

Tommi Terho

PICLO FLEX -JOUSTOMARKKINA

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Sami Repo
Joulukuu 2021

TIIVISTELMÄ

Tommi Terho: Piclo Flex -joustomarkkina
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Sähkötekniikka
Joulukuu 2021

Tässä kandidaatintutkielmassa käsiteltiin Piclo Flex -joustomarkkinaa. Työssä esiteltiin kysyntäjouston käsite, jonka pohjalta esiteltiin joustomarkkinoita. Työn tavoitteena oli selvittää, mitä jousto on sähkömarkkinoilla sekä minkälaisella mekanismilla jakeluverkon haltija voi hallita pullonkauloja. Tarkoituksena oli myös esitellä sähkömarkkinoiden tulevaisuudennäkymiä. Työssä käytetyt lähteet ovat peräisin Google Scholarista, Tampereen yliopiston Trepostasta sekä suurilta osin Piclo Flexin omilta sivuilta.

Kysyntäjoustoa on ollut sähköverkossa käytössä jo kauan. Sen tarkoituksena on tasata tuotannon ja kysynnän välisiä hetkellisiä eroja. Kysyntäjoustolla voidaan myös tasapainottaa jakeluverkon toimintaa erilaisten häiriötilanteiden varalta. Kysyntäjoustosta on hyötyä kaikille sähkömarkkinoiden osapuolille erityisesti taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna.

Piclo on Iso-Britannian alueella toimiva ohjelmistoyritys, joka on kehittänyt työssä käsiteltävän joustomarkkinapaikan, Piclo Flexin. Piclo Flexin tavoitteena on yksinkertaistaa joustavuuspalveluiden hankintaa ja luoda markkinoille standardit, jotta ostajat voivat olla varmempia ostamansa tuotteen laadusta. Joustomarkkinoiden osapuolia ovat joustotarjoajat ja verkonhaltijat. Yleisesti ottaen ostaja voi olla mikä tahansa taho, mutta Piclo Flexissä ostajat ovat vain verkonhaltijat. Joustokapasiteetin myynnille ei ole ala- tai ylärajaa. Minkä tahansa suuruisella toiminnalla voi osallistua markkinoille.

Sähköjärjestelmässä on tulevaisuudessa mitä todennäköisimmin nykyistä enemmän sähköautoja, maalämpöpumppuja ja kuluttajien omaa pientuotantoa. Tätä voidaan perustella fossiilisten polttoaineiden ehtymisestä johtuvalla hinnannousulla. Ydin-, tuuli- ja aurinkovoima ovat tuotantomuotoja, joita ei voida säätää. Koska tuotanto ei voi joustaa, on kulutuksen voitava. Työssä esitellään jouston aktivoimismetodeja ja joustotarpeita.

Kysyntäjouston aktivoimismetodeja ovat muun muassa kuoppien täyttö ja energiansäästö. Energiansäästö voidaan esimerkiksi aktivoida päästämällä kertynyt vesimassa vesivoimalan turpiinin läpi. Joustotarve voi syntyä esimerkiksi suunniteltujen huoltotoimenpiteiden vuoksi. Joustotarpeisiin vastaamiseen käytetään erilaisia joustotuotteita.

Avainsanat: kysyntäjousto, Piclo Flex, joustomarkkina

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn tavoitteet	1
1.2 Työn rakenne	2
2. KYSYNTÄJOUSTO	3
2.1 Lähtökohdat	4
2.2 Tarve	5
3. PICLO FLEX	7
3.1 Markkinoiden osapuolet	7
3.2 Osto- ja myyntitarjouksien jättäminen	8
3.3 Joustotuote	11
3.4 Kaupankäynti	13
4. SÄHKÖNJAKELUVERKOT JOUSTOMARKKINOILLA	17
4.1 Edellytykset	17
4.2 Jouston aktivointi	18
4.3 Seuraukset	20
5. YHTEENVETO	21
LÄHTEET	23

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AMR	<i>automated meter reading</i> , etäluettava energiamittari
DR	<i>demand response</i> , kysyntäjousto
HEMS	<i>home energy management system</i> , suurempi automaatiojärjestelmäkokonaisuus
KAH-maksu	keskeytyksestä aiheutunut haittamaksu
PPA	<i>power purchase agreement</i> , joustava sähkön ostosopimus
V2G	<i>vehicle to grid</i> , sähköenergiaa siirretään ajoneuvosta sähköverkkoon
<i>E</i>	<i>energia</i>
<i>MW</i>	<i>megawatti, miljoona wattia (1 000 000 W), tehon yksikkö</i>
<i>MWh</i>	<i>megawattitunti, energian yksikkö</i>
<i>P</i>	<i>teho</i>
<i>t</i>	<i>aika</i>
<i>£/MW/h</i>	<i>puntaa megawatilta per tunti</i>
<i>£/MWh</i>	<i>puntaa megawattitunnilta</i>
<i>τ</i>	<i>vääntömomentti</i>
<i>ω</i>	<i>pyörimisnopeus</i>

1. JOHDANTO

Joustomarkkinoiden juuret ovat kunnianhimoisessa tavoitteessa pysäyttää ilmastonmuutos. Ilmastonmuutos luo tarpeen uusiutuville ja hiilivapaille energiaratkaisuille, jotka asettavat tiettyjä vaatimuksia sähkönjakelu- ja siirtoverkoille. Uusiutuvat energianlähteet, kuten aurinkovoimalat, tuottavat yleensä vähemmän energiaa kuin esimerkiksi hiilivoimalaitokset. Ilmastotavoitteiden myötä uusiutuvat energianlähteet korvaavat fossiiliset energianlähteet. Uusiutuvat energianlähteet tarvitsevat enemmän tuotantoyksiköitä vastaamaan energian kysyntään, mikä tekee järjestelmästä lopulta monimutkaisemman ja vaikeammin ennustettavan. Esimerkiksi tuulivoimaloita tarvitaan moninkertainen määrä vastaamaan energiantuotannoltaan yhtä hiilivoimalaa ja niiden tuottama energia vaihtelee tuulisuuden mukaan. Monimutkaisuuden vuoksi tarvitaan lisää viestintäyhteyksiä ja algoritmeja sähkönjakeluverkon toiminnan varmistamiseksi. Tämä luo uusia haasteita ja mahdollisuuksia sähkönjakeluun. Työssä tutustutaan Piclo Flex joustomarkkinaan, jonka tarkoituksena on toimia riippumattomana joustoenergian markkinapaikkana verkossa [1]. Piclo Flexissä on myös varastokauppaa perinteisen energiakaupan lisäksi.

1.1 Työn tavoitteet

Tutkimuskysymyksiä ovat:

1. Mitä on jousto sähkömarkkinoilla?
2. Minkälaisella mekanismilla jakeluverkon haltija voi hallita pullonkauloja?
3. Millaisia ovat sähkömarkkinoiden tulevaisuuden visiot?

Tavoitteena työssä on esittää järjestelmälliset ja kattavat kokonaisuudet kysyntäjoustopuusta ja joustomarkkinoista.

1.2 Työn rakenne

Luvussa 2 havainnollistetaan, mitä kysyntäjousto on. Luvussa käydään läpi lähtökohtia ja tarpeita kysyntäjoustolle. Kolmannessa luvussa käsitellään joustomarkkinoita. Tässä työssä käsitelty joustomarkkinapaikka on Piclo Flex. Luvussa esitellään, ketkä Piclo Flexissä voivat käydä kauppaa ja millä tuotteilla, miten markkina toimii, sekä miten hinta erilaisille tuotteille määräytyy. Luvussa 3 esitellään kaupankäyntiprosessi Piclo Flexissä. Luvussa 4 käsitellään joustokaupasta seuraavia edellytyksiä ja vaikutuksia sähkönjakeluverkkoihin ja niiden haltijoihin. Luvussa 5 on työn yhteenveto.

2. KYSYNTÄJOUSTO

Kysyntäjousto, yleisesti DR (*Demand Response*), on osa normaalia sähköverkon operointia ja käytössä jatkuvasti. Kysyntäjoustolla voidaan muun muassa parantaa jakeluverkon toimintaa erilaisissa häiriötilanteissa [2]. Kysyntäjousto käsittää pientuotannon, energiavarastot ja ohjattavat kuormat. Siitä hyötyvät jakeluverkkoyhtiöt, siirtoverkkoyhtiöt, sähkönmyyjät ja yksityisasiakkaat. Kysyntäjousto tarkoittaa kuluttajan näkökulmasta sitoutumista joustavaan sähkönkulutukseen. Usein aikoina, joina sähköverkko on kuormittunut, kuluttajalle tarjoutuu mahdollisuus tarjota kysyntäjousto. Ruuhkaisinta sähköverkossa on aamuisin, sekä virka-ajan päätyttyä. Kysyntäjouaston yleispäteviä ja välillisesti suuria ihmismääriä koskettavia hyötyjä ovat uusiutuvien energianlähteiden sähköntuotannon osuuden kasvaminen ja sähköverkon parantunut toimitusvarmuus. Taloudellista, välitöntä hyötyä, kysyntäjousto tuottaa niin verkkoyhtiöille, sähkönmyyjille kuin kuluttajillekin.

Sähköverkossa kysynnän ja tarjonnan on oltava koko ajan tasapainossa, joten lisäämällä kuorman joustavuutta sen sijaan, että tuotantoa jouduttaisiin säätämään kulutuksen vaihtelun mukaan, saavutetaan taloudellista etua. Jotta kuorman joustoa voidaan suunnitella ja laajalti toteuttaa, on sähköverkossa oltava tietoliikenneyhteyksiä ja viestintäinfrastruktuuria. Yhteydet itsessään mahdollistavat kysyntäjouaston syntymisen, mutta eivät pelkästään sellaisinaan riitä. Tietoliikenneyhteyksien ja viestintäinfrastruktuurin lisäksi tarvitaan jokin logiikka, jolla kuormaa ohjataan. Koska Suomenkin verraten suppeassa sähköverkossa on miljoonia kulutuslaitteita niin kuorman ohjauksen täytyy olla lähes täysin automatisoitua. Hajautettu tietotekniikka ympäri sähköverkkoa suorittaa päätöksenteon ihmisten puolesta. Tämä ei ollut mahdollista ennen älykkäiden sähköverkkojen yleistymistä, sillä viestintäinfrastruktuuri-investoinnit puuttuivat. Kysyntäjouaston luominen ei ollut kannattavaa [3]. Kuitenkin älykkäiden sähköverkkojen seurauksena tietoliikenneyhteyksien määrä on kasvanut ja niitä voidaan käyttää kysyntäjouaston luomiseen.

2.1 Lähtökohdat

Kysyntäjoustoja tarvitaan eniten kuluttajien ollessa aktiivisimmillaan. Aamuisin on nähtävissä suuri muutos tehonkulutuksessa. Muutos syntyy, kun ihmiset valmistavat ruokaa, suorittavat aamutoimia ja tehtaat aloittavat tuotantonsa. Teollisuudessa suuritehoisia koneita kytetään päälle. Toinen, vähemmän radikaali muutos, on illalla, kun ihmiset ovat vastaavasti kotona ja esimerkiksi lämmittävät saunoja ja käyttävät kodinkoneita. Muutoin Suomen sähkönkulutus on päivän aikana melko tasaista. Kysyntäjoustopon lähtökohtina ovat ihmisten vuorokausirytmistä johtuvan sähkönkulutuksen epätasaisuuden ja sääolosuhteiden muutoksista aiheutuvan tuotannon ailahtelevuuden hallitseminen. Kysyntäjoustoja käytetään lisäksi sähköverkon häiriötilanteista selviämiseen.

Kysyntäjoustopon konseptin ymmärtämiseksi täytyy ensin sisäistää miten sähkömarkkinat toimivat. Sähkömarkkinoiden esittelyyn käytetään esimerkkinä pohjoismaisia sähkömarkkinoita. Vaikka kolmannessa luvussa käsiteltävä Piclo Flex -joustopon markkina toimiikin Iso-Britanniassa omana erillisenä joustopon markkinanaan, ovat lähtökohdat ja tarpeet kysyntäjoustopon silti samat kuin pohjoismaiden markkinoilla.

Pohjoismaiden Elspot-markkina on vuorokausimarkkina (*day-ahead market*). Se tarkoittaa, että ostajat ja myyjät käyvät kauppaa tuotteesta, joka vaihtaa omistajaa seuraavana päivänä. Elspot-markkinoilla käydään kauppaa sähköstä ja Elspot määrää seuraavan vuorokauden sähkön hinnan kaikkialla pohjoismaissa. Hinta seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille määräytyy kaikkien osto- ja myyntitarjousten perusteella. Sähköpörssin Elspot-markkinoilta ostetaan ja sinne myydään sähköä tunnin osissa. [4] Tästä seuraa, että vuorokauden sisällä sähkön hinta voi vaihdella suuresti.

Kauppojen lukittautumisen jälkeisenä päivänä tuotantolaitokset alkavat ajamaan tuotantoaan sen mukaan, kuinka paljon sähköä ne saivat myytyä. Vaikka kaikille ostotarjouksille löytyikin edellisenä päivänä myyntitarjous, todellisuudessa ostot ja myynnit eivät mene yksi yhteen. Tämä johtuu siitä, että mikään toimija ei kykene milloinkaan millään markkinoilla ennustamaan tulevaisuutta täydellisesti. Esimerkkinä tästä mahdottomuudesta Elspotin tapauksessa voidaan käyttää sääolosuhteita; tuuli- ja aurinkovoimalat tuottavat ennustetusta poikkeavan määrän sähköenergiaa. Toisaalta kuluttajien käyttäytymistä ei voida ennustaa täydellisesti.

Sähköverkon kuorma ja tuotanto vaihtelevat jatkuvasti. Tunnin osissa syntyy eroja todellisen tuotannon ja kulutuksen välille. Tämä epäsymmetrisyys tiedostetaan ja sen poistamiseksi on olemassa Elbas-markkinat. Ne ovat päivänsisäiset markkinat (*intra-day market*) ja samalla jatkuva-aikaiset markkinat. Elbasissa käydyn kaupan aikaikkuna voi olla lyhimmillään tunteja. Esimerkiksi tuulivoiman tuottajan, jonka tuotanto on jäänyt vajaaksi vähäisen tuulen vuoksi, täytyy osallistua Elbas-markkinoille. Koska kyseinen tuotantolaitos on edellisenä päivänä myynyt suuremman määrän sähköä kuin mitä se todellisuudessa sai tuotettua, tuotantolaitoksen tuottama ja sen asiakkaan kuluttama sähköenergia eivät ole yhtäsuuret. Toisin sanoen sähköenergiaa tuotettiin vähemmän kuin mitä tuotantolaitos oli suunnitellut. Elbas-markkinoilla korjataan muun muassa tämän kaltaisten tapahtumien synnyttämät tase-erot. Jotta tuotantoa olisi yhtä paljon kuin kulutustakin, kyseinen tuulivoimala ostaa puuttuvan energian muilta sähköntuottajilta korjatakseen taseensa. Elbasissa sähkö on lähes poikkeuksetta kalliimpaa kuin Elspotissa. Tämä johtuu siitä, että Elbas-markkinoilla tuotantoa täytyy saada luotua nopeasti lisää, jolloin täytyy käyttää kalliimpia, fossilisiin polttoaineisiin perustuvia sähköntuotantomenetelmiä. Päästökaupan takia fossiilisilla polttoaineilla tuotettu sähkö on kalliimpaa kuin uusituvalla energialla tuotettu. [4]

2.2 Tarve

Kysyntäjoukosta on useita eri tarpeita ja niihin vastataan erilaisilla joustotuotteilla. Useille osapuolille kysyntäjoukossa paras kannustin on siitä saatava taloudellinen hyöty. Parhaimmillaan on mahdollista, että kysyntäjoukon avulla verkkohaltija voi vähentää sähköjärjestelmän huippukuormitusta pitkällä aikavälillä luotettavasti ja järkevästi. Verkkohaltija voi lykätä investointejaan siirtämänsä huipputehon kasvattamiseksi [3]. Jos siirtoverkosta irtoaa generaattori tai siirtojohto, laskee järjestelmän kyky siirtää sähköenergiaa asiakkaille. Tilapäisesti heikentynyt tuotanto voidaan saada tasapainoon kulutuksen kanssa, jos siirtoverkkohaltijalla on mahdollisuus säätää kuluttajien sähkönkulutusta. Ääritapauksessa kysyntäjoukosta hyödyntämällä voidaan välttää sähkökatko tai lyhentää sitä merkittävästi. Verkkohaltijoiden taloudellinen hyöty on tällöin KAH-maksujen ja kulutettujen joustotuotteiden hinnan erotus. KAH-maksut ovat korvauksia keskeytyksestä aiheutuneesta haitasta. Verkkoyhtiöt voivat hyödyntää kysyntäjoukosta vähentääkseen

verkkokomponenttien, kuten keskijännitemuuntajien, rasiudesta ennaltaehkäisemällä pullonkaulojen syntymistä. Tämä edistää laitteiston pitkäikäisyyttä. Sähkönmyyjien kiinnostus kysyntäjoustopaikkaa kohtaan johtuu sähkömarkkinoiden menettelytavasta vajaatuotantotilanteissa. Jos sähköntuottaja kohtaa tuotanto-ongelmia, suuri osuus voitoista kuluu niiden ratkaisemiseen. Kysyntäjoustopaikkien avulla myyjä pystyy hetkellisesti säätämään asiakkaidensa kulutusta välttämällä tuotannon lisäämiseltä. Myyjän ei tarvitse maksaa kalliista lisäkapasiteetista taseensa korjaamiseksi, vaan se välttää tuotannossa syntyneen vajeen kuorman joustolla. Jotta tämä olisi mahdollista, täytyy kysyntäjoustopaikka olla fossiililla polttoaineilla tuotettua sähköä halvempaa. Lisäksi kysyntäjoustopaikka on oltava helposti ostettavissa suurissa määrin. Kuluttaja saa rahallista kompensatiota siitä, että on suostunut rajoittamaan sähkönsäilytystään tarvittaessa.

Kysyntäjoustopaikka etuna perinteiseen toimintatapaan verrattuna on nopeus. Kysyntäjoustopaikka on paljon nopeampaa valmistella käyttöön kuin uudelleenliittää voimalaitos verkkoon. Voimalaitoksella voi kestää jopa 30 minuuttia saavuttaa täysi tuotantokapasiteetti verkosta irtoamisen jälkeen, kun taas kysyntäjoustopaikka käyttöönottaminen on paljon nopeampaa vaihdellen millisekunneista muutamiin minuutteihin [3]. Kasvihuoneet ovat esimerkki joustokapasiteetista, joka voidaan aktivoida lähes välittömästi. Sähkökatkojen ollessa lyhytkestoisia niiden aiheuttamat haitat kasvihuoneille ovat erittäin vähäisiä. Kasvihuoneiden tuottamaa kysyntäjoustopaikkaa hyödynnetään sähköverkon taajuuden säätämiseen. Niiden kaltaisia kuormia on verkossa kuitenkin rajoitetusti. Vaikka synergiaetuja saavutetaan kasvihuoneiden tapauksessa, tämänkaltaisen tilanne on melko harvinainen. Verkossa kulutuksen noustessa tuotantoa suuremmaksi taajuus laskee ja päinvastoin, eli kulutuksen ollessa tuotantoa vähäisempää taajuus nousee. Kun taajuus laskee ennalta-asetetun rajan alapuolelle, joustokapasiteetti aktivoidaan. Signaalien äärellisen kulkunopeuden vuoksi joustojoustopaikka aktivointi ei tapahdu välittömästi, vaan siinä kestää joitakin millisekunneja. Siirtoverkkoyhtiöt hyödyntävät kysyntäjoustopaikkaa erityisesti reservimarkkinoilla. [5]

3. PICLO FLEX

Piclo Flex on Iso-Britannian kysyntäjoustomarkkinapaikka. Itse yritys, Piclo, perustettiin vuonna 2013 ja heidän nettisivuillaan on voinut käydä kauppaa joustotuotteista vuoden 2018 kesäkuusta alkaen. Ennen vuotta 2013 yritys käytti nimeä Open Utility. Piclo Flex ei ole sidonnainen energia-alaan saati edusta mitään järjestöä eikä se ole kauppojen osapuoli. Se on pelkästään ohjelmistoyhtiö, joka tarjoaa markkinapaikan. Piclo Flexin tavoitteena on yksinkertaistaa joustavuuspalveluiden hankintaa ja luoda markkinoille standardit, jotta ostajat voivat olla varmempia ostamansa tuotteen laadusta.

3.1 Markkinoiden osapuolet

Markkinoiden osapuolet ovat joustontarjoajat ja jouston ostajat, Piclo Flexin tapauksessa ostajia ovat vain verkonhaltijat. Joustontarjoajan täytyy luoda käyttäjätili Piclo Flexiin tarjotakseen kilpailuissa. Yleisessä tapauksessa ostajat voivat olla muitakin kuin verkonhaltijoita. Joustokapasiteetin myynnille ei ole ala- tai ylärajaa, joten kynnys osallistua markkinoille on matala. Kuitenkaan yksityishenkilöiltä osallistuminen markkinoille ei onnistu, vaan joustontarjoajan täytyy olla osakeyhtiö tai vastaava suurempi kokonaisuus. Yksityishenkilöt osallistuvat markkinoille välikäden, aggregaattorin, kautta. Tämä vähentää Piclo Flexin työmäärää, sillä se tekee selvityksen jokaisen myyjän toimitusvarmuudesta.

Aggregaattori on yritys, joka neuvottelee sekä hyödykkeen tuottajien ja myyjien, että kuluttajien ja ostajien kanssa. Aggregaattori käy kauppaa yksittäisten kuluttajien tai pienten kuluttajaryhmien kanssa jostakin tuotteesta, ja kokoaa sitä suuremmaksi kokonaisuudeksi. Kokonaisuus myydään sittemmin eteenpäin tahoille, joilla ei osaamattomuuden, kannattamattomuuden tai markkinointikanavien puutteen vuoksi ole mahdollisuutta tehdä tätä itse. Aggregaattorin liikeidea on veloittaa kyseisen vaivan säästämisestä. Esimerkiksi Piclo Flexin tapauksessa aggregaattorit ostavat yksityishenkilöiltä ja niihin rinnastettavilta toimijoilta kysyntäjoustoa. Koska yksityishenkilön myymän joustokapasiteetin määrä on todella vähäinen verrattuna

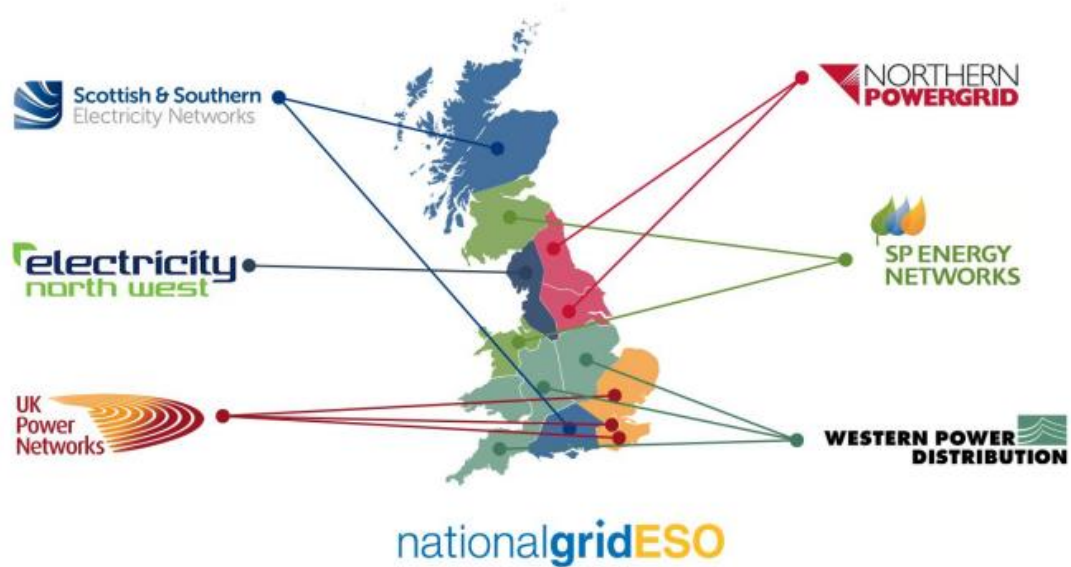
verkonhaltijoiden tarpeisiin, verkkohaltijat käyttävät mielellään aggregaattoreiden palveluita ostaakseen kerralla suurempia kokonaisuuksia. [6]

Aggregaattorit ovat suurin kysyntäjoustoparjoaja Piclo Flexissä noin 40 %:n osuudella. Sähköntuottajat, suuret teollisuusasiakkaat, muut joustontarjoajat sekä mahdolliset investoijat voivat joissakin tapauksissa tarjota joustoa. Yhteisöjen sekä kuntien osallistujat muodostivat 8,5 % myyntitarjouksista. Sähköautojen ja niiden latauspaikkojen osuus oli 4,7 %. [7] Sähköautoilla ja niiden latauspaikoilla joustoa luodaan purkamalla sähköautojen akkujen varausta latauspisteiltä sähköverkkoon. Sähköautojen omistajat ovat usein yksityishenkilöitä, ja latauspisteiden operaattorit ovat yleensä yhtiöitä. Sähköauton omistajalla ja latauspisteen operaattorilla on oltava sopimus hinnasta ja muista kaupan ehdoista.

3.2 Osto- ja myyntitarjouksien jättäminen

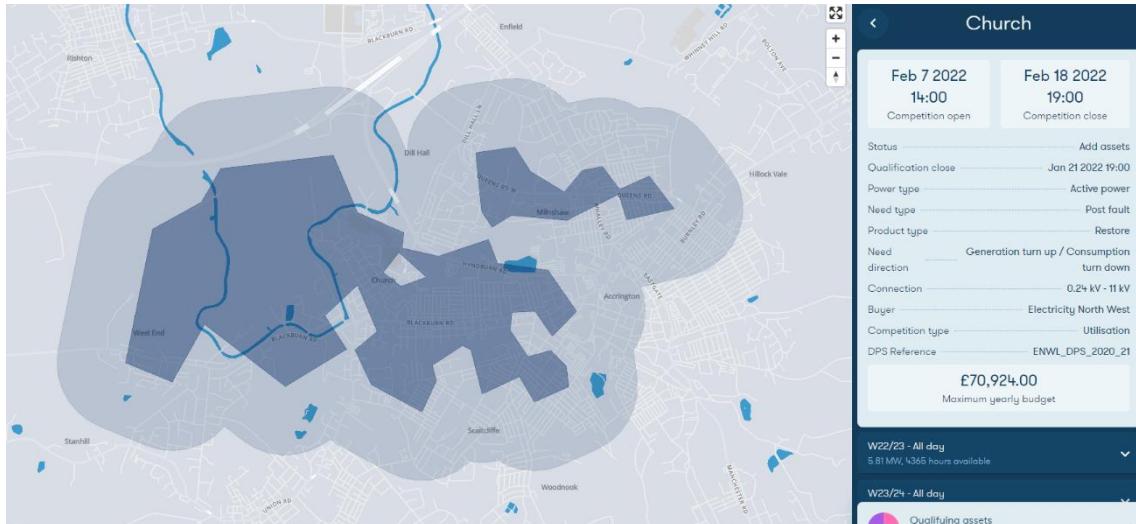
Piclo Flexin joustomarkkinoilla jouston ostaja luo ensiksi avoimen huutokauppaperustaisen kilpailun alueelle, jossa se tarvitsee kysyntäjoustoa. Seuraavaksi myyjät, eli joustontarjoajat, tekevät tarjouksia kyseiseen kilpailuun. Ostaja valitsee itselleen suotuisimmat tarjoukset, jonka jälkeen kilpailu sulkeutuu. Koska markkina-alueena on Iso-Britannia, jakeluverkkoyhtiöitä on kuusi ja kantaverkkoyhtiöitä yksi. Yhteensä mahdollisia jouston ostajia on Piclo Flexissä seitsemän [7]. Muilla markkinoilla tilanne voi olla erilainen, mutta tässä osiossa keskitytään vain Piclo Flexiin.

Kukin verkkoyhtiö voi perustaa kilpailun ainoastaan omalle alueelleen. Alueet on esitelty kuvassa 1.



Kuva 1. Iso-Britannian kanta- ja jakeluverkkoyhtiöiden toimialueet kartalla [8].

Esimerkiksi UK Power Networks, yksi Iso-Britannian kuudesta jakeluverkkoyhtiöstä, voi asettaa kilpailuja vain alueelle, jossa se omistaa jakeluverkon. Piclo Flexin näkymässä kilpailun nimeksi tulee alueen nimi, jonne kilpailu perustettiin. Kilpailun perustamisen jälkeen jouston ostajan tulee määrittää aikaikkuna, jona myyjät voivat jättää tarjouksia. Tärkein ilmoitettava tieto myyjien kannalta on haluttu sähkön jännitetaso, koska se on rajoittavin kriteeri kilpailuihin osallistumisessa. Voidakseen jättää myyntitarjouksen myyjän pitää ensin hyväksyttää joustokapasiteettinsa kilpailualueella. Piclo Flex tarkistaa myyjän edellytykset tarjota joustoa, jonka jälkeen se joko hyväksyy tai hylkää hakemuksen. Eräs hylkäyksen syy on myyjän kuuluminen puskurivyöhykkeelle. Muita syitä ovat puutteellisuudet palveluvaatimuksissa, mikä tarkoittaa, että myyjä ei ole laatinut toimitussuunnitelmaa tai kuorman regenerointilaskelmia. [9]



Kuva 2. Kilpailualue (kuvassa sinisellä) Englannin Churchissa, joka on ympäröity puskurivyöhykkeellä (kuvassa harmaalla) [1].

Piclo Flex muodostaa sähköverkkoyhtiöiden ja kilpailuiden alueet postinumeroiden perusteella. Postinumeroista voidaan määrittää mitkä verkkoyhtiön asiakkaat kuuluvat millekin sähköasemalle. Asiakkaat tarkasti rajatuilla alueilla (kuvassa 2 sinisellä) ovat liittyneinä alueella toimivan verkkoyhtiön sähköasemaan. Sähköasemia voi olla yhdellä kilpailualueella useampi. Liittyntä joustokapasiteettia voidaan käyttää sähköaseman tarpeisiin. Informaatio postinumeroista ja niitä vastaavista sähköasemista sekä niihin liittyneistä kuluttajista on saatu Piclo Flexin järjestelmään verkkoyhtiöiltä. Puskurivyöhyke eroaa tarkkarajaisesta vyöhykkeestä siten, että tiedot alueen asiakkaiden liitännöistä verkkoyhtiön sähköasemiin eivät ole varmoja. Piclo Flex käsittelee puskurivyöhykkeellä olevat joustontarjoajat tapauskohtaisesti tarkistamalla, ovatko kyseiset joustontarjoajat sähköisesti liittyneitä kilpailuun kuuluviin sähköasemiin vai eivät [9].

Ostajan tulee ilmoittaa palvelumaksut kilpailua perustaessaan. Ne ovat verkonhaltijoiden vuosittaisia maksuja joustontarjoajille verkkoon yhdistetystä kapasiteetista. Mitä enemmän joustontarjoajalla on joustokapasiteettia verkossa, sitä suurempia maksut ovat. Maksujen suuruus ei riipu myydyn jouston määrästä ja niiden yksikkö on €/MW. Myyntitarjoustusta jättäessään joustontarjoajan pitää ensin määrittää myymänsä joustotuote. Seuraavaksi ilmoitetaan aika vuorokaudesta, jona joustotuote on käytettävissä. Aikaikkunoihin voidaan tehdä rajauksia esimerkiksi sallimalla joustotuotteen käyttö vain viikonloppuisin tai tiettyinä viikonpäivinä. Ostajat ovat

useissa tapauksissa jaksottaneet kilpailunsa siten, että talvi- ja kesäkausille on omat kilpailunsa. Näin ollen joustotuotteen ei tarvitse olla käytettävissä vuoden ympäri. Myyntitarjouksen voi halutessaan jakaa kahdeksi erihintaiseksi tarjoukseksi. Joustotuotteen hinta jaetaan edelleen hyötykäyttöön ja käytettävyyteen. Hyötykäyttö on tuotteen toteunutta käyttöä, kun taas käytettävyydellä tarkoitetaan joustokapasiteetin varaamista käyttöön. [9] Verkonhaltijan on aina pystyttävä käyttämään joustotuotetta sovittuina aikoina, eli käytettävyyden on oltava 100 %.

Käytettävyyden rajatapauksena ovat sähköautot ja niiden akut jouston lähteenä. Yleisesti puhutaan V2G:stä (*vehicle to grid*). V2G tarkoittaa, että ajoneuvon akusta syötetään energiaa sähköverkkoon. Sähköautot ovat välillä ajossa, jolloin ne eivät voi tarjota joustoa sähköverkkoon, mikä tekee niistä rajatapauksen. Edes sähköauton ollessa yhdistettynä sähköverkkoon ei jouston tarjoaminen ole aina mahdollista, sillä akku voi olla tyhjä. Sähköautojen latauksesta puhuttaessa voidaan viitata koti- tai vierasverkkoon. Kotiverkosta on kyse, kun autoa ladataan alueella, jonne se on rekisteröity. Muulloin puhutaan vierasverkosta. [10] Yhdistettäessä latauspisteeseen, joko koti- tai vierasverkossa, sähköauto luovuttaa laturille tietoja. Paikallinen aggregaattori välittää tiedot ohjauskeskukseen esimerkiksi laskutusta varten. Tiedoista latauspisteen omistaja, joka on usein paikallinen aggregaattori, löytää muun muassa tiedot auton omistajan akun lataus- ja purkamismielityksistä. V2G-prosessin aluksi aggregaattori määrittää, onko auton omistaja joustontarjoaja vai ei. Tämän, sekä akun sen hetkisen varauksen perusteella akku aletaan joko purkamaan verkkoon tai lataamaan. [10] Aggregaattorilla ei voi olla varmuutta siitä, kuinka paljon V2G-kapasiteettia sillä on käytettävissä kullakin ajanhetkellä. Verkonhaltijan joustontarpeen epäsäännöllisen luonteen vuoksi aggregaattorin täytyy itse luoda luotettava arvio keräämästään datasta välttyäkseen toimittamattomuusmaksuilta. Todennäköisyyksiin perustuen sekä alakanttiin mitoittaen aggregaattori voi käydä kannattavasti kauppaa V2G:stä Piclo Flexissä.

3.3 Joustotuote

Piclo Flexissä käydään kauppaa erilaisista joustotuotteista ja varastokapasiteetista. Tuotteet hinnoitellaan käytettävyyden sekä kulutetun sähköenergian, eli hyötykäytön,

perusteella. Käytettävyyden hinta ilmoitetaan myyntitarjouksessa yksikössä £/MW/h ja hyötykäytön hinta yksikössä £/MWh. Käytettävyyden yksikkö kuvaa kuinka monta puntaa yhden megawatin suuruisen tehon varaaminen tunniksi maksaa. Energia määritellään tehon ja sen, kuinka pitkän ajan kyseistä tehoa käytetään, tulona.

$$E = Pt$$

(1)

Kaavassa 1 E on energia, P on teho ja t on aika. Esimerkiksi ladattaessa akkua jollakin teholla jokin aika, siihen kertyy varausta näiden tulon verran. Sama lopputulos voitaisiin saavuttaa lataamalla akkua pienemmällä teholla kauemmin. Toisaalta, esimerkiksi moottorin pyöriessä jollakin nopeudella ja omatessa jonkin vääntömomentin, tarvitaan tämän ylläpitämiseen tehoa tulon

$$P = \tau\omega$$

(2)

verran. Kaavassa 2 P on teho, τ on vääntömomentti ja ω on pyörimisnopeus. Jos tehoa pienennettäisiin ja moottoria käytettäisiin kauemmin pitäen näiden tulo vakiona, kulutettaisiin sama määrä energiaa, mutta moottori ei joko pyörisi halutulla nopeudella tai sen pyörittämästä akselista ei saataisi yhtä suurta vääntömomenttia. Arjessa energia ja teho mielletään usein synonyymeiksi, mitä ne eivät ole. Tämän vuoksi energia ja teho hinnoitellaan erikseen Piclo Flexissä.

Halutun joustotuotteen teho voi olla pätö- tai loistehoa, jonka ostajat ilmoittavat kilpailuissaan. Tämän lisäksi ne ilmoittavat kysyntäjoustopuolteen halutun suunnan. Suuntia on kaksi ja ne ovat alijäämäinen sekä ylijäämäinen. Alijäämäisyys tarkoittaa, että tuotantoa on tarvetta lisätä ja kulutusta on tarvetta vähentää. Ylijäämäisyys on alijäämäisyyden vastakohta, eli tällöin tuotantoa on tarvetta vähentää ja kulutusta on tarvetta lisätä. Suuntana alijäämäisyys on kilpailuissa selkeästi yleisempää, mikä tarkoittaa sitä, että verkossa on useammin liikaa kuormitusta kuin liian vähän. Alijäämäisyydestä selvittääkseen verkonhaltijat ostavat kuluttajilta lykkäystä, jonka ansiosta kulutushuippu madaltuu. [11]

Ostajan joustotarpeita, tarvetyyppejä, ovat lykkäys verkon vahvistamiseksi (*reinforcement deferral*), suunnitellut huoltotoimenpiteet, ei-suunnitellut toimenpiteet, jotka jakautuvat joustotarpeeseen ennen katkoa ja katkon jälkeen sekä muut mahdolliset syyt [11]. Lykkäyksellä verkon vahvistamiseksi tarkoitetaan tilannetta, jossa verkkoyhtiö siirtää asiakkaidensa kuormia pois kulutushuipuista. Näin tehdessään se pyrkii viivästyttämään tai jopa välttämään investointeja verkon siirtokapasiteetin kasvattamiseksi [3].

Tuotteiden tyyppinä on neljä ja niitä tarvitaan edellä lueteltuihin tarvetyyppeihin vastaamiseen. Tyypit ovat dynaaminen, turvaus, ylläpito ja palautus [12]. Tuote, jonka tyyppi on dynaaminen, on suunniteltu tukemaan sähköverkkoa kesähuoltotöiden aikana. Se vastaa joustotarpeeseen sähkökatkon jälkeen. Dynaamisten tuotteiden myyjien on pystyttävä vastaamaan käyttökutsuihin 15:n minuutin kuluessa. Sopimukset dynaamisen tyyppin joustotuotteiden hyödyntämisestä solmitaan viikkoa ennen kulutushetkeä. Turvaus-tyypin joustotuotteita ostajat kuluttavat ennen sähkökatkoa. Niiden tarkoituksena on ennaltaehkäistä kuormitusta ja rajoittaa verkon huippukuormitusta. Näiden tuotteiden kulutusajankohdasta sovitaan niin ikään viikko etukäteen. Ylläpito-tyyppiset joustotuotteet ovat tarkoitettu vastaamaan samoihin tarpeisiin kuin turvaus-tyyppiset joustotuotteet. Ylläpito-tyypin tuotteen käytöstä sovitaan useita viikkoja ennen kuin se kulutetaan ja sitä käytetään joustotarpeeseen suunniteltujen huoltotoimenpiteiden aikana. Viimeinen tuotetyyppi on palautus, ja sitä käytetään harvinaisten ja täysin odottamattomien vikojen tapauksessa. Palautus-tyypin tuotteen myyjä saa korvausta vain, jos myyty kapasiteetti osallistuu verkon käytönpalautukseen 15:n minuutin aikaikkunan sisällä. Kaiken tyyppisten tuotteiden hyötykäytöstä maksetaan korvaus. Lisäksi dynaamisista, turvauksellisista ja ylläpidollisista tuotteista maksetaan saatavuusmaksuja, eli korvauksia kapasiteetin varauksesta. [12]

3.4 Kaupankäynti

Kaikki Iso-Britannian verkonhaltijat käyttivät Piclo Flexiä bränditunnettavuutensa ja käynnissä olevien projektiensa näkyvyyden kasvattamiseen. Vain kaksi Iso-Britannian verkkoyhtiöistä käytti alustaa ostojen suorittamiseen vuonna 2019. [8] Piclo Flexin

kilpailut toimivat huutokauppaperiaatteella ja usein alimman tarjouksen tehnyt saa sopimuksen ostajan kanssa [13].

The screenshot shows the Pico Flex Provider interface for a bid submission. The header includes the Pico logo, a 'demo' tag, a 'Go to dashboard' button, and the user email 'alice@pico.energy Flex Provider'. The main section is titled 'Winchester' and displays contract details: 'Service period: Winter 19', 'Contract start: 1 October 2019', 'Contract end: 31 December 2019', 'Contract hours: 07:00 - 09:00', and 'Total need: 2.000 MW'. Below this, there are two rows of input fields for bid parameters. The first row shows: Capacity (0.508 MW max.) set to 0.5 MW, Maximum runtime set to 02:00:00, Availability offer set to 1 €/MWh, and Utilisation offer set to 1 €/MWh. The second row shows: Capacity (0.508 MW max.) set to 0.5 MW, Maximum runtime set to 02:00:00, Availability offer set to 2 €/MWh, and Utilisation offer set to 4 €/MWh. A 'split' button is visible next to the total need value.

Kuva 3. Myyntitarjousnäkyminen [9].

Kuvan 3 esimerkkitarjouksessa myyjä on jakanut tarjouksensa kahteen osaan. *Winchester* kuvan yläosassa viittaa kilpailun nimeen sekä alueeseen, jonne kilpailu on perustettu. Kilpailun nimen alapuolella olevalla tekstirivillä ovat järjestyksessä sopimuskausi, sopimuksen alkamis- ja päättymispäivät sekä joustontarpeen ajankohta ja määrä. Tummalla pohjalla olevat tiedot ovat ostajan ilmoittamia ja harmaapohjaiset kentät ovat joustontarjoajan täytettäväksi. Kuvassa 3 myyjän tarjoama kokonaiskapasiteetti on 1 MW, joka on halkaistu kahteen puolen megawatin osaan. Myytäväksi voi asettaa koko ostotarjouksen verran kapasiteettia tai vain osan siitä. Enempää joustokapasiteettia ei voi tarjota, kuin minkä Pico Flex on myyjälle järjestelmänsä asettanut joustonrekisteröintiprosessin päätteeksi. Jos myyjä yrittää asettaa tarjoutensa yhteiskapasiteettia yli hyväksytyin kokonaiskapasiteettinsa, ohjelmisto asettaa kentät siten, että myyjä automaattisesti tarjoaa kokonaiskapasiteettiaan. [9] Kuvassa 3 ostaja on määrittänyt kokonaistarpeeksi 2 MW, joten myyjä ei täytä koko kapasiteettitarvetta. Kysyntäjoustoa voi ostaa usealta eri myyjältä yhden kilpailun sisällä. Pico Flex -joustomarkkina tarjoaa ratkaisun osapuolien kohtaanto-ongelmaan. Jouston ostaminen halpuusjärjestyksessä ei aina tuota edullisinta lopputulosta, sillä kaikki tarjoukset eivät ole saatavilla samanaikaisesti saati samansuuruisia kapasiteetiltaan.

Kuvassa 3 halkaistun tarjouksen kaksi osaa on erotettu toisistaan harmaapohjaisiin kenttiin. Halkaisun syynä voi esimerkiksi olla, että myyjä saa osasta kapasiteettiaan suuremman taloudellisen hyödyn omassa käytössään. Tarjous on

halkaistu siltä varalta, että ostajan kapasiteettitarpeen noustessa yllättäen se ostaa kalliimmankin tarjouksen. Seuraava kenttä myyjän täytettävänä on aika, jona ostaja saa kysyntäjoustoa hyödyntää. Kuvassa 3 molemmat tarjoukset ovat voimassa koko mahdollisen ajan eli kaksi tuntia aikavälillä 07:00 - 09:00. Myyjän asettaman käyttöajan ollessa vähemmän kuin maksimiaika, ostaja käyttää joustotuotetta maksimissaan tämän ajan aikavälillä 07:00 - 09:00. Kahdessa viimeisessä kentässä myyjä määrittää hinnan sähköteholle ja -energialle.

Kuvan 4 prosessikaavio alkaa ostajan avatessa kilpailun Piclo Flexiin. Ostajan joustotarve saa näkyvyyttä. Tämän jälkeen myyjät tarkastavat palveluvaatimukset ja alkavat täyttää niitä osallistuakseen kilpailuun.



Kuva 4. Kaupankäynti Piclo Flexissä alusta loppuun [7].

Seuraavaksi joustotuotteet myydään, jonka jälkeen ne ovat verkonhaltijoiden käytettävissä. Kun joustotarpeita ilmenee, ostajat käyttävät varaamansa tuotteet, mikä määrittää joustotuotteiden lopullisen hinnan. Jotkin tuotteet maksavat huolimatta siitä, käyttikö ostaja niitä ollenkaan. Kun todellinen käyttö on toteutunut ja aikaikkunat tuotteiden käytölle umpeutuneet, ostajat saavat kuluttamistaan joustotuotteista laskun. Joustontarjoaja tekee voittoa ostajan realisoituneesta tehon sekä energian kulutuksesta, eli kulutetuista joustotuotteista. Lisäksi myyjälle maksetaan palvelumaksuja verkonhaltijan verkkoon liitetyn kapasiteetin mukaan. Jouston ostaja tekee voittoa joustotuotteiden mahdollistaman halvemman sähköntuotannon ansiosta. Myös mahdollisesti pienentyneet KAH-maksut voivat tuoda jouston ostajalle

taloudellista hyötyä. Prosessin lopuksi Piclo flex kerää markkinoiden osapuolilta arvosteluja ja palautetta alustastaan. Saatu data analysoidaan ja tarpeellisiksi koetut toimenpiteet suoritetaan.

Vuoden 2020 alkupuolella Piclo Flex sai rahoitusta Iso-Britannian hallitukselta Piclo Flex Exchangen perustamiseen [14]. Piclo hyödyntää joustavuuspalveluiden markkinapaikkansa menestystä laajentamalla alustansa verkkopörssiksi, jossa minkä tahansa joustotuotteen voi ostaa tai myydä. Piclo Flex Exchangesta luodaan joustopalveluiden, Iso-Britannian kantaverkkoyhtiön lisäpalveluiden jälkikaupan ja joustavien sähkönostosopimusten online-markkinapaikka [14]. Alustan käyttäjät voivat etsiä ja tehdä tarjouksia erilaisista tuotteista, samaan tapaan kuin esimerkiksi eBayssa. Joustava sähkönostosopimus (*power purchase agreement*) eli joustava PPA on sopimus sähkön myyjän ja ostajan välillä. Siinä määritetään sopimuksen alkamisajankohta, sähkön toimitusajankohta, alitoimituksen sakko, maksuehdot sekä sopimuksen irtisanomisehdot. [15] Piclo Flex Exchangen tavoitteena on olla keskitetty palvelupiste kasvavalle määrälle joustotuotteita.

4. SÄHKÖNJAKELUVERKOT JOUSTOMARKKINOILLA

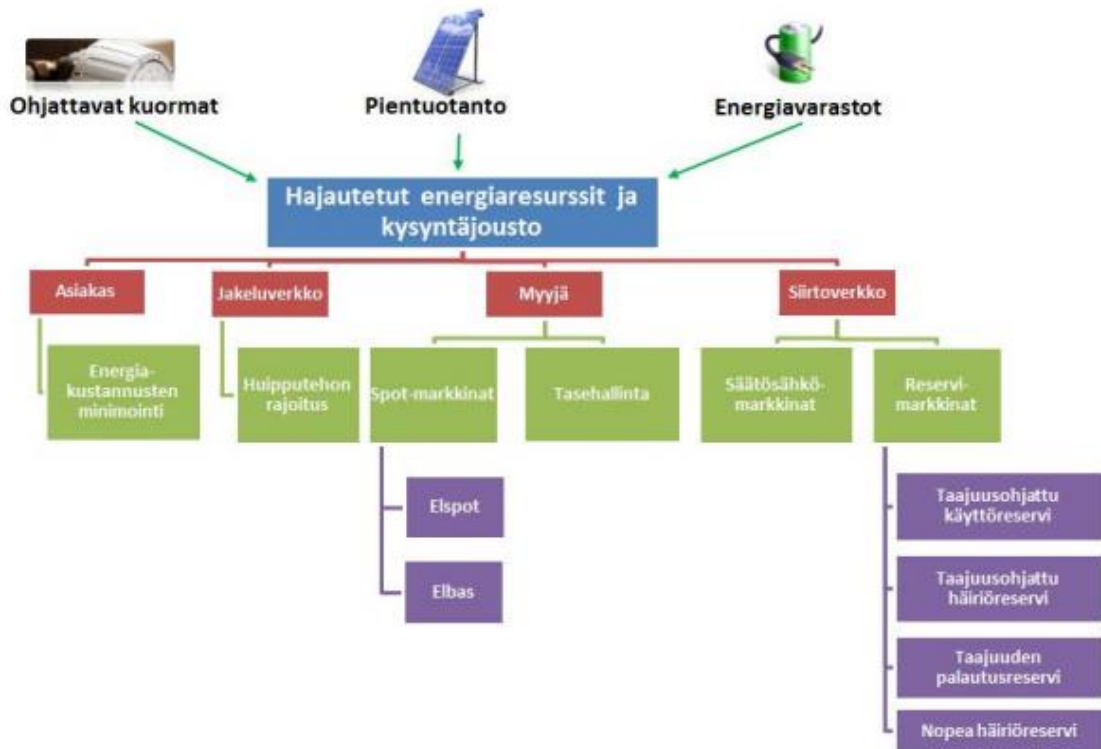
Verkkoyhtiöiden on valittava kahden vaihtoehdoisen investointiriskin väliltä. Joko ne kasvattavat verkon tehonsiirtokapasiteettia ja altistuvat hukkainvestointiriskille tai käyttävät uusia joustavusratkaisuja, joissa riskinä on palvelun luotettavuuden tuntematon taso. Vaikka jakelu- tai siirtoverkon haltijalla olisi kyky siirtää vuorokaudessa moninkertaisesti asiakkaidensa tarvitsema määrä energiaa, todellisuudessa ruuhkaisimmat ajat määrittävät, miten paljon energiaa asiakkaille voidaan siirtää. Kyse on pullonkaulan muodostumisesta, jossa se kuinka nopeasti energiaa pystytään siirtämään saa valtavan merkityksen. Kysyntäjoustolla voidaan hallita pullonkaulojen syntymistä sähköverkossa. Jotta joustokapasiteetti voi tulevaisuudessa vastata markkinoiden kasvavaan kysyntään, verkkoyhtiöiden täytyy madaltaa yksittäisten kuluttajien kynnystä osallistua joustomarkkinoille.

4.1 Edellytykset

Edellytyksiä kysyntäjoustop käytölle sähköverkossa ovat aikaisemmin esiteltyt tietoliikenneyhteydet sekä automatisoitu päätöksenteko ja niihin liittyvä infrastruktuuri. Suomi kuuluu maailman kärkimaihin automatisoidun päätöksentekoinfrastruktuurin suhteen. Suomessa lähes jokaisessa kodissa ja kiinteistössä on etäluettava energiamittari eli AMR-mittari (*Automated Meter Reading*). Jakeluverkonhaltijat voisivat ennaltaehkäistä pullonkaulojen syntymistä niiden avulla. [16] Kiinteistöissä, joissa on kysyntäjoustolla ohjattavia kuormia, on todennäköisesti jo olemassa AMR-mittarit. Infrastruktuurin lisäksi kysyntäjoustop aktivoimiseen tarvitaan jokin logiikka, jonka toteuttaminen olisi jakeluverkonhaltijoiden vastuulla. Muissa maissa AMR-mittarit eivät ole yhtä yleisiä kuin Suomessa, mutta tulevaisuudessa voidaan olettaa niiden määrän kasvavan maailmanlaajuisesti. Kysyntäjoustolla ohjattavia kuormitustyyppisiä ovat esimerkiksi lämmitys, jäähdytys sekä ilmanvaihto. Kuormanohjaus suurempiin kiinteistöihin, kuten kerrostaloihin, toteutettaisiin AMR-mittareiden kaltaisilla erillisillä ohjausjärjestelmillä. Näistä käytetään nimitystä HEMS (*Home Energy Management System*).

4.2 Jouston aktivointi

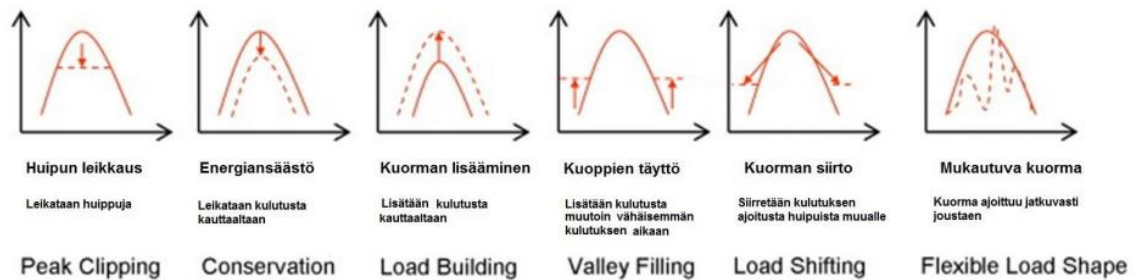
Suomen sähköverkon vaatimukset täyttääkseen etäluettavan mittarin tulee kyetä vastaanottamaan ja täytäntöönpanemaan tai välittämään eteenpäin viestintäverkon kautta lähetettäviä kuormanohjauskomentoja [16].



Kuva 5. Kysyntäjouston muodostuminen ja sähkömarkkinoiden osapuolten intressejä [16].

Sähköjärjestelmään luodaan joustoa aktivoimalla kysyntäjoustometodeja. Näitä ovat huipun leikkaus, kuoppien täyttö, kuorman siirto, kuorman lisääminen, energiansäästö sekä mukautuva kuorma [17]. Intuitiivisin kysyntäjoustometodi on leikata jakeluverkon huippukulutusta. Tällöin kulutuksessa joustetaan siten, että huippukulutuksen aikana esimerkiksi vedenlämmitys joissakin kiinteistöissä lopetetaan [18]. Koska vesi varaa lämpöä hyvin, huipun leikkaaminen ei aiheuta kuorman siirtymistä toiseen ajankohtaan. Kuoppien täyttö kysyntäjoustomenetelmänä tarkoittaa, että kulutusta ohjataan ajankohtiin, jolloin sähkönkulutus on vähäisempää. Yösähkötariffi, jolla siirtoverkko yhtiö ohjaa asiakkaitaan hinnan avulla, on esimerkki kuoppien täytöstä.

Demand response methods



Kuva 6. Kysyntäjoustometodit havainnollistettuna, energiantarve ajan funktiona [17].

Ydinvoimaloiden tuotantoa ei kannata ajaa alas missään tilanteessa, poikkeuksena huoltotauot. Ydinvoimaloiden kyvyttömyys säätää tuottamansa sähköenergian määrää on osasy yösähkön halvemmalle hinnalle. Energian säästäminen sekä kuorman lisääminen ovat joko kulutuksen leikkaamista tai lisäämistä. Tämän tyyppistä joustoa luodaan varastoimalla energiaa ja se aktivoidaan purkamalla energiavarasto. Esimerkiksi vesivoimalat hyödyntävät tätä metodologiaa. Jouston aktivointi on vesivoimaloiden tapauksessa usein manuaalista ja energiavarasto tyhjenetään, kun saadaan suurin taloudellinen hyöty [18]. Kuorman siirto eroaa huippukulutuksen leikkaamisesta siten, että kuorman oletetaan siirtyvän toiseen ajankohtaan. Esimerkiksi sähköauton akun lataaminen ei välttämättä ole pakollista heti, kun se kytketään sähköverkkoon. Jos kytkeminen tapahtuu huippukuormituksen aikaan, jakeluverkonhaltijan näkökulmasta lataaminen kannattaa suorittaa myöhäisempänä ajankohtana. Näin toimiessaan jakeluverkkoyhtiö leikkaa asiakkaan kulutushuippua. Viimeisenä esitellään mukautuvan kuorman metodi, jossa kuorma reagoi tuotannon ailahteluihin. Esimerkiksi tuulivoimat tuotannon jäädessä vajaaksi sääolosuhteiden muutoksen vuoksi tuulivoiman myyjä voi hyödyntää tätä metodologiaa. Metodissa kuorman ohjaus tapahtuu reaaliajassa, mikä tarkoittaa esimerkkitapauksessa seuraavaa tuntia. Myyjä ostaa kysyntäjoustoa Elbas-markkinoilta saadakseen kuorman vastaamaan tuotantoansa ja korjatakseensa tasevirheensä.

4.3 Seuraukset

Sähköverkossa tulee todennäköisesti olemaan nykyistä enemmän sähköautoja, maalämpöpumppuja ja kuluttajien omaa pientuotantoa. Tätä voidaan perustella päästötavoitteista johtuvalla päästökaupalla sekä fossiilisten polttoaineiden ehtymisellä, josta seuraa niillä tuotetun sähköenergian hinnannousu. Ydin-, tuuli- ja aurinkovoima ovat tuotantomuotoja, joita ei voida säätää. Koska tuotanto ei voi joustaa, on kulutuksen voitava. [18] Kysyntäjoustopon tarve lisääntyy uusiutuvien sähköntuotantoteknologioiden yleistyessä ja investointeja tietoliikenneyhteyksiin on tehtävä. Kilpailu sähkömarkkinoilla muuttuu luoden osapuolille uusia rahantekomahdollisuuksia. Huolimatta uusiutuvien energiantuotantomuotojen jatkuvasta kehityksestä, on niiden intergroiminen toimivaksi ja luotettavaksi osaksi sähköjärjestelmää haaste. Niiden luontaisen epävarmuuden, sekä akkujen vuotamisen vuoksi ollaan kaukana optimaalisesta pitkäaikaisesta energianvarastoinnista, jota tulevaisuuden sähköjärjestelmä väistämättä vaatii.

5. YHTEENVETO

Kysyntäjoustoa voidaan hyödyntää erilaisissa sähköverkon häiriötilanteissa. Kysyntäjousto käsittää pientuotannon, energiavarastot ja ohjattavat kuormat. Sen käyttämisestä on taloudellista hyötyä kaikille sähkömarkkinoiden osapuolille. Siirtoverkonhaltijat hyödyntävät kysyntäjoustoa reservimarkkinoilla ja jakeluverkonhaltijat voivat sen avulla madaltaa verkkonsa huippukuormitusta pitkällä aikavälillä luotettavasti. Usein aikoina, joina sähköverkko on kuormittunut, kuluttajille tarjoutuu mahdollisuus tarjota kysyntäjoustoa. Sähkönmyyjät käyvät kauppaa kysyntäjoustopista hallitakseen tasettaan. Kysyntäjoustopin yleispäteviä ja välillisesti suuria ihmismääriä koskettavia hyötyjä ovat puhtaammin tuotettu sähkö ja sähköverkon parantunut toimitusvarmuus.

Piclo Flexissä markkinoiden osapuolet ovat joustontarjoajat ja Iso-Britannian verkonhaltijat. Kilpailuissa ostaja määrittää jouston suunnan joko ali- tai ylijäämäiseksi. Alijäämäisyys tarkoittaa tarvetta lisätä tuotantoa ja vähentää kulutusta. Ylijäämäisyys on alijäämäisyyden vastakohta, eli tuotantoa vähennetään ja kulutusta lisätään. Piclo Flex -joustomarkkinoilla voi käydä kauppaa pätö- ja loistehosta.

Kaupankäyntiprosessi Piclo Flexissä alkaa ostajan avatessa kilpailun haluamalleen alueelle, jolloin ostajan joustotarve saa samalla näkyvyyttä. Seuraavaksi myyjät alkavat täyttämään pätevyysvaatimuksia osallistuakseen kilpailuun. Myyntitarjousten jättämisen jälkeen verkonhaltijat ostavat joustotuotteet Piclo Flexistä. Myyjät määrittävät hinnan teholle ja energialle myyntitarjouksissaan. Kun joustotarpeita ilmenee, ostajat käyttävät ostamansa tuotteet, mikä määrittää joustotuotteiden lopullisen hinnan. Joustotuotteiden käytettävyyden lisäksi hyötykäytöstä maksetaan korvaus. Piclo Flex kerää asiakkailtaan jatkuvasti palautetta kehittääkseen toimintaansa.

Ostajan joustotarvetyyppejä ovat lykkäys verkon vahvistamiseksi, suunnitellut huoltotoimenpiteet, ei-suunnitellut toimenpiteet, jotka jakautuvat joustotarpeeseen ennen katkoa ja katkon jälkeen sekä muut mahdolliset syyt. Joustotuotteiden tyypit ovat dynaaminen, turvaus, ylläpito sekä palautus, ja niitä käytetään tarvetyyppeihin

vastaamiseen. Kysyntäjouaston aktivointimetojeja ovat huipun leikkaus, kuoppien täyttö, kuorman siirto, kuorman lisääminen, energiansäästö sekä mukautuva kuorma.

Sähköautot, maalämpöpumput ja kuluttajien oma pientuotanto tulevat todennäköisesti lisääntymään sähköjärjestelmässä. Kysyntäjouaston tarve lisääntyy uusiutuvien sähköntuotantoteknologioiden yleistyessä, joka johtaa viestintäinfrastruktuuriin investoimiseen. Ydin-, tuuli- ja aurinkovoima ovat tuotantomuotoja, jotka tarvitsevat kysyntäjoustoä täyttääkseen nykypäiväiset sähköverkon korkeat toimintavarmuusstandardit.

LÄHTEET

- [1] "Piclo Flex," 2021. [Online]. Saatavissa: <https://picloflex.com>. [Haettu 20.9.2021].
- [2] "Helen," [Online]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/en/companies/electricity-for-companies/kulutuksen-hallinta-ja-optimointi/demand-response>. [Haettu 20.9.2021].
- [3] Balijepalli ja VSK Murthy, "Review of demand response under smart grid para-digm," ISGT2011-India, 2011.
- [4] M. Kauniskangas, "Hyvä tietää sähkömarkkinoista," [Online]. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/uusi_versio_sahkomarkk.pdf. [Haettu 23.11.2021].
- [5] K. Christensen, Z. Ma, Y. Demazeau ja B. N. Jørgensen, "Agent-based Modeling of Climate and Electricity Market Impact on Commercial Greenhouse Growers' Demand Response Adoption," tekijä: *2020 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)*, 2020.
- [6] K. T. Ponds, A. Arefi, Sayigh A ja G. Ledwich, "Aggregator of demand response for renewable integration and customer engagement: Strengths, weaknesses, opportunities, and threats," *Energies*, 11(9).
- [7] "Piclo Flex," 2019. [Online]. Saatavissa: <https://piclo.energy/publications/Piclo+Flex+-+Flexibility+and+Visibility.pdf> . [Haettu 20.9.2021].
- [8] "Piclo Flex," 2019. [Online]. Saatavissa: <https://piclo.energy/publications/Piclo+Flex+-+Energy+on+Trial.pdf> . [Haettu 20.9.2021].
- [9] "Piclo Flex webinar," 2019. [Online]. Saatavissa: <https://cdn.livestorm.co/uploads/media/file/7cd78e24-3977-4865-82d6-091a5757ebbf/0dcdf7b3-9578-482c-a784-fd7af740a13e.mp4?v=1548693711>. [Haettu 21.11.2021].
- [10] N. Saxena ja B. Choi, "Authentication scheme for flexible charging and discharging of mobile vehicles in the V2G networks," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, pp. 1438-1452, 2016.
- [11] "UK Power Networks," 2019. [Online]. Saatavissa: <https://smartgrid.ukpowernetworks.co.uk/wp-content/uploads/2019/11/futuresmart-flexibility-roadmap.pdf> . [Haettu 21.11.2021].
- [12] "Flexible Power UK," [Online]. Saatavissa: <https://www.flexiblepower.co.uk/about-flexibility-services> . [Haettu 21.11.2021].
- [13] J. Johnston, *Piclo Flexin tj. ja perustajajäsen*. [Haastattelu].
- [14] "Piclo Flex," 2020. [Online]. Saatavissa: <https://piclo.energy/publications/Piclo+Flex+-+Exchange+project+launch.pdf> . [Haettu 20.9.2021].
- [15] A. Thumann ja E. A. Woodroof, "What is a Power Purchase Agreement," *Energy Project Financing: Resources and Strategies for Success*, p. 93, 2009.
- [16] P. Järventausta ja S. Repo, "Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli)," Tampereen Teknillinen yliopisto, Tampere, 2015.
- [17] "EE.EES.450 Distributed Energy Resources in Electricity Networks," Tampereen Yliopisto, Tampere.
- [18] Honkapuro ja Sihvonen, "Jousto 2035 visio – Energiajärjestelmän jouston tarpeet ja toteutuspotentiaali 2035," Lappeenranta-Lahden Teknillinen Yliopisto LUT, Lappeenranta, 2020.