyppi, sillä tehonmuutoksen on tapahduttava vartissa. Tämä reservityyppi perustuu siihen, että jokaisella pohjoismaisen säätösähkömarkkinoihin osallistuvalla valtiolla on oltava yhtä paljon reservejä kuin suurin yksittäinen häiriö voi aiheuttaa tehovajetta. Suomen osalta kyseinen luku vaihtelee 880–1100 MW välillä (Aunio 2018, 20). Näitä reservejä aktivoidaan yleensä todellisissa häiriötilanteissa, kun tehovaje on suuri. Toisaalta kyseisiä reservejä käytetään myös tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseksi ja sähköjärjestelmän käyttövarmuuden varmistamiseksi. Fingrid ylläpitää tarvittavaa säätökapasiteettia myös omistamillaan varavoimalaitoksillaan sekä solmimalla pitkäaikaisia sopimuksia muiden varavoimalaitosten kanssa. (Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat (mFRR) n.d.).

Suomi on tällä hetkellä mukana pohjoismaiden yhteisillä mFRR-kapasiteettimarkkinoilla. Aivan kuten automaattisen taajuuden palautusreservin (aFRR) kohdalla, Suomen on tarkoitus liittyä yhdessä muiden Pohjoismaiden kanssa Euroopan yhteiselle mFRR-energian markkinapaikalle, jonka nimi on MARI (Eurooppalaiset reservimarkkinapaikat n.d.). Liittymisen aikataulusta ei tällä hetkellä ole kuitenkaan tietoa. Liittymisen jälkeen Fingrid toimii jatkossakin tarjosten ja aktivointipyyntöjen hoitajana.

## Reservimarkkinat Suomessa

– sekä tuotanto että kulutus osallistuvat

	<b>FFR</b>	<b>FED</b>	<b>FCR-N</b>	<b>aFRR</b>	<b>mFRR</b>
	Nopea taajuus-reservi	Taajuusohjattu häiriöreservi, 220–265 MW Pohjoismaissa yht. 1 200 MW	Taajuusohjattu käyttöreservi, 138 MW Pohjoismaissa yht. 600 MW	Automaattinen taajuudenhallinta-reservi, 70 MW Pohjoismaissa yht. 300 MW	Yhteispohjoismaiset säätösähkömarkkinat
<b>Aktivointi</b>	Suurissa taajuuspoikkeamissa, käytössä pienen inertian tilanteissa	Suurissa taajuuspoikkeamissa	Käytössä jatkuvasti	Käytössä kohdistetuilla tunneilla	Tarvittaessa
<b>Nopeus</b>	Sekunnissa	Sekunneissa	Parissa minuutissa	Viidessä minuutissa	Vartissa
					

Kuvio 5. Yhteenveto reservituotteista (Nortio 2019)

Kuviossa 5 nähdään yhteenveto reservituotteista. Kuviossa on mm. havainnollistettu reagointinopeus ja aktivointitilanteet. Reservimarkkinoita tarvitaan siis sähköverkon tehotasapainon ylläpitämiseen. Kuviossa 5 löytyy myös maininta korvaavasta reservistä (RR), mutta tämäntyyppistä reserviä ei Suomessa ja Pohjoismaissa käytetä, joten sitä ei myöskään käsitellä.

### 4.3 Tase

Sähkön toimituksen jälkeen tapahtuu taseselvitys, jonka tarkoituksena on tarkistaa tuotannon ja kulutuksen tase eli vastaako kulutus tuotetun sähkön määrää. Jos kulutus on ollut pienempää kuin tuotanto, puhutaan ylijäämästä. Sähkön myyjä myy ylijäämän verkonhaltijalle eli Fingridille ja saa siitä korvauksen. Kulutuksen ollessa tuotantoa isompi, puhutaan alijäämästä. Silloin sähkön myyjä

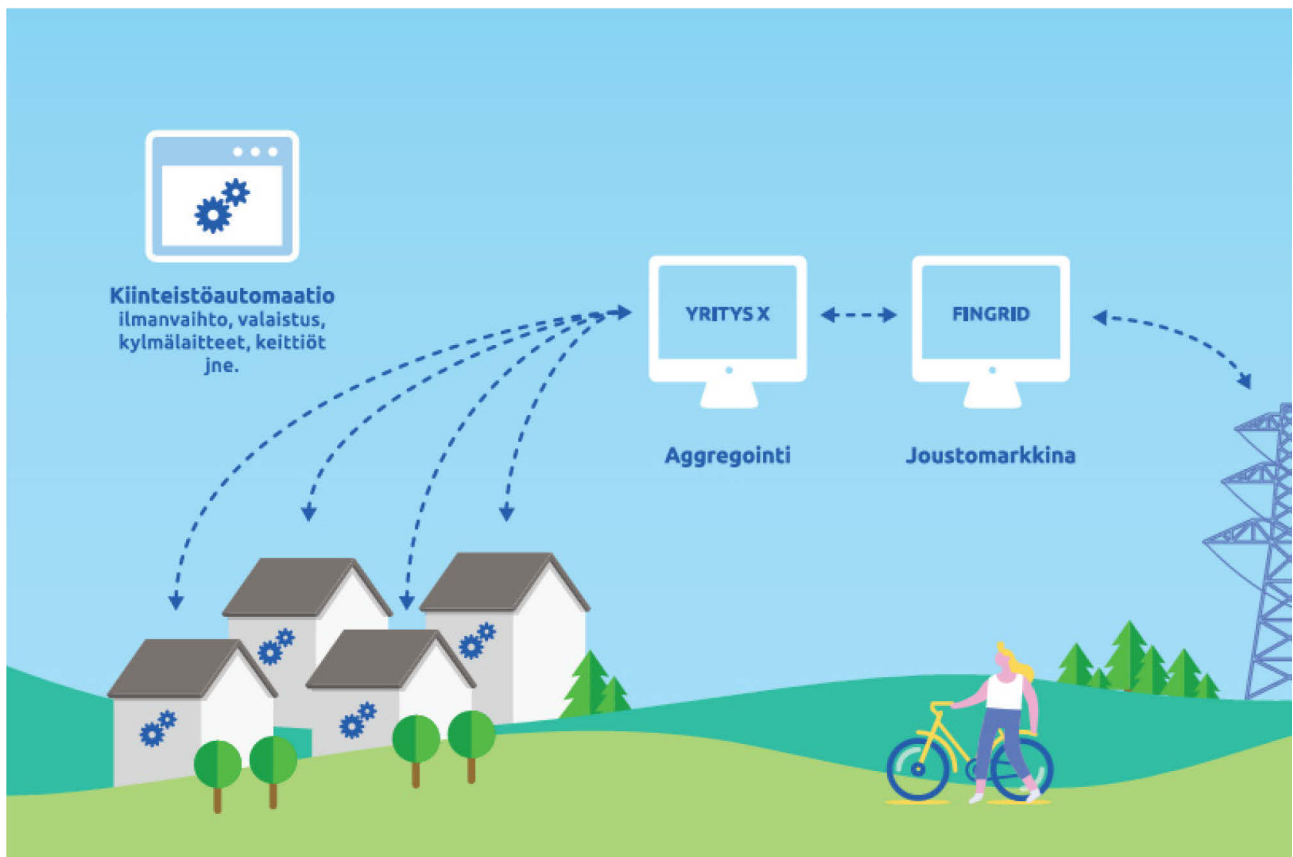
ostaa automaattisesti tapahtuvassa kaupassa lisää sähköä verkonhaltijalta. Silloin sähkön myyjä voidaan velvoittaa maksamaan verkonhaltijalle tase-erosta ja sähköverkon palauttamisesta normaalitilaan aiheutetun kustannukset verkonhaltijalle. (Tasepalvelut n.d.).

Taseen tasaamiseksi käytettävää sähköä kutsutaan tasesähköksi. Tasesähkön hinta kannustaa markkinoiden osapuolia arvioimaan mahdollisimman tarkasti tuotantoaan ja kulutustaan ja olla näin aiheuttamatta sähköverkon epätasapainoa. Taseen ero hoidetaan tasehallinnalla. Tasehallintaa tapahtuu luvussa 4.2 käsitellyillä reservituotteilla eli tasehallinnassa tarvittavat reservit aktivoituvat sähköverkon taajuuden palauttamiseksi 50 Hz:n taajuuteen. Suomessa tasevastaavan roolissa toimii Fingrid. Pohjoismaisten kantaverkkoyhtiöiden omistama eSett puolestaan hoitaa taseselvityksen Pohjoismaiden tasevastaavasta eli mukaan lukien Fingridistä. (Tasepalvelut n.d.).

#### **4.4 Aggregaattorit**

Kysyntäjoustoos osallistumisella tavallinen kuluttaja haluaa yleensä kulutuksen optimoinnin kautta säästää sähkölaskussaan. Osallistuessaan reservimarkkinoille kuluttajalle on tämän lisäksi tarjolla mahdollisuus saada joustostaan hyvitystä kantaverkkoyhtiö Fingridiltä. Yksittäisen kotitalouden kysyntäjoustopotentiaali on kuitenkin liian pieni täyttääkseen Fingridin minimivaatimusta reservimarkkinoille osallistumista varten.

Aggregointiyritys toimii markkinaosapuolena, joka kuvion 6 mukaisesti yhdistää pienet sähkön kulutus-, tuotanto- ja varastointitoimijat yhdeksi kokonaisuudeksi, jota kutsutaan virtuaalivoimalaitokseksi. Kyseinen virtuaalivoimalaitos pystyy kokonsa ansiosta osallistumaan reservimarkkinoille. Virtuaalivoimalaitoksella säädetään ainoastaan sähkön kulutusta. Energiajärjestelmän kannalta ei ole keskeistä eroa kulutuksen vähentämisellä ja tuotannon lisäämisellä – vaikutus sähköverkon tasapainottamiseen on sama (Määttä, Berg, Härkönen & Kangastie 2020). Sähköä tuottava tai varastoiva kohde pystyy osallistumaan reservimarkkinoille perinteisenä voimalaitoksena. Aggregoinnin toimintamalli vastaa jo aikaisemmin käytyjä kysyntäjousto toteutusmalleja: kulutushuippujen ja korkeiden hintojen aikana aggregointipiiriin kuuluvien asiakkaiden kulutusta vähennetään ja yli-tuotannon ja matalien hintojen aikana kulutusta vastaavasti lisätään (Pahkala, Uimonen & Väre 2018, 17).



Kuvio 6. Aggregointi käytännössä (Määttä ym. 2020)

Aggregointi voi tapahtua taseketjun sisällä. Silloin aggregaattorin roolissa on sähkönmyyjä ja/tai tasevastaava. Taseketjun sisällä tapahtuvaa aggregointia saa harjoittaa kaikilla sähkömarkkinapaikoilla. Perinteisen toimitusketjun ulkopuolella tapahtuvaa aggregointia kutsutaan itsenäiseksi aggregoinniksi. Itsenäisen aggregaattorin ei tarvitse olla missään sidoksissa asiakkaansa sähköyhtiöön tai tasevastaavaan. Tällä hetkellä itsenäinen aggregointi ei ole sallittu kaikilla sähkömarkkinapaikoilla. Sallittuja sähkömarkkinapaikkoja ovat FCR-N, FCR-D, FFR-markkinat sekä aFRR-kapasiteettimarkkinoilla on tällä hetkellä käytössä itsenäisen aggregoinnin väliaikainen malli, joka muuttuneen vuonna 2024 EU-tasolla valmisteilla olevan verkkosäännön myötä. Tämä johtuu siitä, että itsenäisen aggregaattorin ohjaus saattaa vaikuttaa muiden markkinaosapuolien taseisiin. Siksi itsenäinen aggregointi on tällä hetkellä sallittu vain niillä sähkömarkkinapaikoilla, joissa ohjauksen vaikutus muiden markkinaosapuolien taseisiin on pieni. (Itsenäinen aggregointi 2023).

Itsenäistä aggregointia koskevien selkeiden sääntöjen puute vaikeutti tasevirheen selvittämistä. Tänä vuonna hyväksytty Laki sähkömarkkinan muuttamisesta (ks. L 497/2023) kuitenkin velvoittaa

itsenäistä aggregointia harjoittavaa yritystä korvaamaan kysyntäjoustop aktivoinnista aiheutetut kustannukset ja tasepoikkeama. Kustannuskorvauksesta käytetään nimitystä energiakorvaus ja tasepoikkeaman oikaisua kutsutaan energiakorjaukseksi. Jatkossa itsenäinen aggregaattori on velvollinen korvaamaan energiakorjauksesta ja -korvauksesta aiheutuneet kustannukset asiakkaansa avoimelle toimijalle tai tasevastaavalle. Tämän lisäksi EU-tasolla parhaillaan valmisteilla kysyntäjoustopa koskevassa verkkosäännössä tullaan määrittämään tarkemmin itsenäisen aggregoinnin toimintamalleja ja ehtoja markkinoille pääsystä. Kyseinen verkkosääntö mahdollistaa tulevaisuudessa itsenäisen aggregoinnin harjoittamista kaikilla sähkömarkkinapaikoilla. (Itsenäinen aggregointi n.d.).

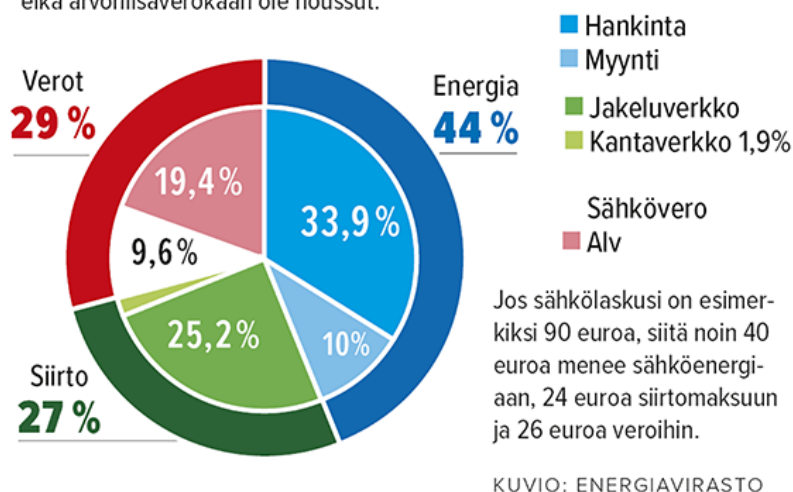
#### **4.5 Hinnan muodostuminen**

Sähkön hinta koostuu kolmesta osasta: energiahinnasta, siirto hinnasta ja veroista. Aikaisemmin kyseiset osat muodostivat jokainen noin kolmanneksen sähkön hinnasta (Sähkön ostaminen n.d.). Useamman lähteen mukaan energiahinnan osuus on kuitenkin kasvanut 40 %:iin. Mikael Kirkko-Jaakkola (2022) viittaa omassa artikkelissaan Energiavirastolta peräisin olevan kuvioon, jossa energiahinnan osuus on jo 44 %:a. Kyseistä kuviota käytetään myös opinnäytetyön lähteenä, sillä se on kaikista löydetyistä lähteistä uusin ja luotettavin. Hintojen osuudet saattavat vaihdella, mutta tarkkojen prosenttien määrittämistä tärkeämpi on kuitenkin ymmärtää mistä sähkön hinta tarkalleen muodostuu.

## SÄHKÖN HINTA

Kotitalouskäyttäjä, kulutus 5 000 kWh/v, 1.1.2022

Sähkön kallistuminen on kasvattanut energian osuutta kuluttajan sähkölaskusta. Sähkövero on pysynyt ennallaan vuodesta 2015, eikä arvonlisäverokaan ole noussut.



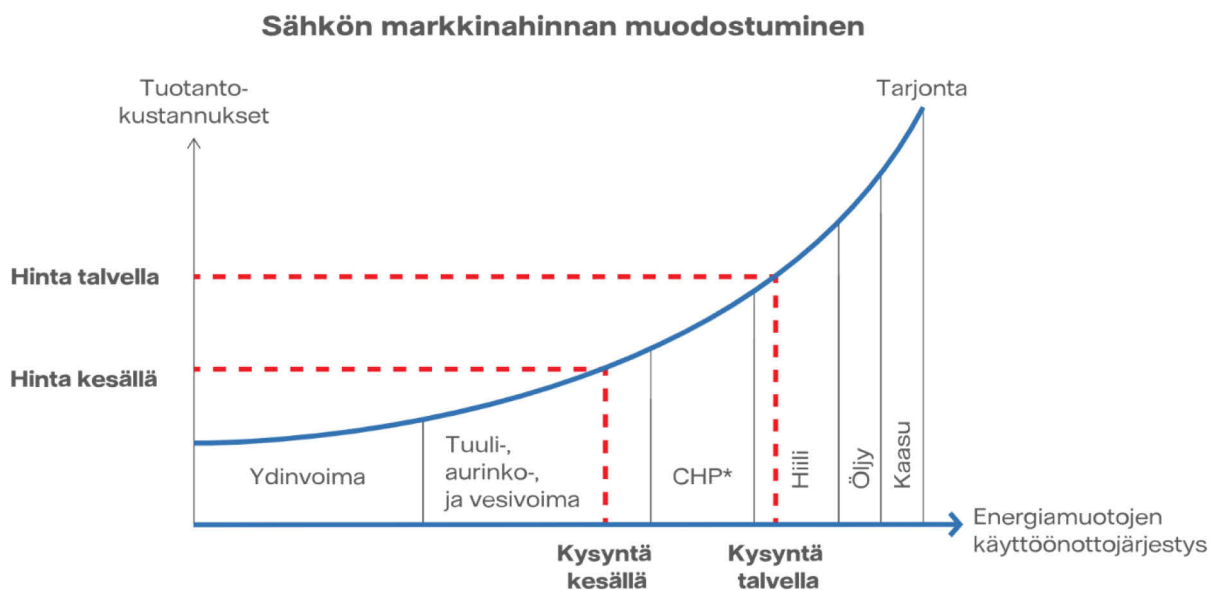
Kuvio 7. Sähkön hinta (Kirkko-Jaakkola 2022)

Kuviosta 7 nähdään, että energiahinta koostuu hankinnasta eli itse sähköstä ja myynnistä, mihin kuuluu esimerkiksi mainostaminen. Kuluttaja voi suoraan vaikuttaa sähkölaskunsa määrään kilpailuttamalla oman sähkösopimuksensa ja valitsemalla mieluisamman markkinatuotteen. Tämä voi esimerkiksi olla yleissähkösopimus, jossa kulutusmaksu on kiinteä vuorokauden jokaisella hetkellä vuodenaikasta riippumatta tai aikasähkösopimus, jossa yö sähkö on yleensä halvempaa ja siksi edullisempaa. (Sähkön ostaminen n.d.).

Siirtohintaa aiheuttaa sähkön toimittamisesta sähkövoimalaitokselta kuluttajalle. Kuviossa 7 on osoitettu, että suurin osa siirto hinnasta kuuluu jakeluverkolle ja pieni loppuosa kantaverkolle. Siirto hintaan sisältyy sähkön toimittamisen lisäksi kulutuksen mittaus sekä taseselvityksestä aiheutuvat kulut. Siirto hinnasta tulevaa osuutta käytetään mm. sähköverkon ylläpito- ja huoltokuluihin. Koska siirtohinnan kilpailuttaminen ei ole mahdollista, Energiavirasto on vastuussa hintatason seuraamisesta. Hinnan nousujen jarrumekanismina toimii ns. korotuskatto, joka kieltää hinnan nostamista yli 15 %:lla edellisen 12 kuukauden maksuihin verrattuna. (Sähkön ostaminen n.d.).

Vero-osuus koostuu sähköverosta ja arvonlisäverosta. Sähköveroon kuuluu huoltovarmuusmaksu sekä valmistevero (Sähkön ostaminen n.d.). Toisin kuin kuvio 7 antaa ymmärtää, arvonlisävero on tyypillisesti sisällytetty sähköveroon. Sähköveroluokkia on kaksi. Tavalliset kuluttajat kuuluvat ensisijaisesti Sähköveroluokka 1:een. Vuonna 2022 Sähköveroluokka 1 aiheutti arvonlisävero sisällytettynä 2,253 senttiä suuruisen maksun kilowattitunnilta. Kyseiseen veroon sisältyy energiavero 2,24 snt/kWh ja huoltovarmuusmaksu 0,013 snt/kWh (ks. L 503/2010, 2 §). Sähköveroluokka 2:een kuuluu pääasiassa vain suuren kulutuksen kohteita, kuten teollisuuslaitokset ja ammattimainen kasvihuoneviljely.

Sähköpörssistä sähkönsä ostavan kuluttajan täytyy ottaa huomioon, että spot-sähkölle on ominaista volatilitteetti eli hinnan vaihtelevuus. Kysyntä ja tarjonta vaikuttavat sähkön hintaan jatkuvasti, mutta varsinkin talvella täyttääkseen kuluttajien lämmitystarpeita on otettava käyttöön kallimmat sähköntuotantomuodot, mikä jo valmiiksi korkean kysynnän lisäksi kasvattaa sähkön markkinahintaa entisestään, kuten kuvio 8 käy ilmi. (Sähkön hinta ja hiilijalanjälki kulkevat käsi kädessä n.d.).



Kuvio 8. Sähkön markkinahinnan muodostuminen (Sähkön hinta ja hiilijalanjälki kulkevat käsi kädessä n.d.)

Uutena ilmiönä monen verkkoyhtiön sähkölaskuun on tullut tehomaksu. Yksinkertaisesti selitettynä tehomaksu kannustaa kuluttajia huomioimaan paitsi kuluttamansa sähköenergian määrän,

myös tehon. Idean takana on halu vähentää yleensä aamuisin ja iltaisin syntyviä kulutuspiikkejä, jotka kuormittavat sähköjärjestelmää. Mitä tasaisemmin kuluttaja jakaa sähkönsä käyttöä, sitä pienempi tehomaksu tulee hänen osaltaan olemaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kiuasta, pesukonetta tai koko ajan yleistymässä olevaa sähköauton latausta ei pidettäisi samanaikaisesti päällä. (Koistinen 2017).

## 5 Toteutus

Edellisessä luvussa käytiin kattavasti läpi sähkömarkkinarakennetta ja kantaverkkoyhtiö Fingridin roolia niissä. Näin kävi ilmi, että kantaverkon näkökulmasta kysyntäjoustoja tarvitaan ensisijaisesti kantaverkon tasapainottamista varten. Kuluttajan näkökulmasta kysyntäjoustoilla tavoitellaan säästöä sähkölaskussa. Kotitalouksissa kysyntäjoustopotentialia piilee sähkönlämmitys- ja muotojen optimoinnilla. Siksi tässä luvussa käydään läpi erilaisia sähkönlämmityksen ohjaukseen soveltuvia ratkaisuja. Kysyntäjoustoja voi kuitenkin osallistua paitsi kulutuksensa hillitsemisellä ja ohjauksella, myös omien sähkötuotteiden myynnillä reservimarkkinoille. Osallistuakseen kysyntäjoustoja reservituotteiden toimittajana, tavallisen kuluttajan täytyy kuitenkin osallistua aggregointiin, josta kerrottiin tarkemmin luvussa 4.4. Kysyntäjoustoja osallistuminen vaatii yleensä alkuinvestointeja, jotka kuitenkin maksavat itsensä takaisin mahdollisesti hyvinkin nopeasti. Lisäksi kuluttajalla on oltava etäluettava sähkömittari eli AMR-mittari, mikä on nykyään pakollinen (ks. A 66/2009) ja mikä löytyy yli 99 %:ssa kotitalouksista.

### 5.1 SLY-kytkentä

SLY-kytkentä perustuu vuonna 1986 julkaistuun ja vuonna 1992 uusittuun Sähkölaitosyhdistyksen tekemään suositukseen. Ennen suosituksen voimaantuloa, sähköyhtiöiden ohjeet vaihtelivat välillä huomattavasti. Suosituksen myötä sähköyhtiökohtaisia ohjeita yhdenmukaistettiin ja sitä kautta markkinoille ovat ilmestyneet SLY-kytkentää mahdollistavat vakiokeskukset. Tällaisissa keskuksissa lämmitysryhmät ovat erillään muista ryhmistä, mikä mahdollistaa nimenomaan lämmityksen ohjauksen. Ohjaus tapahtuu keskuksessa sijaitsevien aikaohjaus- ja tehonrajoitusreleiden avulla. SLY-kytkennällä kuluttaja pystyi rajoittamaan huipputehonsa, mikä oli oiva säästämiskeino, sillä ennen sähkömarkkinoiden avautumista sähköhintaa määrätty edellisvuoden huipputehon perusteella. (Koponen 2022).

SLY-kytkennän avulla kuluttaja pystyy rajoittamaan huipputehoa releohjauksen kautta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että paljon sähköenergiaa kuluttavat laitteet eivät ole samanaikaisesti päällä. Huipputehon rajoittaminen toteutetaan ristikytkennällä: kun kiuas laitetaan päälle, menee samanaikaisesti sähkölämmitys pois päältä. Jatkuvatoimisia lämmityskohteita varten on olemassa tehorajoitustoiminnolla varustetut vakiokeskukset, joissa lämmitysryhmät kytketään tehonrajoitusreleen taakse niin, että niiden tehoa pystyy rajoittamaan  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{2}{3}$  kokonaistehosta tai kytkeä tarvittaessa kokonaan pois. Tällainen keskus huolehtii siitä, että hetkittäinen kokonaisteho on tasainen eli kiukaan tai lämminvesivaraajan päälle kytkeminen ei aiheuta huipputehon kasvua. (Harsia 2015).

Suomessa hyvin suosittu aikasähkötariffi toteutetaan myös SLY-kytkennällä. Aikasähkötariffissa päivä- ja yösähkö ovat erihintaisia, yösähkö on päiväsähköä halvempaa. Kuluttaja voi hyötyä yö-sähkön halvemmasta hinnasta esimerkiksi laittamalla lämminvesivaraaja tai muu varaava lämmitys aikaohjausreleen taakse, jolloin lämmitys menee päälle kello 22–7 välisenä aikana. Aikasähkötariffeja suosivia kuluttajia varten laitevalmistajat ovat valmistaneet myös omat vakiokeskuksensa. Varaava lämmitys antaa hyvät mahdollisuudet osallistua kysyntäjoustoon, sillä kulutusta siirretään huipputunneilta pois tinkimättä kuluttajan mukavuudesta. (Harsia 2015).



Kuvio 9. SLY 1.3 kytkentäsovite (Asennustuotteet n.d.)

SLY-kytkentä ei vaadi kuluttajalta isoja investointeja. Monesta kotitaloudesta tällainen kytkentämahdollisuus on jo valmiiksi olemassa (Koponen 2022). Ellei löydy, kuviossa 9 esitetty DIN-kiskoon asennettava valmiiksi johdotettu kytkentäsovite maksaa 183,00 € + sähköasentajan asennuskulut. Toisaalta tällainen ratkaisu ei myöskään tuota isoja säästöjä. Sähköpörssiin osallistuessa SLY-kytkennällä ei ole juurikaan käytännön hyötyä, sillä se ei huomioi millään tavalla spot-sähkön hintatasoa. SLY-kytkentä ei myöskään huomio sähköverkon huipputehon piikkejä ja täten se ei osaltaan voi vaikuttaa kysyntäjouston osallistumalla sähköverkon tasapainottamiseen.

## 5.2 AMR-mittarit

Automatic meter reading eli AMR-mittari on etäisesti sähkön kulutusta seuraava mittari. Suomessa etäluettavat sähkömittarit on otettu maailmanlaajuisesti ensimmäisten joukossa käyttöön. Ensimmäiset mittarit asennettiin vuonna 2000 ja maanlaajuinen siirtyminen tapahtui vuosina 2009–2013 Valtioneuvoston vuonna 2009 tekemän asetuksen myötä (ks. A 66/2009). Kyseisen asetuksen myötä Suomessa käyttöön otetut ensimmäisen sukupolven AMR-mittarit kykenevät mittaamaan sähkön kulutusta tunnin välein. (Sähkömittari 2018). Nämä etäluettavat mittarit mahdollistivat suomalaisten loppukäyttäjien osallistumisen sähköpörssiin ensimmäisinä Euroopassa.

Ensimmäisen sukupolven AMR-mittareiden myötä kuluttajalle muodostui mahdollisuus kysyntäjouston toteutukseen sähköpörssiin osallistumisen kautta. Toisaalta AMR-mittarien avulla on melko mahdotonta osallistua kysyntäjouston reservimarkkinoiden kautta, sillä reservien aktivointisajat vaihtelevat alle sekunnista viiteentoista minuuttiin, mikä on liian lyhyt aika nykyisille tunnin välein kulutusta mittaaville AMR-mittareille. Alueen jakeluverkonhaltijalla on velvollisuus huolehtia etäluettavien mittarien hankinnasta asiakkailleen. Mittari rekisteröi kulutuksen tunneittain, minkä jälkeen nämä tiedot lähetetään etäyhteydellä jakeluverkonhaltijalle. Näistä tiedoista saadaan energiahinnan osuus selville, mitä käytetään lopullisen sähkölaskun muodostamiseen. (Järventausta, Repo, Trygg, Rautiainen, Mutanen, Lummi, Supponen, Heljo, Sorri, Harsia, Honkiniemi, Kallioharju, Piikkilä, Luoma, Partanen, Honkapuro, Valtonen, Tuunanen & Belonogova 2015).

AMR-mittari on tähän asti mitannut sähkön kulutusta tunnin välein ja lähettänyt tiedot sähköyhtiölle kerran vuorokaudessa (Mittarikiertue n.d.). Suomessa otettiin 22.5.2023 niin kutsuttu varttise käyttöön (ks. A 767/2021). Tästä edes mittareiden on kyettävä mittaamaan sähkön kulutusta ja

lähettämään tiedot sähköyhtiölle 15 minuutin välein. Varttitaseella reagoidaan uuteen tuotantorakenteeseen, jossa säästä riippuvaiset tuotannon muodot ottavat koko ajan isompaa roolia kokonaissähkötuotannossa ja säätökykyisen tuotannon osuus päinvastoin pienenee. Varttitaseella sähkömarkkinoille on tarkoitus tuoda entistä enemmän ennustettavuutta ja sitä kautta tasapainoa sähköverkkoomme. (Varttitaseen käyttöönotto 2023). Ensimmäiset asennetut AMR-mittarit myös rupeavat olemaan käyttökänsä loppumetreillä, sillä näiden mittareiden käyttöikäksi on arvioitu 15 vuotta (Sähkömittari 2018).

Näitä haasteita on tarkoitus ratkaista uuden sukupolven AMR-mittareilla, joista käytetään myös nimitystä AMR 2.0. Vaikka itse AMR-mittarin vaihto sähköyhtiön toimesta on täysin ilmaista, asennuksesta ja hankinnasta aiheutuvat kulut voivat jäädä asiakkaan harteille. ” Investointimme maksaa lopulta asiakas”, toteaa Turku Energian verkkopalvelupäällikkö Jari Mustaparta (Termonen 2023). Näin sähkömittarin hinta, joka on 200–570 € riippuen sähkömittarin nimellisvirrasta, vaikuttaa asiakkaan lopulliseen sähkölaskuun (Verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016–2023 n.d.).

Kysyntäjoustomallissa AMR-mittari ohjaa kuormaa päälle/pois tai toimittaa reletiedon automaattikalle, mikä puolestaan ohjaa kuormaa. Tähän asti kysyntäjoustop toteutusta varten on riittänyt ensimmäisen sukupolven mittari, sillä sen tunnin mittausjakso mahdollisti Elspot-markkinoiden tunti-kohtaisten tuotteiden hankinnan. Lähivuosina Elspot-markkinoille osallistuminen tulee vaatimaan toisen sukupolven AMR-mittarin, kun varttitaseen mukana markkinoille tulee varttikohtaiset tuotteet. Elbas-markkinoille osallistumisessa tulee tulevaisuudessakin olemaan haasteita, sillä näillä markkinoilla toimitus voidaan toteuttaa jopa heti sopimuksen tapahduttua. Toisaalta isossa osassa Elbas-markkinoiden tuotteista toimitus tapahtuu 15–30 minuutin päästä sopimuksesta, joten uudet mittarit mahdollistavat siltä osin Elbas-markkinoille osallistumisen. Kysyntäjoustop osallistuva kuluttaja saattaa haluta kulutuksen optimoinnin lisäksi myydä tuotettua sähkönsä markkinoille. Tällaiset pientuottajat tarvitsevat mittareita, mitkä kykenevät mittaamaan paitsi kulutetun, myös tuotetun sähkön määrää.

### **5.3 Automaatoratkaisut**

Vaikka ensimmäiset kysyntäjoustop ratkaisut ilmestyivät markkinoille jo yli kymmenen vuotta sitten, tavallisen kuluttajan näkökulmasta on edelleen haasteellista löytää kotiautomaatoratkaisua kysyntäjoustop toteuttamiselle. Tutkittuani aikaisempia kysyntäjoustop tehtyjä opinnäytetöitä

huomasin, että moni ratkaisun tarjoaja on suhteellisen lyhyessä ajassa jättänyt markkinat. There Corporation on siitä hyvä esimerkki. Kyseinen yritys oli aikoinaan ainoa, jonka ratkaisu perustui säännusteen sekä spot-sähkön hintojen reaaliaikaiseen seuraamiseen ja pystyi automaattisesti sopeuttamaan kodin sähkönkulutusta kytkemällä lämmityksen pois hintojen ollessa korkealla tai päinvastoin osti sähköä, kun se oli markkinoilla halvimmillaan (Puikkonen 2016). Nyt kyseisestä yrityksestä ei löydy juurikaan mitään tietoa. Fortum Fiksu, mikä mahdollisti lämmityksen optimoinnin erikseen asennettavalla ohjausyksiköllään, poistui valikoimasta ja asiakkaita pyydetään ottamaan yhteyttä asiakaspalveluun vanhojen Fiksu-laitteiden asennuksen purkamista varten (Fortum Fiksu - palvelu on poistunut valikoimasta 2020). On myös yrityksiä, jotka ovat mukana markkinoilla tarjoamassa kysyntäjoustoon soveltuvia automaattioratkaisuja, mutta eivät esitä tuotteitaan ja ratkaisujaan tai pyytävät ottamaan yhteyttä tilanteen arvioimiseksi. Tämä hankaloittaa entisestään toimivan ratkaisun löytämisen jo valmiiksi suppeilla markkinoilla.

### 5.3.1 Cozify ION

Cozify on vuonna 2013 perustettu suomalainen yritys, joka pyrkii älyteknologiallaan parantamaan kodin energiatehokkuutta, turvallisuutta ja viihtyisyyttä. Cozifyn avulla on siis mahdollista toteuttaa erilaisia älykotiratkaisuja, mutta opinnäytetyössä keskitytään vain kysyntäjoustoa mahdollistaaviin ratkaisuihin. Cozifyn toiminta perustuu siihen, että se yhdistää kodin langattomia älylaitteita yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi Cozify-älykotiohjaimensa avulla. Cozify kutsuu älykotiohjaimensa älyhubiksi ja markkinoilla on tällä hetkellä tarjolla kolme versiota Cozify-älyhubista: Cozify ION, Cozify ZEN ja Cozify DIN. Cozify tukee keskeisimmät langattomat älykotitekniikat, joiden joukossa ovat: 433MHz, 868MHz, Zigbee ja Z-Wave. (Cozify n.d.).

Kuviossa 10 esitetty Cozify ION on vuonna 2021 markkinoille ilmestynyt älykotiohjain, mikä korvasi edeltäjänsä Cozify HUBin (Uusi kuluttajille suunnattu älykotiohjain - Cozify ION 2021). Cozify ION erottuu kilpailijoista sillä, että se on itseasennettava järjestelmä. Älyreleen kaltaisten, sähkökaappiin asennettavien komponenttien asennukseen tarvitaan kuitenkin sähköasentaja. Älyhubiin yhdistettyjä laitteita ohjataan Cozify-älypuhelinsovelluksen avulla. (Mikä on Cozify ION n.d.).



Kuvio 10. Cozify ION -älykotiohjain (Cozify n.d.)

Kulutusjouston toteuttamiseksi erilaiset kodin lämmitysratkaisut vaativat älyhubin lisäksi älylaitteita, joiden avulla lämmityksen kuluva sähköenergiaa säädetään. Cozify ION hinta on 299,00 €, jonka lisäksi käyttäjän on hankittava Cozify ION Premium -palvelu, jonka kuukausimaksu on 9,90 €, jolloin sähkölaitteiden ohjaus spot-hintojen perusteella tulee mahdolliseksi. Alla on lueteltu eri lämmitysratkaisujen vaatimat lisälaitteet sekä niiden hinta-arvio marraskuussa 2023:

- Lämminvesivaraaja: älypistoke tai älyrele hinta-arvio 39,90–79,90 €
- Sähkölattialämmitys: älyrele tai älyrelepakka hinta-arvio 79,90–490,00 €
- Maa- ja ilma-/vesilämpöpumput: tuettu I/O relepakka tai potentiaalivapaa releohjain hinta-arvio 62,00–490,00 €
- Vesikiertoinen patterilämmitys: tuettu langaton patteritermostaatti hinta-arvio 79,99 €
- Sähköpatterilämmitys: älypistoke hinta-arvio 39,90 €
- Ilmalämpöpumppu: Airpatrol -älylaite ilmalämpöpumpun yhteyden muodostamiseksi hinta-arvio 199,00 €

(Pörssisähkön säästövinkeillä talvelle 2023)

Cozify tukee monen älylaitevalmistajan, kuten Airpatrol, Danfoss, Develco, Osram, Philips ja muiden tuotteita. Tarkka tuettujen laitteiden lista löytyy Cozifyn viralliselta verkkosivulta. Suuri hinta-arvion marginaali tietyissä lämmitysratkaisuissa perustuu käytettävään laitteeseen. Näin sähkölattialämmitys isossa omakotitalossa tulee todennäköisesti vaatimaan edullisen älyreleen sijasta älyrelepakkaa. Monessa kodissa sähkölattialämmitys on toteutettu vain kylpyhuoneessa, jolloin pärjää yksittäisellä älyreleellä.

Spot-hintojen ollessa vuorokauden halvimmalla tasolla, älyhubi aktivoi On/Off-laitteille määritetyt ns. säännöt. Laitteet, kuten lämminvesivaraaja tai älypistoke kytketään päälle säännössä määritetyn ajanjakson ajaksi. Sääntöjen lisäksi älyhubi aktivoi teemat. Tällä tarkoitetaan sitä, että laitetta, kuten termostaattia, ei ohjata päälle tai pois, vaan sitä ohjataan tarkempiin asetuksiin ja tiloihin. Cozifyn avulla on ohjattavissa myös kärkitiedolla hallittavat laitteet, kuten ilmanvaihtokone. (Ohjaa laitteita pörssisähkön hinnan mukaan n.d.).

Cozify ZEN on ensisijaisesti isoimmille kiinteistöille suunnattu ratkaisu ja Cozify DIN on sen DIN-kiskoon asennettava vaihtoehto. Näitä vaihtoehtoja ei käydy tarkemmin läpi, koska ne ovat rakennuttajille eikä niinkään tavallisille käyttäjille suunnattuja vaihtoehtoja. Kodin lämmitysratkaisussa vesikiertoista lattialämmitystä on kuitenkin mahdollista säädellä tuettua ohjainta ammattilais-älyhubin eli ZEN- tai DIN-version avulla (Pörssisähkön säästövinkit talvelle 2023).

### **5.3.2 OptiWatti**

OptiWatti Oy on lämmönsäätöratkaisuja valmistava suomalainen kasvuyritys. OptiWatin avulla huonekohtaisen lämmityksen optimointi tapahtuu helposti ja älykkäästi. Juha Marjeta halusi saada kotinsa lämmitys hallintaan. Markkinoilta kuitenkin puuttui sopiva ratkaisu. Kehitettyään toimivan ratkaisun, Marjeta perusti OptiWatin vuonna 2013. Yritys väittää, että OptiWatin avulla lämmityskuluissa on mahdollista säästää jopa 40 %:a. (Mikä on OptiWatti n.d.).

Optiwatti on langaton automaatiojärjestelmä. OptiWatin asennus ei vaadi suuria remonttia tai uusia johdotuksia, sillä sen asennus tapahtuu nykyisen lämmitysjärjestelmän rinnalle. OptiWatti sopii minkä tahansa sähkölämmitysratkaisun, kuten sähköpattereiden, lattia- ja kattolämmityksen, ilmalämpöpumppujen ja lämmitysvesivaraajien ohjaukseen. Auton lämmitystä on myös mahdollista

säätää järjestelmän avulla. Tämän lisäksi OptiWattia on mahdollista asentaa vesikiertoisesti lämmitettäviin kotitalouksiin. OptiWatin ohjaus ja säätö tapahtuu älypuhelimien, tabletin tai tietokoneen kautta eli järjestelmä on ohjattavissa myös etänä. Käyttäjällä on viikko-ohjelman avulla ohjattavissa tunnin tarkkuudella erikseen jokainen huone, jossa Optiwatti on asennettu. OptiWatti huomioi ohjauksessaan ulkolämpötilaa, sääennustetta ja pörssisähkösopimus asiakkaiden kohdalla spot-sähkön tuntihinnat. Järjestelmä on samalla itsekehittyvä, sillä se huomioi säätöalgoritmiensa tekemisessä, kuinka huone reagoi lämpötilamuutokseen. (OptiWatti käyttöohje 2023).

Peruslaitteisto koostuu seuraavista osista:

- Keskusyksikkö: lämmityksen ohjaus ja yhteys käyttöliittymään verkon kautta
- Releet: lämmityslaitteiden ohjaus
- Anturit: ohjattavien huoneiden lämpötilan ja ilmankosteuden mittaus

Lisäominaisuuksia ovat:

- Ilmalämpöpumpun ohjaus
- Lämminvesivaraajan ohjaus
- Vesivuodon tunnistus
- Autolämmityksen ohjaus
- CO2 raportointi
- Tuotetun energian raportointi ja ohjaus



Kuvio 11. OptiWatti laitteisto (Nurmi 2016)

Kuvion 11 vasemmassa reunassa nähdään lämpötila- ja kosteusanturi, keskellä lämmityslaitteen yhteyteen asennettava ohjain ja oikeassa reunassa keskusyksikkö. Laitteet kommunikoivat keskenään käyttäen 868 MHz:n taajuuden radiotekniikkaa. Isoissa kiinteistöissä on mahdollista asentaa vahvistin signaalin riittävyyden varmistamiseksi. Säätoalgoritmin toiminta vaatii internet yhteyden. Yhteyden katketessa, järjestelmä suorittaa ohjuksen keskusyksikköön viimeksi tallennetun ohjelman mukaan. Viikko-ohjelman ohjaukseen ja säätöön käytettävä OptiWatti-sovellus on ladattavissa Android, iOS ja Microsoft-mobiililaitteille, minkä lisäksi järjestelmän ohjauksen ja säädön voi toteuttaa osoitteessa [oma.optiwatti.fi](http://oma.optiwatti.fi). Sovelluksesta on tämän lisäksi saatavilla tieto huonekohtaisesta kosteudesta, hiilidioksidimäärästä sekä energian kulutuksesta. (Mikä on OptiWatti n.d.). Kotitalouteen, jossa on 4 ohjattavaa huonetta, järjestelmän asennuksen hinta on minimissään 480 € tai 960 € ilman kotitalousvähennystä ja kuukausimaksu 19,90 €. Hinnat nousevat huonemäärän kasvaessa. Hintaan lisätään myös asentajan matkakulut ja mahdolliset lisätyöt. (OptiWatin hinnat kotitalouksille 2022).

OptiWatti tarjoaa lämmönsäätöratkaisujensa lisäksi aurinkosähkön ohjausjärjestelmää, mikä on nimeltään OptiWatti Solar. Se on älykäs ohjausjärjestelmä, joka pyrkii saavuttamaan maksimaalisen hyödyn aurinkosähkön tuotannosta, kulutuksesta ja varastoinnista. Järjestelmä ohjaa aurinkopaneeleilla tuotettua ylituotantosähköä käyttäjän ennalta määritettyihin kohteisiin määritetyssä järjestyksessä. Näin ylituotantoa voidaan ohjata esimerkiksi lämminvesivaraajalle ja seuraavaksi lattialämmitykseen. Spot-sähkön hintojen ollessa korkealla, järjestelmä voi ohjata ylituotantoa myytäväksi, joten OptiWatti Solar mahdollistaa aurinkopaneelien omistajien osallistumista kysyntäjoustoon myös siltä osin. Aurinkopaneelit vähentävät ostosähkön tarvetta ja aurinkosähkön ohjausjärjestelmä tekee tuotetun energian hyödyntämisestä entistä helpompaa. Yhdessä OptiWatin lämmönsäätöratkaisujen avulla OptiWatti Solar muodostaa kotiin helppokäyttöisen sähköenergiaa ohjaavan kokonaisratkaisun. (Mikä on OptiWatti n.d.)

### 5.3.3 Themo

Themo on virolais-suomalainen cleantech eli puhtaan teknologian startup yritys, joka tuo markkinoille älykkäitä ratkaisuja sähköenergian säästämiseksi. Themo Älytermostaatti ja Themo DIN ovat suunnattu kuluttajille, kun taas Themo Energiansäästö -palvelu on tarkoitettu kiinteistöomistajille. Themon perusti vuonna 2014 kolme virolaista veljestä Priit, Märt ja Madis Uuemaa. Priit huomasi miten tehotonta eri laitteiden sähkönkulutus oli ja halusi tuoda tähän muutoksen. Lattialämmityksen optimoinnilla Themo lupaa jopa 32 % säästöt pörssisähkösopimuksen omistajille. (Themo yrityksenä n.d.).

Themon kuluttajille tarjoama päätuote on Themo Älytermostaatti, joka säätelee lattialämmitystä. Vaihtoehtoisesti se pystyy säätelemään myös kattolämmitystä. Termostaatin toiminta perustuu Themon kehittämään älykkääseen algoritmiin, joka osaa huomioida lämmitettävän huoneen ominaisuudet. Algoritmi mm. oppii, kauanko lattian lämmittämiseen kuluu aikaa ja kauanko lämpötila säilyy lämmityksen jälkeen lämmitystä lisäämättä. Tämän lisäksi Älytermostaatti osaa ottaa huomioon sääennustuksen ja optimoi sitä kautta lämmitysaikataulunsa. Themo Älytermostaatti soveltuu niin pörssisähkö- kuin kiinteään sähkösopimuksen asiakkaille. (Themo Älytermostaatti n.d.).

Älytermostaattia ohjataan Themo-sovelluksen kautta, jossa voi manuaalisesti säätää lämmitysaikatauluja ja seurata lämmitykseen kuluvia kustannuksia sekä määrittää pörssisähkön ylähintarajaa.

Älytermostaatti ei siis vaadi jatkuvaa käyttäjän ohjausta, vaan se säätelee toimintaansa älyalgoritminsa avulla itsenäisesti. Käyttäjää tarvitaan ainoastaan silloin, kun halutaan tehdä muutoksia lämmitysaikatauluun esimerkiksi lomalle lähtiessä. (Themo Älytermostaatti n.d.).

Älytermostaattiin on sisäänrakennettu mielenkiintoinen ominaisuus. Integroidulla LED-valolla se ilmoittaa kuluttajalle reaaliajassa spot-sähkön hintatasosta. Pörssisähkön hinnan ollessa edullinen, palaa vihreä valo. Vilkaisemalla Älytermostaatin suuntaan kuluttaja voi siis päätellä, onko nyt edullinen hetki käyttää muita kodin sähkölaitteita. Jokainen kodin lattialämmitteinen huone vaatii omaa Älytermostaattinsa. Yksittäisen Themon Älytermostaatin hinta on 159 €. Asennukseen tarvitaan luonnollisesti sähköasentajaa. Asennustyöt ei ole ilmoitettu erikseen, mutta asennuspalvelu on tilattavissa tuotteen kanssa ja itse asennus kestää vartin verran. (Themo Älytermostaatti n.d.).



Kuvio 12. Themo T700DIN (Themo DIN n.d.)

Uutena tuotteena markkinoille on hiljattain ilmestynyt kuviossa 12 esitetty Themo DIN, joka mahdollistaa sähkölämmityksen ohjauksen. Se on nimensä mukaisesti DIN-kiskoon asennettava säätöyksikkö, jolla voi optimoida lämminvesivaraajan, lämpöpumpun tai sähköisen lattialämmityksen toimintaa. Vaihtoehtoisesti sillä voidaan optimoida sähköauton latausta. Ohjauksen säätö perustuu jo yllä mainittuun Themon omaan älyalgoritmiin. Price Switch eli hintakytkintilassa Themo DIN seuraa pörssisähkön hintoja ja ohjaa kodin sähkölämmitystä edullisimmille tunneille. Kyseinen ominaisuus on kehitetty nimenomaan lämminvesivaraajan ja lämpöpumpun säätöä varten. Lattialämmitystermostaattitilassa toiminta on käytännössä identtinen yllä esitettyyn Themo Älytermostaattiin, erona siis laitteen asennustapa. Themo DIN ohjataan myös Themo-sovelluksen kautta, jolloin kuluttajalla on käytössä samat työkalut sähkölämmityksensä ohjaukseen kuin Themo Älytermostaattia käyttäessä. Themo DIN säätöyksikkö maksaa 199 €. (Themo DIN n.d.).

Themolla on parhaillaan menossa oman kysyntäjoustopalvelun kehittäminen, jolla yhtiö pyrkii aggregoimaan asiakkaidensa termostaatteja yhdeksi sähkökäyttäjäksi, mikä mahdollistaa tehoreserviin osallistumisen ja sitä kautta sähköverkon tasapainottamiseen (Themo vastaa energiakriisin haasteisiin keräämällä 650 000 euron rahoituksen kysyntäjoustopalvelun luomiseen 2022).

## 6 Ratkaisujen vertailu

Tässä luvussa verrataan opinnäytetyössä aikaisemmin esitetyt lämmönsäätöratkaisut. Perinteiset lämmönsäätöratkaisut verrataan keskenään, samoin tehdään automaattioratkaisuille. Lopuksi selvitetään keskeisimmät erot perinteisten lämmönsäätöratkaisujen ja automaattioratkaisujen välillä. Luvussa on tarkoitus niputtaa yhteen tieto lämmönsäätöratkaisuista ja pohtia kyseisten ratkaisuiden potentiaalia kysyntäjoustopalvelun kannalta.

### 6.1 SLY-kytkentä vs. AMR-mittarit

SLY-kytkennällä ja AMR-mittarilla tapahtuvaa lämmityksen ohjausta voidaan pitää perinteisinä keinoina kysyntäjoustopalvelun toteuttamisen kannalta. SLY-kytkentää koskeva suositus julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1986 kun termistä kysyntäjoustopalvelu ei ollut tietoaakaan ja kyseisen kytkennän tarkoituksena oli hipputehon rajoittaminen. Etäluettavat sähkömittarit eli AMR-mittarit otettiin maanlaajuisesti käyttöön 2010-luvun alkupuolella ja niiden avulla sähköyhtiö ja kuluttaja pystyy

seuraamaan sähkönkulutusta tarkasti. Samalla sähkön käytön arviolaskutus poistui ja nykyään laskutus tapahtuu AMR-mittarilla todetun kulutuksen mukaisesti (Pekkarinen 2013). Vaikka SLY-kytkentä ja AMR-mittari ovat kehitetty eri käyttötarkoituksiin, kysyntäjoustopon mahdollistajina niillä on myös yhtäläisyyksiä.

Sekä SLY-kytkentä, että AMR-mittari mahdollistavat aikasähkötariffin käyttöä. SLY-kytkennässä tämä tapahtuu laittamalla lämmitys aikaohjausreleen taakse ja asettamalla aikaohjausreleelle aikaikkunan, jolloin se kytkee lämmityksen päälle. AMR-mittarissa vastaavaa ominaisuutta kutsutaan aikavyöhykeohjaukseksi. Aikavyöhykeohjauksessa myyjä ilmoittaa jakeluverkonhaltijalle halutun aikaikkunan AMR-mittarissa sijaitsevan releen aktivoitumiselle ja jakeluverkkoyhtiö päivittää kalenteriohjelmaa, jonka jälkeen ohjaus tapahtuu automaattisesti (Asennettujen etäluettavien mittareiden hyödyntäminen kysyntäjoustopon 2017).

Sen sijaan SLY-kytkennällä ei voi toteuttaa tuntikohtaista ohjausta eli ei toisin sanoen voi hyödyntää spot-sähkön hintavaihteluja. AMR-mittarilla tuntipohjainen ohjaus tapahtuu aivan kuten aikavyöhykeohjauksessa päivittämällä kalenteriohjelmaa. Tämä kuitenkin vaatii ohjauskalenterin joka päiväistä muuttamista sähkön myyjän tai suoraan kuluttajan toimesta, sillä ohjauksen on tapahduttava markkinaehtoisesti (Asennettujen etäluettavien mittareiden hyödyntäminen kysyntäjoustopon 2017). Vaikka jakeluverkkoyhtiö pystyy päivittämään kalenteriohjelman etänä, ohjauskalenterin laatimisen on siis joka tapauksessa tehtävä manuaalisesti.

Sekä SLY-kytkentä, että varsinkin AMR-mittari löytyvät monesta kotitaloudesta valmiiksi, joten kysyntäjoustopon toteuttaessa pitäisi parhaimmassa tapauksessa kattaa ainoastaan sähköasentajan asennuskulut, joka kytkisi lämmityksen releen taakse. Ellei SLY-kytkentää löydy valmiiksi sähkökaapista, kytkentäsovitteen hinta on 183,00 € + edellä mainitut sähköasentajan kulut. AMR-mittarin asennuksesta huolehtii asiakkaan sähköyhtiö, joten kyseisen mittarin asennus sen puuttuessa ei aiheuta kuluttajalle välittömiä kuluja. Kyseessä ovat siis kysyntäjoustopon ratkaisut, jotka eivät vaadi suuria investointeja. Toisaalta aikasähkötariffin avulla on mahdotonta saavuttaa jättisäästöjä. AMR-mittarin tuntipohjaisessa ohjauksessa on myös omia haasteita, sillä kalenteriohjelman päivitys ei tapahdu automaattisesti mukautumalla spot-sähkön hintoihin. Sähköverkon kannalta kuitenkin nämäkin kysyntäjoustopon ratkaisut ovat hyödyllisiä, sillä niiden avulla kulutusta siirretään huippunneilta pois.

## 6.2 Cozify ION vs. Optiwatti

Cozify ja OptiWatti Oy ovat kotiautomaatiota tarjoavia yrityksiä. OptiWatin perustajan Juha Marjetan ensisijainen tavoite oli saada kotinsa lämmitys hallintaan ja yritys tarjoaakin pääosin lämmönsäätöratkaisuja, vaikka heidän valikoimastaan löytyy myös älykäs aurinkosähkön ohjausjärjestelmä. Kun taas Cozify mahdollistaa laajempien älykotiratkaisujen toteuttamista viihtyisyydestä energiatehokkuuteen ja turvallisuuteen. Vertailemalla näitä yrityksiä siis huomataan, että niillä on toisiinsa nähden hyvin erilaiset strategiat. Kysyntäjoustop mahdollistajina kyseisten yritysten ratkaisuista löytyy kuitenkin hyvin paljon samankaltaisuuksia.

Cozify tarjoaa markkinoille ratkaisun, jossa kaikki tuetut kodin langattomat älylaitteet yhdistetään yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi Cozify ION -älykotiohjaimen avulla. OptiWatin ratkaisu taas perustuu siihen, että OptiWatin laitteiston osat asennetaan nykyisen lämmitysjärjestelmän rinnalle ja ne kommunikoivat keskenään OptiWatin keskusyksikön välityksellä. Sekä Cozifyn, että OptiWatin laitteisto kommunikoi siis langattomasti eli kysyntäjoustop toteuttamiseen ei tarvita uusia johdotuksia kotitalouteen. Näiden ratkaisujen keskeinen ero käyttäjän kannalta on se, että Cozify on itseasennettava järjestelmä, kun taas OptiWatin asennukseen vaaditaan sähköasentajaa. Toisaalta myös Cozifyn kohdalla tarvitaan sähköasentaja paikalle sähkökaappiin asennettavien komponenttien, kuten älyreleen asennukseen. Sähköpatterin tai lämminvesivaraajan kaltaisten lämmitysratkaisujen kulutuksen optimointi on kuitenkin toteutettavissa täysin itsenäisesti asennettavissa olevan älypistokkeen avulla.

Kaikki sähkölämmitysratkaisut, kuten lämminvesivaraaja, lattia- ja/tai kattolämmitys, lämpöpumput ja sähköpatterit ovat molempien yritysten lämmönsäätöratkaisujen tuettavissa. Molemmat ratkaisut sopivat myös vesikiertoisesti lämmitettäviin kotitalouksiin. Jos vertaillaan yritysten tuotteita puhtaasti kysyntäjoustop mahdollistajina, OptiWatilla on olemassa edellä mainittu aurinkosähkön ohjausjärjestelmä, joka auttaa ottamaan kaiken hyödyn irti aurinkopaneelilla tuotetusta sähköstä. Cozifylla ei sellaista järjestelmää ole. Toisaalta aurinkosähkön ohjausjärjestelmää tarvitsevat mahdollisesti ainoastaan aurinkosähköpaneelija omistavat kuluttajat. Fingridin kehityspäällikkö Jonne Jäppinen arvioi Petri Virosen (2020) artikkelissa, että vuonna 2020 Suomessa oli 50 000 aurinkopaneelilla varustettua omakotitaloa tai mökkiä.

Sekä Cozify ION, että OptiWatti osaavat automaattisesti optimoida sähkönkulutusta spot-sähkön markkinahintojen mukaan. Tämän lisäksi OptiWatti osaa ottaa huomioon vallitsevaa ulkolämpötilaa ja sääennustetta säätöalgoritmiensa tekemisessä. Cozifylla ja OptiWatilla on omat älylaitteille ladattavat sovellukset, joissa käyttäjä voi muunnella viikko-ohjelmaa, asettaa sääntöjä ja muokata teemoja. Keskeinen ero on laitteiston asennustapa, minkä lisäksi Cozifylla ei siis myöskään ole omaa aurinkosähkön ohjausjärjestelmää ja OptiWatin lämmönsäätö on hieman edistyneempi, sillä algoritmit osaavat huomioida ulkolämpötilaa ja sääennustetta. Sekä Cozify, että OptiWatti kuitenkin tukevat kaikki sähkölämmitysratkaisut ja optimoivat kulutusta spot-sähkön hintojen mukaisesti. Ja koska muuten lämmönsäätöratkaisut ovat asennustavasta riippumatta hyvin samankaltaisia kysyntäjoustopon mahdollistamisen näkökulmasta, valintakriteeriksi saattaa muodostua hinta.

Lämmitysmuodosta riippumatta 4 huoneen ohjaus tulee maksamaan OptiWatin asiakkaalle 960 € + 19,90 € kuukausimaksu + asennuskulut. Oletetaan, että Cozifylla ohjataan myös 4 huonetta ja lämmitysmuotona on sähkölattialämmitys. Oletetaan myös, että yksittäisten halvempien älyreleiden sijasta käyttäjältä vaaditaan kalliimman, sähköasentajaa vaativaa älyrelepakon asennusta. Cozify ION -älykotiohjaimen hankinta maksaa käyttäjälle 299,00 € + 9,90 € kuukausimaksu. Lattialämmitykseen tarvittavan älyrelepakon hinta on 490 € + asennuskulut. Tästä nähdään, että jopa kalliimpia komponentteja käytettäessä, Cozifyn järjestelmän kokonaishinta on reilusti OptiWatin järjestelmää pienempi. Tässä esimerkissä Cozifyn kokonaishinta, ottamatta huomioon kuukausimaksua, on 171 €:a edullisempi. On myös huomioonotettava, että jokainen seuraava ohjattava huone nostaa OptiWatin kokonaishintaa 99 €:lla ja kuukausimaksua 1,30 €:lla (OptiWatin hinnat kotitalouksille 2022). Cozifyn jo valmiiksi 10 €:a halvempi oleva kuukausihinta pysyy samanlaisena riippumatta laitteiden määrästä ja esimerkiksi lämminvesivaraajan ja sähköpatterilämmityksen kytkeminen Cozify järjestelmään onnistuu itsenäisesti 39,90 € maksavan älypistokkeen avulla. Yhteenvetona on todettava, että OptiWatin hinta on lineaarinen ja siihen vaikuttaa vain ohjattavien huoneiden määrä. Cozifyn hinta taas riippuu hyvin paljon siitä, millaista lämmitysratkaisua on tarkoitus ohjata.

### 6.3 Cozify ION & OptiWatti vs. Themo

Vuonna 2014 perustetun Themon alkuperäinen tuote on kiinteistöomistajille tarjolla oleva Themo Energiansäästö -palvelu. Vasta vuonna 2017 Themo liittyi kuluttajan kysyntäjoustopon markkinoille lanseeraamalla Themo Älytermostaattinsa, mikä soveltuu sähköisen lattia- ja kattolämmityksen

ohjaukseen. Hiljattain Themo toi markkinoille uuden kuluttajalle suunnatun lämmönsäätöratkaisunsa nimeltä Themo DIN, mikä puolestaan soveltuu lämminvesivaraajan, lämpöpumpun tai niin ikään sähköisen lattialämmityksen ohjaukseen. Themon tuotteet siis tukevat suoraan suurimman osan lämmitysratkaisumuodoista. Poikkeuksena tähän ovat sähköpatterit, joiden ohjauksen mahdollistaminen Themo Älytermostaatin avulla vaatii sähköasentajan mittatilaustyötä (Kysymyksiä ja vastauksia Themosta n.d.).

Cozifysta ja OptiWatista poiketen, Themo siis tarjoaa kuluttajille yksittäisiä komponentteja, eikä kokonaisvaltaisia kotiautomaatioratkaisuja. OptiWatin tapaan Themolla on oma älyalgoritmi, mikä osaa säädössään huomioida vallitsevaa ulkolämpötilaa ja sääennustetta, minkä lisäksi algoritmi oppii huoneen ominaisuudet, esimerkiksi lämmittämiseen kuluvan ajan sekä lämpötilan säilymisen lämmityksen jälkeen lämmitystä lisäämättä. Tämä älyalgoritmi optimoi siis lattia- tai kattolämmitystä ja on käytössä sekä Themo Älytermostaatissa, että Themo DIN -tuotteissa. Tuotteet sopivat niin kiinteän sähkösopimuksen omaaville kuin myös pörssisähköä suosiville asiakkaille. Tämän lisäksi Themo DIN:ssa on hintakytkin, mikä soveltuu lämminvesivaraajan tai lämpöpumpun ohjaukseen. Hintakytkintilassa ohjaus tapahtuu edullisilla spot-sähkön tunneilla. Kaikki kolme yritystä tarjoavat siis lämmönsäätöratkaisuja, mitkä osaavat hyödyntää Elspot-markkinoiden hintavaihteluja.

Cozifyn tapaan, Themolla ei ole omaa aurinkosähkön ohjausjärjestelmää. Themolla on kuitenkin parhaillaan kehitteillä ominaisuus, jolla Älytermostaatti toimisi aurinkopaneelien kanssa. Vesikiertoisesti lämmitettäviä kotitalouksia on kilpailijoiden tapaan mahdollista ohjata Älytermostaatin avulla. (Kysymyksiä ja vastauksia Themosta n.d.). Cozify ION, OptiWatti ja Themon tuotteita ohjataan älylaitteille ladattavien sovellusten avulla. Kilpailijoista poiketen, Themolla ei ole kuukausimaksuja, toisin sanoen komponenttien asennuksen jälkeen kuluttajan ei tarvitse maksaa sovellukset käytöstä eli käyttäjäohjuksesta mitään. Aivan kuten kilpailijoillakin, Themon lämmönsäätöratkaisu vaatii jokaiseen ohjattavaan huoneeseen oman säätökomponenttinsa.

Themo Älytermostaatin tapauksessa neljän termostaatin yhteishinta on 636 € + asennuskulut. Neljä Themo DIN säätöyksikköä maksaa puolestaan 796 € + asennuskulut. Lämmönsäätöratkaisuna myös Themon kokonaishinta on OptiWatin järjestelmää pienempi. Verratessa Cozifyn järjestelmään, Themo maksaa asiakkaalle suunnilleen saman verran, kuin luvussa 6.2 läpi käyty Cozifyn kal-

liimpi lämmönsäätöratkaisu. On myös otettava huomioon, että tässä esimerkissä Themon tuotteiden hinta on suoraan kerrottu neljällä. Themo kuitenkin lupaa alennusta tuotteistaan, mikäli niitä ostetaan kerralla useampi (Kysymyksiä ja vastauksia Themosta n.d.). Eli todellinen Themon komponenttien kokonaishinta on todennäköisesti tässä esimerkissä esitettyä hintaa pienempi.

Alla olevassa taulukossa 1 on nähtävissä yhteenveto yllä käsiteltyjen yritysten lämmönsäätöratkaisujen kysyntäjoustopuolelta tärkeimmistä ominaisuuksista. Taulukossa esitetyt tuotehinnat ovat suunta-antavia ja niissä ei ole huomioitu mahdollisia alennuksia tai esimerkiksi kotitalousvähenystä.

Taulukko 1. Automaatioratkaisujen vertailu

	Cozify ION	OptiWatti	Themo
Tukee kaikki lämmönsäätöratkaisut	Kyllä	Kyllä	Kyllä* <sup>1</sup>
Mahdollista osallistua Elspot-markkinoille	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Viikko-ohjelman muokkaus ja muu ohjaus sovelluksen kautta	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Huomioi lämmönsäädössä ulkolämpötilaa sekä sääennustetta	-	Kyllä	Kyllä
Aurinkosähkön ohjausjärjestelmä	-	Kyllä	-
Järjestelmän hinta neljälle ohjattavalle huoneelle	458,60–789 €	960 €	636–796 €
Kuukausihinta	9,90 €	alk. 19,90 €	-
Vaatii sähköasentajaa käyttöönotossa	Ei* <sup>2</sup>	Kyllä	Kyllä
Luvattu säästö sähkölaskusta	ei ilmoitettu	jopa 40 %	20–32 %

\*<sup>1</sup> - sähköpatterin ohjauksen mahdollistaminen vaatii sähköasentajan mittatilaustyötä

\*<sup>2</sup> - sähkökaappiin asennettavien komponenttien asennukseen tarvitaan sähköasentajaa

## 6.4 Perinteiset ratkaisut vs. automaatoratkaisut

Perinteisten lämmönsäätöratkaisujen, kuten SLY-kytkennän ja AMR-mittarin avulla tapahtuvan ohjauksen huomattavin ero verrattuna automaatoratkaisuihin on helppokäyttöisyys. Opinnäytetyössä esitettyjen automaatoratkaisuiden lämmönsäätö tapahtuu ennalta määritetyn viikko ohjelman avulla sekä spot-sähkön hintojen automaattisella seurannalla. Varsinkin OptiWatti ja Themo tarjoavat ratkaisun, jossa heidän algoritminsa ottaa viikko-ohjelmaa tehtäessä huomioon erilaisia seikkoja sääennusteesta huonekohtaisiin ominaisuuksiin. Käyttäjän täytyy puuttua ohjaukseen ainoastaan silloin, kun siihen halutaan tehdä muutos. Silloinkin käyttäjäohjaus tapahtuu kätevästi sovelluksen avulla. Kun taas osallistuu Elspot-markkinoille, AMR-mittari vaatii kuluttajan jatkuvaa ohjausta, sillä kuluttajan täytyy päivittää viikko-ohjelmansa jatkuvasti. SLY-kytkennän

kohdalla Elspot-markkinoille osallistuminen on mahdotonta. Perinteiset lämmönsäätöratkaisut yksinkertaisesti kytkävät releen takana olevat laitteet päälle ennalta määritetyn aikaikkunan sisällä, eivätkä näin ollen voi kilpailla automaattioratkaisujen valmistajien algoritmien kanssa.

Perinteisten lämmönsäätöratkaisujen etuna on tietysti hinta. AMR-mittari on asennettu lähes joka kotiin ja SLY-kytkentää löytyy monesta kotitaloudesta jo valmiiksi, joten kustannukset saattavat koostua ainoastaan lämmityksen kytkennän muutostyöstä eli sähköasentajan asennustyöstä. Toisaalta perinteisillä lämmönsäätöratkaisuilla on mahdotonta saavuttaa yhtä isoja säästöjä kuin automaattioratkaisujen avulla. Näin Themo lupaa asiakkailleen 20 %:n sekä pörssisähkösojimus asiakkaille lisäksi 12 %:n säästöt ja OptiWatti lupaa asiakkailleen jopa 40 %:n säästöt sähkölaskusta.

On myös mainittavaa, että tietyissä olosuhteissa sekä perinteiset lämmönsäätöratkaisut, että automaattioratkaisut toimivat identtisesti. Näin kuluttaja, jolla ei ole käytössä pörssisähkösojimusta ja lämmitysmuotona on lämminvesivaraaja, hyötyy mistä tahansa yllä käydystä lämmönsäätöratkaisusta samalla tavalla. Näissä olosuhteissa toimintaperiaate kaikilla laitteilla on yhtäläinen: releen takana oleva lämminvesivaraaja kytketään yöksi päälle hyödyntääkseen aikasähkötariffia. Isoimmat säästöt saavutetaan kuitenkin ainoastaan lämmönsäätöratkaisuissa, joissa lämmitystä ohjataan spot-sähkön hintojen perusteella ja joissa älykkäät algoritmit optimoivat lämmitystä ottamalla huomioon kaikki siihen vaikuttavat tekijät.

## **7 Hyödyt ja haasteet**

Tässä luvussa kerrotaan kysyntäjouston hyödyistä ja haasteista. Monet hyödyt ja haasteet ovat jo aikaisemmin tulleet esiin opinnäytetyössä. Näin teknisiä ratkaisuja esittäessä ja verratessa on tullut esiin laitekohtaiset ominaisuudet ja rajoitukset, jotka asettavat tiettyjä edellytyksiä tai jopa esteitä kysyntäjouston osallistumiselle. Toisaalta monet laitteet osaavat tehokkaasti hyödyntää kysyntäjouston potentiaalia esimerkiksi Elspot-markkinoille automaattisella osallistumisella. Tässä luvussa kootaan yhteen opinnäytetyössä aikaisemmin vastaan tulleet kysyntäjouston hyödyt ja haasteet, sekä käsitellään hyötyjä ja haasteita syvemmin sähkömarkkinoiden ja sähköverkon näkökulmasta.

## 7.1 Hyödyt

Kysyntäjousto tuo hyötyjä opinnäytetyön keskiössä olevalle kuluttajalle. Ensisijaisesti nämä hyödyt ovat taloudellisia. Eniten kysyntäjoustopaikasta voi hyötyä pörssistä sähkönsä ostava kuluttaja, jolla on kotitaloudessaan älykäs automaatiojärjestelmä, mikä säätelee lämmitystä ja muita suuritehoisia laitteita/kohteita, kuten sähköauton latausta automaattisesti ottamalla huomioon mm. spot-sähkön hintatasoa, ulkolämpötilaa ja sääennustetta sekä huonekohtaisia ominaisuuksia. Osallistuesaan aggregointiin kuluttaja voi säästöjen lisäksi saada joustopaikastaan hyvitystä. Myös kiinteän sähkönsopimuksen asiakkaat voivat hyötyä kysyntäjoustopaikasta siirtämällä kulutustaan halvimmille käyttötunneille. Aurinkosähköjärjestelmän omistajat puolestaan hankkivat markkinoilta vähemmän sähköä ja hyötyvät kysyntäjoustopaikasta sitä kautta. Sähkön oma tuotanto myös vähentää sähköverkon kuormitusta, sillä sähköä ei tarvitse siirtää tuotantolaitokselta kotiin.

Laajemmin tarkasteltuna, kysyntäjoustopaikalla on kuitenkin suuria vaikutuksia koko sähköverkkoon sekä sähkömarkkinoiden osapuoliin. Sähköverkon näkökulmasta tarkasteltuna kysyntäjoustopaika taataan sähköverkon tasapaino. Vähentämällä kulutuspiikkejä säästetään kalliiden ja usein suuripäästöisten tuotantomuotojen käynnistämistä. Tämä puolestaan laskee ei pelkästään kysyntäjoustopaikan harjoittajien, vaan koko sähkömarkkinoiden hintatasoa. Tämän lisäksi sähköverkon ylläpito ja käytön varmistaminen vaatii vähemmän investointeja verkon ollessa vähemmän kuormitettu, mikä näkyy suoraan kuluttajan sähkölaskussa. Kulutuspiikkien vähentäminen laskee samalla sähköverkossa tapahtuvia siirto- ja jakeluhäviöitä. (Losi ym. 2015, 25–26).

Kysyntäjoustopaika mahdollistaa reservien nopeaa aktivoitumista. Häiriötilanteissa kysyntäjoustopaikalla voidaan taata käyttövarmuus sekä välttyä katkoksilta. Edellisessä kappaleessa mainittiin, että kalliita ja suuripäästöisiä tuotantomuotoja ei kysyntäjoustopaikan myötä tarvitse välttämättä käynnistää. Reservien kasvaessa kyseisiä tuotantomuotoja, kuten voimalaitoksia, ei välttämättä tarvitse myöskään rakentaa lisää, sillä käyttövarmuus ja sähköenergian saatavuus voidaan taata kysyntäjoustopaikan avulla. Kysyntäjoustopaikalla on siis selkeät ympäristöhyödyt. Sähköä voidaan tuottaa joustamattomalla uusiutuvalla energialla, kun aikaisemmin tuotannossa tapahtunutta joustopaikkaa voidaan toteuttaa kuluttajan puolesta. Kysyntäjoustopaika siis edistää hiilineutraalien tuotantomuotojen integrointia sähköjärjestelmään, mikä osaltaan auttaa hillitsemään ilmastonmuutosta. (Losi ym. 2015, 25–26).

## 7.2 Haasteet

Jos tarkastellaan kysyntäjoustoja puhtaasti kuluttajan näkökulmasta, yksi suurimmista haasteista on ihmisten tietämättömyys. Kysyntäjousto on edelleen hyvin tuntematon käsite monelle, eivätkä ihmiset tiedä kysyntäjouston tuomista eduista ja hyödyistä, oli ne sitten taloudelliset tai laajemmin tarkasteltuna kansalliset. Laitevalmistajien mainostaminen ja tuotteiden edistäminen markkinoilla on puutteellista, minkä myötä ihmiset eivät yksinkertaisesti löydä omaan käyttöön soveltuvaa kysyntäjoustopuolitoimintaa. Ylipäättään aiheen laajuuteen ja tärkeyteen suhteutettuna markkinoilla on tarjolla liian vähän kuluttajalle soveltuvia kysyntäjoustopuolitoimintaa ja ne ovat vaikeasti löydettävissä.

Kysyntäjoustopuolitoiminnan toteuttaminen vaatii palvelua, jossa kuluttaja voisi verrata markkinoilla tarjolla olevia kysyntäjoustopuolitoimintaa keskenään sekä soveltaa niitä joustopotentiaaliinsa ja kulutuksensa mukaisesti. Vuonna 2015 DR-poolin loppuraportissa ehdotettiin kehittämään Energiaviraston ylläpitämää sähkömarkkinat.fi -sivustoa vastaamaan kuluttajien tarpeeseen saada tietoa kysyntäjoustopuolitoiminnasta (Järventausta ym. 2015, 41). Tämä ehdotus ei ole edennyt riittävästi, sillä vielä vuonna 2023 tieto kysyntäjoustopuolitoiminnasta, alan toimijoista ja laitevalmistajista on vaikeasti saatavilla.

Laitetasolla kysyntäjoustopuolitoiminnan toteuttamisen esteeksi saattaa muodostua kotitalouden johdotus. Rakennuksesta saattaa yksinkertaisesti puuttua kuormanohjausta mahdollistava johdotus, minkä asennus jälkeensä tulee kuluttajalle hyvin kalliiksi, jolloin kysyntäjoustopuolitoiminnan kannattavuudesta syntyy epävarmuutta. Tämä pätee sekä AMR-mittarin releellä tapahtuvaan ohjaukseen, että samalla lailla muihinkin opinnäytetyössä esitettyjen kysyntäjoustopuolitoimintaa mahdollistaviin, sähkökaappiin asennettaviin komponentteihin. Koska lainsäädäntö ei tällä hetkellä määritä yhteisiä standardeja kysyntäjoustopuolitoimintatoimijoille, valmistajakohtaiset standardoimattomat toiminnot ja rajapinnat vaikeuttavat kuormanohjauksen toteuttamista. Laitteiston helppokäyttöisyys on myös avainasemassa kysyntäjoustopuolitoiminnan toteuttamisessa. Käyttäjän ohjauksen pitäisi sujua mutkattomasti, sekä laitteesta saatava tieto pitäisi olla helposti käyttäjän ymmärrettävissä. (Järventausta ym. 2015, 37–38).

Reservimarkkinoille osallistuakseen kuluttajalla täytyy olla nykyaikainen laitteisto, jolla kysyntäjoustopuolitoiminnan, toisin sanoen kuormanohjauksen, voidaan todentaa tapahtuneeksi. Tämän lisäksi pitäisi olla mitattavissa, kuinka paljon joustopuolitoimintaa on tapahtunut. Useiden reservimarkkinatuotteiden aktivoi-

tumisajat vaihtelevat sekunneista minuutteihin, eikä ensimmäisen sukupolven AMR-mittarit kykene näin nopeaan ohjaukseen. Varttitaseeseen siirtyminen tietää vanhojen etäluettavien sähkömittareiden vaihtoa uuden sukupolven AMR-mittareiksi, minkä myötä tunnin mittausjakso vaihtuu viidentoista minuutin mittausjaksoksi. Tämän myötä kuluttajalla on saatavilla entistä tarkemmat tiedot omasta kulutuksestaan. Tasevirheet pienenevät, minkä lisäksi lähiaikoina Elspot-markkinoille tulevat varttituotteet ovat kuluttajan saatavilla. Uuden sukupolven AMR-mittarit ei kuitenkaan ratkaise reservimarkkinoille osallistumisen haasteita, sillä ne ei edelleenkään pysty tarvittaessa aktivoimaan reservejä tarpeeksi nopeasti. (Losi ym. 2015, 28).

Kysyntäjouaston yleistymistä rajoittavat monet lainsäädännölliset puutteet. DR-poolin loppuraportissa todetaan, että kysyntäjouaston toteuttamisen esteitä ovat hajanainen toimialakenttä, standardoimattomat prosessit sekä tietojärjestelmien rajapinnat ja toimintavasteiden suuri hajonta. Kuluttajat ovat usein epätietoisia omista kuormistaan ja niiden ohjattavuudesta. Tämän lisäksi kysyntäjouaston pitäisi olla kannattavaa kaikille markkinaosapuolille. Esimerkiksi verkkoyhtiöillä ei nykyisin ole kannustinta investoida kysyntäjouastoon, vaan investointeja käytetään sen sijaan sähköverkon vahvistamiseen. (Järventausta ym. 2015, 37–38).

Kun ymmärrys kysyntäjouaston tärkeydestä kasvaa koko ajan, myös lainsäätäjät ovat tehneet kovaa työtä kysyntäjouaston yleistymisen edistämiseksi. Hiljattain hyväksytty Laki sähkömarkkinan muuttamisesta (ks. L 497/2023) lisää toimintavarmuutta ja edistää kuluttajan oikeuksia. Tästä on hyvänä esimerkkinä aggregointitoiminta. Itsenäisen aggregaattorin suorittaman kuormanohjauksen tasevirheet tuottivat ongelmia, sillä aina ei ollut selvää kenen toimesta kyseinen tasevirhe pitäisi korjata. Yllä mainittu laki selkeytti toimintaa siltä osin, että itsenäistä aggregointia harjoittavan yrityksen on tästedes aina korvattava kysyntäjouaston aktivoinnista aiheutetut kustannukset ja tasepoikkeama.

Todettakoon lopuksi, että keskeisille energiatoimialan osapuolille ei yksinkertaisesti ole luotu taloudellisia kannusteita osallistua kysyntäjouastoon. Jakeluverkkoyhtiöt eivät näe teho-ohjausta tarpeellisena, sillä sähkö hintaa sekä hinnoitteluperusteita on mahdollista korottaa lyhyellä varoitusajalla. Jos kysyntäjouastoa miellyttään ainoastaan säästämiskeinona, kiinteähintaisen sähkösopimuksen asiakkaat eivät hyödy siitä juurikaan millään tavalla. Myöskään tehomaksu, mikä

kannustaa ihmisiä kulutuksensa optimointiin, ei ole levinnyt tarpeeksi laajasti vaikuttaakseen kysyntäjouaston popularisointiin. (Harsia, Honkapuro, Järventausta & Kallioharju 2022).

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kuluttajalle suunnatut ratkaisut kysyntäjouastoon ja vertailla niitä keskenään mm. jouaston tehokkuuden, hinnan ja muiden kriteerien perusteella. Tämän lisäksi tarkoituksena oli tuoda esiin kysyntäjouaston edut ja haasteet. Opinnäytetyössä on käyty läpi, mitä kysyntäjouasto tarkoittaa. Kysyntäjouastolla on suora yhteys sähkön hintatasoon ja sähköverkon luotettavaan toimintaan ja siksi Suomen sähkömarkkinarakennetta on myös käyty kattavasti läpi. Teknisiksi ratkaisuksi on pyritty valitsemaan toisistaan poikkeavat ratkaisut, jotta kunkin ratkaisun eroavaisuudet kilpailijaan nähden olisi selkeästi havaittavissa. Kysyntäjouaston edut ja haasteet on niin ikään pyritty kokoamaan yhteen.

Opinnäytetyön keskeiset kysymykset olivat:

- Mitä on kysyntäjouasto kuluttajan näkökulmasta tarkasteltuna?
- Mitkä ovat kuluttajalle suunnatut kysyntäjouaston tekniset ratkaisut?
- Miten tekniset ratkaisut eroavat toisistaan?
- Mitkä ovat kysyntäjouaston ja sen teknisten ratkaisuiden edut ja haasteet?

Opinnäytetyössä on selvitetty, mitä kysyntäjouasto tarkoittaa yleisellä tasolla ja mitä se tarkoittaa kuluttajalle, sekä miksi sitä ylipäättään tarvitaan. Kuluttajan suurin kysyntäjouastopotentiaali piilee sähkölämmityksen optimoinnissa ja niin teknisiksi ratkaisuksi oli valikoitunut viisi kyseistä optimointia mahdollistavaa ratkaisua. Opinnäytetyössä on huomioitu niin vähän investointeja vaativat ns. perinteiset ratkaisut, kuin myös kehittyneet automaattioratkaisut. Ratkaisuille on tehty kattava vertailu, jossa huomioitiin mm. hinta, ratkaisun tuoma säästö, yhteensopivuus spot-hintaisen sähkösopimuksen kanssa jne. Ratkaisut erosivat jo lähtökohtaisesti toisistaan mm. asennustavan ja ensisijaisen käyttötarkoituksen mukaan. Kaikki ratkaisut eivät siis ole alun perin kehitetty nimenomaan kysyntäjouastoa varten, mikä ei estä esimerkiksi Cozify ION:in sähkölämmityksen tehokkaan ohjauksen ja optimoinnin. Kysyntäjouaston edut ja haasteet oli tuotu esiin jo ratkaisujen vertailun

aikana, minkä lisäksi kysyntäjoustop selkeimmät edut sekä suurimmat haasteet on käyty läpi opinnäytetyön lopussa erikseen. Opinnäytetyön keskeisiin kysymyksiin on siis vastattu kokonaisvaltaisesti.

Opinnäytetyön luotettavuutta nostaa asianmukaiset lähteet. Tieto on pääosin kerätty kysyntäjoustop toimijoiden, kuten kantaverkkoyhtiö Fingridin tai sähköpörssi Nord Poolin sekä laitevalmistajien verkkosivuilta. Teoriaosuutta kirjoittaessa on käytetty kirjallisuutta ja kysyntäjoustopista kertovia artikkeleita. Tämän lisäksi laitteiden kohdalla tietoa on haettu käyttöohjeista ja kysyntäjoustopista kertoessa on käytetty paljon erilaisia dokumentteja ja julkaisuja arvovaltaisista lähteistä. Opinnäytetyö on tehty hyvää tutkimustapaa noudattaen ja tulokset ovat luotettavia. Aiheen ajankohtaisuuden ja merkityksen takia opinnäytetyötä oli mielenkiintoista tehdä ja se vaikuttaakin hyvin onnistuneena. Aiheen mielenkiintoisuus kannusti tekemään opinnäytetyön tuloksia johdonmukaisiksi ja hyödynnettävissä oleviksi. Siksi opinnäytetyölle asetettuja tavoitteita voi pitää kokonaisvaltaisesti täytetyiksi.

Yhteenvedona on todettava, että kysyntäjoustop on edelleen haastava aihe opinnäytetyölle. Käsitteenä kysyntäjoustopilla on montaa eri tulkintaa. Tässä opinnäytetyössä kysyntäjoustop on pääosin käsitelty kulutuksen siirtämisellä toiseen ajankohtaan mahdollistaen kuluttajan säästöä sähkölaskussa. Kuluttajatasolla kysyntäjoustopia on Suomessa toteutettu suhteellisen vähän. Suurin haaste kuluttajan kannalta on teknisten ratkaisujen vähäisyys sekä ylipäättään tietämättömyys aiheesta. Kysyntäjoustopista ei tiedetä tarpeeksi, minkä lisäksi monet laitevalmistajat eivät jostain syystä halua kertoa omista kysyntäjoustopratkaisuistaan edes omilla verkkosivuilla. Laajemmin tarkasteltuna alan toimijoille suunnattujen yhteisten ja selkeiden sääntöjen puute rajoittaa yksinkertaisen ja toimivan kysyntäjoustopia koskevan toimintamallin kehittämisen. Näin esimerkiksi DR-poolin vuonna 2015 tekemässä loppuraportissa esitetyt kehotukset ja ehdotukset eivät ole edenneet toivotulla tavalla. Tämä on jossain määrin ristiriitaista, sillä kysyntäjoustopin tärkeyttä sähköverkon tasapainon ylläpitämisen kannalta on ymmärretty jo pitkään. Jo lähiaikoina kysyntäjoustopilla toteuttavan kulutuksen ohjauksen ja sitä kautta tapahtuvan sähköverkon tasapainotuksen tärkeys kasvaa entisestään. Siksi on toivottavaa luoda edellytykset, että mahdollisimman monelle kuluttajalle kysyntäjoustopiin osallistuminen olisi helppoa ja kannattavaa.

## Lähteet

A 66/2009. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Viitattu 13.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>

A 767/2021. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Viitattu 22.11.2023. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210767>

aFRR-reservin eurooppalainen markkinapaikka PICASSO. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/pohjoismainen-tasehallinta/picasso/>

Asennettujen etäluettavien mittareiden hyödyntäminen kysyntäjoustopotentialissa. 2017. Työ- ja elinkeinoministeriön paperi. Viitattu 30.11.2023. <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/Asennettujen+et%C3%A4luettavien+mittareiden+hy%C3%B6dynt%C3%A4minen+kysynt%C3%A4joustossa,+22.5.2017.pdf/3968fe7d-ab5f-420f-b7fc-b0d64a5b9b1d/Asennettujen+et%C3%A4luettavien+mittareiden+hy%C3%B6dynt%C3%A4minen+kysynt%C3%A4joustossa,+22.5.2017.pdf>

Asennustuotteet. N.d. ABB:n verkkokauppa. Viitattu 22.11.2023. <https://www.asennustuotteet.fi/>

Aunio, J. 2018. Sähkön kysyntäjoustopotentialin toteuttaminen kotitalouksissa ja kysyntäjoustopotentialin hyödyntäminen sähkömarkkinoilla. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Viitattu 16.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:ttv-201805221782>

Automaattinen taajuuden palautusreservi (aFRR). N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/automaattinen-taajuudenhallintareservi/>

Clarification of the standard processes required between BRPs and independent aggregators. 2015. Smart Energy paperi. Viitattu 9.12.2023. <https://www.smartenergy.eu/wp-content/uploads/2015/07/SEDC-Standard-processes-required-between-BRPs-and-independent-aggregators1.pdf>

Cozify. N.d. Cozify:n verkkosivu. Viitattu 21.11.2023. <https://www.cozify.fi/>

Day-ahead market. N.d. Julkaisu Nord Poolin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Day-ahead-market/>

Eurooppalaiset reservimarkkinapaikat. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/pohjoismainen-tasehallinta/eurooppalaiset-reservimarkkinapaikat/>

European Power Futures and Options. N.d. Julkaisu Nasdaq:n sivustolla. Viitattu 17.11.2023. <https://www.nasdaq.com/solutions/nordic-european-power>

Fortum Fiksu -palvelu on poistunut valikoimasta. 2020. Uutinen Fortumin sivustolla. Viitattu 20.11.2023. <https://www.fortum.fi/media/2020/06/fortum-fiksu-palvelu-poistunut-valikoimasta>

Grip, K. 2013. Pienasiakkaan kysynnän jouston ja oman tuotannon vaikutukset kuormitusmalleihin. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 8.12.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:ttt-201308211288>

Halla-Aho, V. 2023. Sähköjohdannaiset – Selkokielellä selitettynä. Rahablogin blogi. Julkaistu 4.12.2023. Viitattu 13.11.2023. <https://rahablogi.com/sahkojohdannaiset-selkokielella-selitettyna/>

Harsia, P. 2015. Sähkölämmityksen ohjauskytkennät. Raportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 22.11.2023. [https://projects.tuni.fi/uploads/2019/03/c1daa67a-sahkolammityksen-ohjaus-kytkennat\\_dr\\_korj2019.pdf](https://projects.tuni.fi/uploads/2019/03/c1daa67a-sahkolammityksen-ohjaus-kytkennat_dr_korj2019.pdf)

Harsia, P., Honkapuro, S., Järventausta, P. & Kallioharju, K. 2022. Sähkön tehopulaa sekä kysyntä- ja hintapiikkejä voidaan hallita älykkäällä kysyntäjoustolla. Artikkelit Mustread Akatemian sivustolla. Viitattu 4.12.2023. <https://www.mustread.fi/artikkelit/sahkon-tehopulaa-seka-kysynta-ja-hintapiikkejä-voidaan-hallita-alykkaalla-kysyntajoustolla/>

Härkönen, P. 2021. Näkökulmia kulutusjouston toteuttamiseen: sähkö- ja tietotekniset järjestelmät. Espoo: Sähköinfo.

Intraday market. N.d. Julkaisu Nord Poolin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Intraday-market/>

Itsenäinen aggregointi. 2023. Fingridin tietopaketti. Viitattu 29.11.2023. <https://www.fingrid.fi/contentassets/c59a6b9b7dbe4ea49200652ac3757962/itsenainen-aggregaattori-tietopaketti.pdf>

Itsenäinen aggregointi. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 29.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/itsenainen-aggregointi/>

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. & Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli). Tutkimusprojektikonaisuuden loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 27.11.2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3485-0>

Keränen, S. 2023. Pörssisähkön hinta on miinuksella – Voiko sähköä tuhlaamalla siis tienata. Artikkelit Apu -viikkolehden sivustolla. Viitattu 16.11.2023 <https://www.apu.fi/artikkelit/porssisahkon-hinta-miinuksella-voiko-kuluttaja-tienata>

Kirkko-Jaakkola, M. 2022. Sähkölaskun verot – mitä maksat. Artikkelit Taloustaito -aikakauslehden sivustolla. Viitattu 17.11.2023. <https://www.taloustaito.fi/Vero/sahkolaskun-verot--mita-maksat/#73582591>

Koistinen, A. 2017. Sähkölaskun uusin tulokas – Tehomaksu rankaisee kulutushuipuista. Artikkelit Yleisradion (Ylen) sivustolla. Viitattu 20.11.2023. <https://yle.fi/a/3-9797317>

Koponen, J. 2022. Monista omakotitaloista löytyy unohduksiin jäänyt kytkentä, jonka avulla kiertävät sähkökatkot voitaisiin välttää. Artikkelit Yleisradion (Ylen) sivustolla. Viitattu 22.11.2023. <https://yle.fi/a/3-12676880>

Kulutusjousto. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 8.12.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/sahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/>

Kysymyksiä ja vastauksia Themosta. N.d. Themon verkkosivu. Viitattu 1.12.2023. <https://www.themo.io/fi/usein-kysytyt-kysymykset>

L 497/2023. Laki sähkömarkkinalain muuttamisesta. Viitattu 29.11.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230497>

L 503/2010. Laki Verohallinnosta. Viitattu 13.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20100503>

Losi, A., Mancarella, P. & Vicino, A. 2015. Integration of demand response into the electricity chain: challenges, opportunities, and smart grid solutions. Hoboken: Wiley.

Marjamaa, M & Sinisalo, R. 2022. Kirjallisuuskatsauksen ohjaus – perustana tutkimuskysymys ja ohjaushaastattelu. Artikkelit Kreodin sivustolla. Viitattu 9.12.2023. <https://www.kreodi.fi/arkisto/artikkelit/kirjallisuuskatsauksen-ohjaus-perustana-tutkimuskysymys-ja-ohjaushaastattelu.html>

Markkinapaikat. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 17.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/johdanto-sahkomarkkinoihin/#sahkomarkkinoiden-aikajana>

Mikä on Cozify ION. N.d. Cozifyn verkkosivu. Viitattu 21.11.2023. <https://www.cozify.fi/pages/for-consumers>

Mikä on OptiWatti. N.d. OptiWatin verkkosivu. Viitattu 20.11.2023. <https://www.optiwatti.fi/mika-on-optiwatti/>

Mittarikiertue. N.d. Sähkömittareiden vaihtoa käsittelevä verkkosivu. Viitattu 27.11.2023. <https://mittarikiertue.fi/>

Määttä, T., Berg, E., Härkönen, K. & ja Kangastie, T. 2020. Näin teet kiinteistöstäsi virtuaalivoimalaitoksen. Energiaviisaat kaupungit -hankeen tekemä opas. Viitattu 28.11.2023. <https://energiaviisaat.fi/wp-content/uploads/2020/11/Energiaviisaat-Virtuaalivoimalaitos-opas2020.pdf>

Nopea taajuusreservi. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 15.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/nopea-taajuusreservi/>

Nortio, J. 2019. Nopea taajuusreservi reagoi pieneen inertiaan. Artikkelit Fingridin sivustolla. Viitattu 15.11.2023. <https://www.fingridlehti.fi/nopea-taajuusreservi/>

Nurmi, K. 2016. Jopa 40 prosentin säästö – Espoolaisyrityksen keksintö alentaa sähkölämmittäjän kuluja. Artikkelit Länsiväylä -lehden sivustolla. Viitattu 20.11.2023. <https://www.lansivayla.fi/paikal-liset/1741799>

Ohjaa laitteita pörssisähkön hinnan mukaan. N.d. Julkaisu Cozifyn sivustolla. Viitattu 21.11.2023. <https://www.cozify.fi/pages/exchange-electricity-automation>

OptiWatin hinnat kotitalouksille. 2022. OptiWatin hinnasto. Viitattu 20.11.2023. <https://www.optiwatti.fi/kotalouksille/hinnoittelu-kotalouksille/>

OptiWatti käyttöohje. 2023. OptiWatin käyttöohje. Viitattu 20.11.2023. <https://optiwatti.fi/wp-content/uploads/2023/02/OptiWatti-kayttoohje-OW5.6.1-pdf.pdf>

Pahkala, T., Uimonen, H. & Väre, V. 2018. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä. Älyverk-kotyöryhmän loppuraportti. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 28.11.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-346-7>

Partanen, J. 2004. Sähkömarkkinat: Opetusministeriö. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Viitattu 13.12.2023. <https://www.finna.fi/Record/jykdok.969578?sid=3518325053>

Pekkarinen, S. 2013. Etäluettava mittari paljastaa sähkönkulutuksen salat. Artikkelit Yleisradion (Ylen) sivustolla. Viitattu 30.11.2023. <https://yle.fi/a/3-6554877>

Puikkonen, H. 2016. Mitä jos talosi ostaisi itse halpaa sähköä markkinoilta. Artikkelit Yleisradion (Ylen) sivustolla. Viitattu 20.11.2023. <https://yle.fi/a/3-8789462>

Pörssisähkön säästövinkit talvelle. 2023. Cozifyn blogi. Julkaistu 21.09.2023. Viitattu 21.11.2023. <https://www.cozify.fi/blogs/blog/exchange-electricity-spot-price-saving-tips>

Reservimarkkinat. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 15.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservivelvoitteet-ja-hankintakanavat>

Sähkämittari. 2018. Sähkösuunnittelua -yrityksen blogi. Julkaistu 25.05.2018. Viitattu 12.12.2023. <https://www.sahkosuunnittelua.com/blogimme/sahkomittari>

Sähkön hinta ja hiilijalanjälki kulkevat käsi kädessä. N.d. Julkaisu Vattenfallin sivustolla. Viitattu 20.11.2023. <https://www.vattenfall.fi/vastuullisuus/fossiilivapaa-elama-artikkelit/sahkon-hinta-ja-hiilijalanjalki/>

Sähkön ostaminen. N.d. Julkaisu Energiaviraston sivustolla. Viitattu 17.11.2023. <https://energiavirasto.fi/sahkon-ostaminen>

Säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat (mFRR). N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/saatosahko--ja-saato-kapasiteettimarkkinat/>

Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-tuotteet). N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/taajuusohjattu-kaytto--ja-hairioreservi/#tekniset-vaatimukset>

Tasepalvelut. N.d. Julkaisu Fingridin sivustolla. Viitattu 17.11.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/tasepalvelut/#mittausalueen-yllapitajan-tehtavat-ja-vastuut>

Termonen, T. 2023. Lähes jokainen koti tarvitsee uuden sähkömittarin – miljoonien eurojen vaihtorumba koituu kuluttajien maksettavaksi. Artikkelit Yleisradion (Ylen) sivustolla. Viitattu 27.11.2023. <https://yle.fi/a/74-20046219>

Themo. N.d. Omavahti verkkokauppa. Viitattu 21.11.2023. <https://www.omavahti.fi/tuote/themo/>

Themo DIN. N.d. Julkaisu Themon sivustolla. Viitattu 21.11.2023. <https://www.themo.io/fi/themo-din>

Themo vastaa energiakriisin haasteisiin keräämällä 650 000 euron rahoituksen kysyntäjoustopalvelun luomiseen. 2022. Artikkelit STT Infon sivustolla. Viitattu 21.11.2023. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69951588/themo-vastaa-energiakriisin-haasteisiin-keraaamalla-650-000-euron-rahoituksen-kysyntajoustopalvelun-luomiseen>

Themo yrityksenä. N.d. Themon verkkosivu. Viitattu 21.11.2023. <https://www.themo.io/fi/themo-yrityksena>

Themo Älytermostaatti. N.d. Julkaisu Themon sivustolla. Viitattu 21.11.2023. <https://www.themo.io/fi/themo-alytermostaatti>

Uusi kuluttajille suunnattu älykotiohjain - Cozify ION. 2021. Cozifyn blogi. Julkaistu 07.12.2021. Viitattu 21.11.2023. <https://www.cozify.fi/blogs/news/new-smart-home-hub-cozify-ion>

Uusi reservilaji, automaattinen taajuudenhallintareservi otettu testikäyttöön. 2013. Tiedote Fingridin sivustolla. Viitattu 16.11.2023. <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2013/uusi-reservilaji-automattinen-taajuudenhallintareservi-otettu-testikayttoon/>

Varttitaseen käyttöönotto. 2023. Fingridin tietopaketti. Viitattu 22.11.2023. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/varttitase/varttitaseen-kayttoonotto-suomessa-22.5.2023--paivitetty-17.3.2023.pdf>

Verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016–2023. N.d. Energiaviraston hintataulukko. Viitattu 27.11.2023. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/Verkkokomponentit-ja-yksikk%C3%B6hinnat-2016-2023.xlsx/>

Vilkka, H. 2023. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. Helsinki: Art House.

Vironen, P. 2020. Aurinkopaneeleiden suosion hurja kasvu jatkuu – hinnat laskevat, mutta saako rahalle oikeasti katetta. Artikkelit Yleisradion (Ylen) sivustolla. Viitattu 30.11.2023.  
<https://yle.fi/a/3-11638006>