

Aki Haapatalo

KIINTEISTÖKOHTAISILLA MIKROVERKOLLA TOTEUTETUN KYSYNNÄN JOUSTON POTENTIAALI

Diplomityö
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta
Tarkastaja: prof. Pertti Järventausta
Tarkastaja: prof. Sami Repo
Toukokuu 2020

TIIVISTELMÄ

Aki Haapatalo: Kiinteistökohtaisella mikroverkolla toteutetun kysynnän jouston potentiaali
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2020

Viime vuosina energian tuotantoa on Suomessa muutettu hiilettömämpään ja päästöttömämpään suuntaan. Tähän on pyritty lisäämällä uusiutuvan energian määrää sekä parantamalla energiatehokkuutta. Nämä muutokset ovat aiheuttaneet vaihtelua sähkön tuotannon ja kulutuksen välille. Aurinko- ja tuulienergian osuuden kasvaessa, ovat myös tuotannon tarpeet muuttuneet. Sääolosuhteista riippuvaiset energiantuotantomuodot vaativat rinnalleen säätövoimaa, jolla pyritään saavuttamaan tasapaino sähkön kulutuksen ja tuotannon välille. Säätövoiman määrän tarvetta voidaan vähentää kysynnän jouston avulla. Kysynnän joustolla voidaan leikata kulutushuippuja ja siirtää niitä toisiin ajankohtiin.

Diplomityön tavoitteena oli selvittää mikroverkoilla toteutetun kysynnän jouston potentiaalia Suomessa. Tavoitteena oli selvittää kysynnän jouston tuomia taloudellisia hyötyjä Suomessa, kun osa kiinteistön sähkön tarpeesta tuotetaan aurinkopaneeleilla. Lisäksi tuli arvioida kysynnän jouston potentiaalia asiakkaan ja palveluntarjoajan näkökulmasta.

Työn rakenne on jaettu kahteen osaan niin, että ensin tarkastellaan kysynnän jouston mahdollisuuksia ja toteutustapoja. Lisäksi esitellään kysyntäjousto palvelu sekä laskentatyökalu, jolla kannattavuuslaskelmat suoritetaan. Toisessa osassa esitellään esimerkkinä toimiva kohdekiinteistö, jolle kannattavuuslaskelmat suoritetaan, sekä käydään läpi tarvittavat lähtöarvot kysynnän jouston mallinnusta varten. Tämän jälkeen esitetään kannattavuuslaskelmien tulokset sekä niiden perusteella tehdyt päätelmät.

Kannattavuuslaskelmien perusteella voitiin arvioida kysynnän jouston kannattavuutta. Kun kysynnän jousto on toteutettu mikroverkoilla ja sähköä tuotetaan aurinkopaneeleiden avulla, voidaan mallinnusten avulla löydetyissä optimaalisimmissa tapauksissa saavuttaa kohtuullinen takaisinmaksuaika sekä tuotto. Näissä tapauksissa kysynnän jouston toteuttaminen on kannattavaa sekä asiakkaan että palveluntarjoajan näkökulmasta. Suomen rakennuskantaan verratessa voidaan todeta, että työssä saavutetut laskentatulokset ovat toistettavissa myös muissa suuren kokoluokan kiinteistöissä, mikäli sähkönkulutus on riittävän suurta. Lisäksi työssä esitellään myös toinen mahdollinen liiketoimintamalli, jossa kysynnän joustoa toteutetaan yhdessä usean asiakkaan kanssa. Tässä liiketoimintamallissa myös pienemmän sähkönkulutuksen omaavat kiinteistöt voitaisiin lisätä kysynnän jouston käyttäjiin.

Avainsanat: Kysynnän jousto, mikroverkot, aurinkopaneelit, sähkömarkkinat.

ABSTRACT

Aki Haapatalo: Demand response potentialities with real estate specific microgrid
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Electrical Engineering
April 2020

Over the past couple of years Finnish energy production has been moving towards carbon-free and emission-free production. These goals have been achieved by increasing the use of renewable energy as well as by improving energy efficiency. The implementation of these changes has caused variation between electricity supply and demand. While the share of solar and wind energy increases, the needs regarding electricity production have changed. Weather-dependent forms of energy production need support from flexible energy production achieve a balance between electricity supply and demand. The need of flexible energy production can be reduced by the using demand response system (DR) aiming to cut down consumption peaks and to shift them to other times.

The purpose of this thesis was to evaluate microgrid-produced DR potentialities in Finland. The aim was to find out eventual economic benefits of demand response system in Finland, while part of the household's electricity needs is covered by solar panels. Additionally, the potential of demand response has been assessed from customers and electricity operator's perspective.

This thesis will be divided into two parts. The first part will present an overview of demand response system benefits and energy transmission methods. Additionally, demand response service and cost component calculation tools will be introduced. The second part of this thesis will present an example of a building used as a simulator for studies, calculations and used parameters. The second part will also describe the outcome of profitability analysis, calculations and conclusions.

By using the profitability calculations, profitability of the demand response system could be assessed. Based on the study results produced by simulator building, it has been demonstrated that when the demand response system is generated by microgrids while electricity is produced by solar panels, a reasonable payback period as well as a profit can be achieved. In these cases, implementing demand response is beneficial for both clients and suppliers. Comparing these findings to Finnish construction planning, we can conclude that the used calculations can be repeated and re-applied to bigger households if electricity consumption is high enough. In addition, another possible demand response business model which combines several customers into bigger pools has been presented. In this business model, households with lower electricity consumption could also be shifted to demand response system.

Keywords: demand response, microgrid, solar panel, electric markets

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Schneider Electric Finland Oy:n energia ja palvelutuotanto yksiköiden yhteistyönä. On ollut mielenkiintoista tehdä diplomityötä, joka yhdistää kaksi eri yksikköä toisiinsa ja lisää näin Schneider Electric Finland Oy:n sisäistä yhteistyötä.

Haluan kiittää työni ohjaajaa DI Morris Blombergia mahdollisuudesta tehdä diplomityö tästä aiheesta. Suuret kiitokset hänelle myös auttavista kommenteista työn tekemisen aikana. Kiitos myös muille Schneider Electricin työntekijöille, jotka mahdollistivat tämän diplomityön tekemisen. Lisäksi haluan kiittää työni tarkastajaa, professori Pertti Järventaustaa, työn täsmällisestä tarkastamisesta ja kommenteista.

Viimeisenä haluan kiittää avopuolisoani Lottaa sekä perhettäni tuesta, jota olen heiltä saanut diplomityön tekemisen sekä koko opintojeni ajan. Heiltä saatu henkinen tuki ja positiivinen kannustus olivat suuressa roolissa opintojeni loppuunsaattamisen osalta. Välillä töiden ja opiskelun yhdistäminen oli vaikeaa, mutta heidän tuellaan se onnistui.

Tampereella, 6.5.2020

Aki Haapatalo

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Schneider Electric Finland Oy	2
1.2 Työn tavoite, rajaukset ja rakenne	2
2. KYSYNNÄN JOUSTO	4
2.1 Mitä on kysynnän jousto	4
2.2 Kysynnän jouston toteutustavat	7
3. SCHNEIDER ELECTRICIN KYSYNNÄN JOUSTO PALVELUN ESITTELY	9
3.1 EcoStruxure™ Microgrid Advisor	9
3.2 Laskentatyökalu MicroGrid Design Tool	12
3.2.1 MGDT-laskentatyökaluun tarvittavat lähtötiedot	13
3.2.2 MGDT-laskentatyökalun ominaisuudet	15
4. KYSYNNÄN JOUSTON TUOMA ARVO	17
4.1 Kysynnän jouston tuoma arvo asiakkaalle	17
4.2 Kysynnän jouston tuoma arvo Schneider Electricille	20
5. KOHDEKIINTEISTÖN LÄHTÖTIEDOT	23
5.1 Kohteen lähtötietojen selvitys	23
5.2 Kiinteistön sähkönkulutus	24
5.3 Aurinkopaneelijärjestelmä	26
5.4 Energiatuki	30
5.5 Akuston valinta	31
5.6 Sähköenergian hinta	32
5.7 Sähkön siirtohintaa	33
6. KYSYNNÄN JOUSTON KANNATTAVUUSLASKELMAT	36
6.1 Jakeluverkkoyhtiöiden maksujen vaikutuksen vertailu	36
6.2 Sähköenergian hinnan vaikutuksen vertailu	42
6.3 Aurinkosähköjärjestelmän tehokkuuden vertailu	43
6.4 Akuston suuruuden vaikutuksen vertailu	46
6.5 Energiatuen vaikutuksen vertailu	49
7. KANNATTAVUUSLASKENNAN JOHTOPÄÄTÖKSET	51
7.1 Potentiaalisin vaihtoehto	51
7.2 Kysyntäjousto palvelun lopputulosten arviointi asiakkaan näkökulmasta 54	
7.3 Kysyntäjousto palvelun lopputulosten arviointi Schneider Electricin näkökulmasta	56
8. YHTEENVETO	59

9.LÄHTEET 61

LYHENTEET JA MERKINNÄT

aFRR	eng. automatic frequency restoration reserve, automaattinen taajuudenhallintareservi
AMR	eng. automatic meter reading, automaattinen mittarinluenta
BESS	eng. battery energy storage system, akkujärjestelmä
BMS	eng. building management system, kiinteistöautomaatiojärjestelmä
DER	eng. distributed energy resource, hajautettu energianlähde
EBO	EcoStruxure™ Building Operation, Schneider Electricin kiinteistöautomaatiojärjestelmä
EMA	EcoStruxure™ Microgrid Advisor, Schneider Electricin kysynnän jousto palvelu
EMO	EcoStruxure™ Microgrid Operation, Schneider Electricin mikroverkon ohjauspalvelu
eValvomo	Schneider Electric Finlandin kehittämä kiinteistöautomaation pilvipohjainen hallinta-alusta
FCR-D	eng. frequency containment reserve for disturbance, taajuusohjattu häiriöreservi
FCR-N	eng. frequency containment reserve for normal operation, taajuusohjattu käyttöreservi
GUI	eng. graphical user interface, graafinen käyttöliittymä
HMI	eng. human-machine interface, käyttöliittymä, jota käytetään ohjelmoitavan logiikan ja ihmisen välisessä kommunikaatiossa
IoT	eng. internet of things, esineiden internet, järjestelmä joka yhdistää teknisten laitteiden ohjauksen ja seurannan internetin kautta
IRR	eng. internal rate of return, investoinnin sisäinen korkokanta
IT	informaatioteknologia, tietotekniikka
KPI	eng. key performance indicator, talouteen sekä ympäristöön vaikuttava suorituskykymittari
LCOE	eng. levelized cost of energy, eri energiantuotantomuodoille keskenään vertailukelpoinen tuotantohinta
mFRR	eng. manual frequency restoration reserve, säätösähkö- ja säätökapasiteettimarkkinat
MGDT	MicroGrid Design Tool, Schneider Electricin kysynnän jousto palvelun laskentatyökalu
NPC	eng. net present cost, nykyiset nettokustannukset
NPV	eng. net present value, nettonykyarvo
ROI	eng. return on investment, sijoitetun pääoman tuotto
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö

1. JOHDANTO

Suomen energia- ja ilmastopolitiikka perustuu vahvasti Euroopan unionissa sovittuihin tavoitteisiin ja toimenpiteisiin. EU:n vuodelle 2030 asettama kasvihuonekaasujen päästövähennystavoite Suomelle on 39 % vuoden 2005 tasoon verrattuna. Vuonna 2016 Suomen hallitus linjasi toimia, joilla tuohon tavoitteeseen pyritään pääsemään. Yksi tavoitteista on puhtaat energiaratkaisut. Tämä tarkoittaa sitä, että energiantuotannossa kasvatetaan hiilettömän, päästöttömän ja uusiutuvan energian osuutta. Uusiutuvan energian osuutta nostetaan yli 50 prosenttiin 2020-luvulla. Myöhemmin tavoitteena on saavuttaa täysin hiilineutraali yhteiskunta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017)

Sähköntuotannossa päästöttömän, hiilettömän ja uusiutuvan energian osuuden kasvaessa joudutaan ottamaan huomioon myös muutoksen tuomat vaikutukset sähkön tuotannon ja kulutuksen välisiin vaihteluihin. Kun aurinko- ja tuulienergian osuus lisääntyy, muuttuvat myös tuotannon tarpeet. Sääolosuhteiden mukaan vaihtelevat energiantuotantomuodot vaativat rinnalleen myös säätövoimaa. Säätövoimalla tarkoitetaan sähköntuotantoa, jonka avulla voidaan reagoida sähkön kulutuksen ja tuotannon välisiin vaihteluihin. Nykytekniikan avulla ei voida vielä varastoida suuria määriä sähköä, joten sitä on tuotettava verkkoon yhtä paljon kuin sitä kulutetaan. Säätövoimasta suurin osa tuotetaan vesivoimalla Suomessa tai siirretään muista Pohjoismaista. (Haveri, et al., 2020)

Suomessa sähköjärjestelmältä vaaditaan luotettavuutta. Säätövoimalla voidaan tukea sääolosuhteista riippuvaisten tuotantomuotojen sähköntuotantomäärän vaihtelua. Säätövoiman määrän tarvetta puolestaan voidaan vähentää lisäämällä ja kehittämällä sähkön kysynnän joustoa. Kysynnän joustolla voidaan leikata sähkön kysyntähuippuja. Sen avulla voidaan myös vähentää sähkön tarvetta häiriötilanteissa. (Haveri, et al., 2020) Kysyntäjoustosta on hyötyä myös kulutuksen normaalitilanteessa, sillä silloin kapasiteettitarve vähenee sähkön tuotannossa ja verkoissa. Se myös vahvistaa kuluttajan merkitystä sähkömarkkinoilla sekä edistää uusiutuvan energian integrointia. (Honkapuro, 2020)

1.1 Schneider Electric Finland Oy

Schneider Electric on perustettu Ranskassa vuonna 1836. Alkuvaiheessa yrityksen toimialana oli rauta- ja terästeollisuus, mutta 1800-luvun loppupuolella toimintaa laajennettiin sähkö- ja automaatiomarkkinoille. Nyt 184 vuotta myöhemmin, Schneider Electric on maailmanlaajuinen energianhallinnan sekä automaation asiantuntija ja sillä on toimintaa yli sadassa maassa. Suomessa Schneider Electric Finland Oy toimii 20 paikkakunnalla ja työllistää yli 500 henkilöä. Konserni toimii infrastruktuuri- ja energiamarkkinoilla, rakennusautomaatiossa, asuinkiinteistösovelluksissa, teollisissa prosesseissa sekä tietoliikenneverkoissa ja -keskuksissa. (Companies History, 2020; Schneider Electric, 2020a)

Schneider Electric tarjoaa digitaalisia automaatio- ja energiaratkaisuja tehokkuutteen ja kestävään kehitykseen. Palvelun tarjoajana se yhdistää reaaliaikaisen automaation, energiateknologiat, palvelut ja ohjelmistot rakennusten, kotien, datakeskusten, teollisuuden sekä infrastruktuurien integroituihin ratkaisuihin. Schneider Electric on kehittänyt tätä tarkoitusta varten esineiden internetiä (IoT) hyödyntävän avoimen alustan. Tätä alustaa kutsutaan EcoStruxureksi. EcoStruxure on jaettu kuuteen eri osa-alueeseen, jotka ovat kiinteistö, laitteet, sähköverkko, IT, sähköjakelujärjestelmä ja digitaalinen alusta. Alustalla voidaan yhdistää eri tuotteita ja hallita niiden rajapintoja sekä tarjota palveluita ja erilaisia sovelluksia. (Schneider Electric, 2020b)

1.2 Työn tavoite, rajaukset ja rakenne

Yleensä kysynnänjoustoä käsitellään sähköntuottajan tai sähkökuluttajan näkökulmasta. Tämä työ on tehty yhdessä Schneider Electric Finland Oy:n kanssa, joka on kysynnänjoustoä näkökulmasta katsottuna kolmas osapuoli. Työn tavoitteena on selvittää, millaisia asiakastarpeita on sähkönkulutukseltaan eri kokoisilla kiinteistöillä energian kysynnän joustoä ja mitä hyötyjä Schneider Electric voi tuotteillaan tuoda sähkönkuluttajalle. Asiakastarpeista määritellään Schneider Electricin kannalta kiinnostavimmat ja selvitetään kuinka suuri potentiaali ja toistettavuus Suomen kiinteistöäkannassa on. Suomen kiinteistö- ja kuluttajamassan suuruus riippuu paljon siitä, millainen takaisinmaksuaika Schneider Electricin tuotteilla voidaan saavuttaa tietyn suuruisella kulutuksella ja kulutusprofiililla. Tavoitteena on myös selvittää millaista hyötyä kysynnänjoustoä tuotteesta on ja mitä muita hyötyjä sillä voidaan saavuttaa kuin pelkkä taloudellinen hyöty. Asiakashyötyjen arviointia valituissa asiakastarpeissa tutkitaan kvantitatiivisesti ja kvalitatiivisesti. Valittuihin ratkaisuihin suoritetaan myös kannattavuuslaskelmat ja selvitetään erilaisia arvoehdotuksia.

Schneider Electricin kysynnänjoustotuote on Microgrid advisor ja sillä voidaan hallita kiinteistön energian kulutusta säätietojen perusteella. Tässä diplomityössä aihe on rajattu niin, että käsittelyyn on otettu mukaan vain sähköenergia ja sähkönsiirto. Näin ollen takaisinmaksuajat on laskettu vain sähkönkulutuksen perusteella, eikä esimerkiksi kaukojäähdytystä ja -lämmitystä ole otettu huomioon. Laskennassa olevan esimerkkikiinteistön sähkönkulutuksen suuruus on valittu niin, että se kattaisi riittävän suuren osuuden Suomessa olevista isoista sähkönkuluttajista. Esimerkkikiinteistö on suuri toimistokiinteistö ja on arvioitu, että Suomessa olisi noin 5000 saman suuruusluokan sähkönkuluttajaa.

Tässä työssä on tarkemmin tutkittu keskikokoisen toimistokiinteistön toimivuutta Schneider Electricin tarjoaman kysynnänjoustoratkaisun käyttäjänä. Kysynnänjouston kannattavuutta laskettaessa on kokeiltu erilaisia sähköenergian hinnoitteluvaihtoehtoja: spot-hinta ja kiinteähinta. Työssä on myös laskettu eri kokoisten aurinkopaneelijärjestelmien vaikutusta järjestelmän takaisinmaksu-aikaan. Laskennassa on myös kokeiltu miten tulevaisuudessa tapahtuva sähköenergian ja sähkönsiirron hinnan nousu vaikuttaa takaisinmaksu-aikaan.

Diplomityön rakenne on suunniteltu niin, että kappaleet kaksi, kolme ja neljä ovat teoreettista osaa. Niissä käsitellään yleisesti mitä kysynnän jousto on ja mistä sen tuomat hyödyt ovat peräisin sekä mitkä tekijät vaikuttavat hyötyjen suuruuteen. Kappaleessa viisi on esitetty kannattavuuslaskelmat. Kappaleessa kuusi käydään läpi kannattavuuslaskelmien tulokset ja tehdään niiden perusteella arviot Microgrid Advisorin hyödyistä sähkön kuluttajalle. Schneider Electricin näkökulmaa kannattavuuslaskelmien tuloksista käydään läpi kappaleessa seitsemän.

2. KYSYNNÄN JOUSTO

Perinteisesti Suomen sähkömarkkinoilla on totuttu siihen, että sähköntuotanto on mukautunut kulutuksen muutoksiin. Se on sopinut hyvin sähkön tuotantorakenteelle, mutta ilmastonmuutoksen torjunnan myötä tuotantorakenne on muuttunut. Uusiutuvan energian lisäämisen sekä samanaikaisesti lauhdekapasiteetin vähentämisen myötä perinteinen säätyvän tuotantokapasiteetin osuus on vähentynyt. Tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto on vaihtelevaa ja niiden osuuden lisäämisen myötä tuotannon ennustettavuus on epävarmempaa. Tämän takia säätövoiman tarve on kasvanut entisestään. (Heinimäki, 2020)

Sähkön tuotantorakenteen muutoksen myötä sähköjärjestelmän joustavuus vähenee. Sähkön saatavuuden vaihtelu vaikuttaa sähkön hintaan, eli se kasvattaa ja lisää hinnan heilahtelua. Ajoittain sähköä on tarjolla vähän ja kalliimmalla, toisinaan sitä taas on saatavilla paljon ja halvalla. Tästä johtuen onkin kannattavaa, että sähkönkulutus mukautuu sähköntuotannon vaihteluihin. Sähköjärjestelmän tuotantorakenteen muutokseen ja hinnan vaihteluihin ratkaisuna toimii kysynnän jousto. (Heinimäki, 2020)

2.1 Mitä on kysynnän jousto

Kun puhutaan sähkön käytön kysynnän joustosta, sillä tarkoitetaan sähkön kulutuksen hetkellistä muuttamista tehtasapainon ylläpidon takia tai sähkön käytön siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan. Tehotasapainon hallintaa on toteutettu Suomessa jo pitkään, mutta se keskittynyt kuitenkin lähinnä suurteollisuuteen. Kulutuksen hallintaa voivat toteuttaa kuitenkin myös pienemmätkin kuluttajat. (Fingrid, 2020a)

Kysynnän jousto ei ole uusi keksintö, vaan sitä on toteutettu jo pidemmän aikaa. Esimerkiksi kulutuksen hallintaa on tehty niin, että sähkön kulutusta on siirretty yölle, mikäli käytössä on ollut yösähkö hinnoittelu. Sähkön kulutuksen siirtoa yölle on voitu toteuttaa niin, että esimerkiksi sähkölämmitys on ajastettu toimimaan yöllä. Näin ollaan kulutettu sähköä, kun sähkön hinta on ollut halvempaa. Sähkön hinta määräytyy tuotannon ja kulutuksen perusteella. Kun kulutusta voidaan siirtää joustavamman kysynnän avulla edullisemmille tunneille, kulutuksen painoarvo hinnanmuodostuksessa suurenee. Sähkön kysynnän pienentyessä laskee myös sähkön hinta. Näin kysynnän joustosta hyötyvät myös ne, jotka eivät itse osallistu kysynnän joustoon. Kysynnän joustosta hyötyvät siis kaikki sähkönkäyttäjät. (Honkapuro, 2016)

Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n näkökulmasta kysynnän jousto ei tarkoita pelkästään kulutushuippujen ja sähkön korkean hinnan välttämistä, vaan myös sähkönkäytön hetkellistä muuttamista tehotasapainon hallintaan. Sähkön joustamattoman tuotannon osuus sähköverkossa kasvaa ja se asettaa haasteita nykyiselle markkinamallille, missä vain energialla käydään kauppaa. Kysynnän jouston lisääminen on yksi toimenpiteistä, joiden avulla pyritään mahdollistamaan nykyisen markkinamallin säilyminen. (Fingrid, 2020a)

Sähkön tuotannon ja kulutuksen tulee olla joka hetki tapasainossa. Tämä tarkoittaa sitä, että sähköä tulee tuottaa joka hetki yhtä paljon kuin sen kulutus on. Tasapainosta kertoo sähköverkon taajuus, joka on tasapainotilanteessa 50,0 Hz. Kulutuksen ja tuotannon poikkeamien tasapainotukseen tarvitaan reservejä, joita kantaverkkoyhtiö Fingrid ylläpitää. Reserveillä tarkoitetaan voimalaitoksia ja kulutuskohteita, jotka tarpeen mukaan joko laskevat tai nostavat tehoaan. Kysynnän jousto on hyvä mahdollisuus lisätä tarjontaa reservi- ja säätösähkömarkkinoilla. Fingridin ylläpitämiin reservimarkkinoihin kuuluvat taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N), taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D), automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR), säätösähkömarkkinat ja nopea häiriöreservi (mFRR). Fingridin reservimarkkinatuotteet sekä niiden tekniset vaatimukset ja korvaustasot on esitetty taulukossa 1. Minimitarjouskoot ovat teholtaan suuria, joten sähkönkäytön ja joustovaran tulee olla riittävän suurta, että reservimarkkinoille voi osallistua. Myös säätömarkkinoiden (mFRR) pienin tarjouskoko on suuri ja se rajaakin suurimman osan Suomen sähkönkäyttäjistä pois markkinoilta. (Fingrid, 2020b)

Taulukko 1. Fingridin reservi- ja säätösähkömarkkinat. (Fingrid, 2020a; Fingrid, 2020b)

	Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	Säätösähkömarkkinat (mFRR)	Säätökapasiteettimarkkinat (mFRR)
Sopimustyyppi	Vuosi- ja tuntimarkkinat	Vuosi- ja tuntimarkkinat	Tuntimarkkinat	Tuntimarkkinat	Viikkomarkkinat
Minimitarjouskoko	0,1 MW	1 MW	5 MW	5 MW	5 MW
Markkinapaikan sulkeutumisaikakohta	Vuosimarkkinat edellisvuoden syksyllä, tuntimarkkinat D-1 klo 18:30	Vuosimarkkinat edellisvuoden syksyllä, tuntimarkkinat D-1 klo 18:30	D-1 klo 17:00	45 min ennen käyttötuntia	Edellisviikon tiistaina klo 12:00
Aktivoituminen	Kun taajuus on 50±0,1 Hz	Kun taajuus on alle 49,9 Hz	FG:n lähettämän tehopyyntisignaalin mukaisesti, 100% 2 min	100% 15 min	100 % 15 min
Aktivoituu	Useita kertoja tunnissa	Voimalaitokset: Useita kertoja vuorokaudessa Relekytketyt kuormat: Muutaman kerran vuodessa	Useita kertoja vuorokaudessa	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti
Korvaustaso 2018 *)	14 €/MW,h (vuosimarkkinat)	4,5 €/MW,h (vuosimarkkinat)	Kapasiteettikorvaus pay as as bid periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan	Markkinahinta	Kapasiteettikorvaus pay as a bid -periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Reservin ylläpitovelvoite Suomessa	120 MW	n. 290 MW	60–80 MW	mFRR yhteensä 880–1100 MW	mFRR yhteensä 880–1100 MW

Reservi- ja säätösähkömarkkinoiden korvaustasot ja vaatimukset on esitetty taulukossa 1. Minimitarjouskoot ovat suuria suhteutettuna Suomen sähkönkuluttajiin, ja se onkin tuonut sähkömarkkinoille uusia toimijoita. Nämä uudet toimijat ovat aggregaattorit, eli yritykset jotka muodostavat pienemmistä kulutus- ja tuotantokokonaisuuksista suurempia kokonaisuuksia. Kun pienemmistä kokonaisuuksista muodostetaan suurempi kokonaisuus, mahdollistaa se osallistumisen eri markkinoille. Kuluttajan oma pientuotanto sekä sähkönkulutus voidaan rinnastaa kysyntäjoukseen, jos se reagoi markkinatilanteeseen. Tällä tavoin kysynnän joustosta hyötyvät kaikki osapuolet. Kantaverkkoyhtiö saa verkkoonsa tasapainon ja aggregaattori sekä loppukäyttäjä saavat taloudellista hyötyä. Taulukossa 1 esitettyjen vuoden 2018 korvaustasojen perusteella voidaan sanoa, että taloudellisen hyödyn suuruus voi olla varsin merkittävä. Taulukossa

1 esitettyjen aktivoitumisen vaatimusten perusteella jouston tulee olla myös suoritettavissa riittävän nopeasti ja mahdollisesti jopa useita kertoja tunnissa. Tämä voi vaatia loppukäyttäjältä alussa investointeja, mikäli kiinteistön automaatio ja mittarointi eivät ole vaaditulla tasolla. Pitkällä aikavälillä tarkastellessa kysynnän joustoon investoiminen voi tarjota kustannustehokkaan ratkaisun sekä loppukäyttäjälle että kansantaloudelle. (Fingrid, 2020a)

2.2 Kysynnän jouston toteutustavat

Kysynnän joustoon voivat osallistua kaiken kokoiset sähkökäyttäjät ja toteutustapoja on monia. Pääosin jousto toteutetaan kuitenkin automaation avulla. Kysyntäjouston resursseja ovat periaatteessa kaikki sähkökäyttökohteet, joissa voidaan varastoida energiaa jossain muodossa. Esimerkkejä tällaisista resursseista ovat muun muassa ilmanvaihto, jäähdytys, kylmälaitteet, käyttöveden lämmitys ja sähköautot. Sähköautojen hyviä puolia päästöttömyyden lisäksi ovat niiden tuoma mahdollisuus sähkön varastointiin ja lataamisen ajoittamiseen. Älykkäällä järjestelmällä voidaankin pitää huoli siitä, että auton akut ovat täynnä, kun autoa tarvitaan, ja akut on ladattu silloin kun sähkön hinta on edullinen. (Honkapuro, 2016; Heinimäki, 2020)

Suomessa on kehitetty älykästä sähköverkkoa, jonka avulla on mahdollista toteuttaa kysynnän joustoa. Älykäs sähköverkko toimii alustana hajautetulle ja vähähiiliselle sähköjärjestelmälle. Sen avulla sähkökäyttäjillä on mahdollisuus osallistua sähkömarkkinoille, sähkön toimitusvarmuus paranee ja yritysten on mahdollista kehittää uudenlaisia liiketoimintamahdollisuuksia. Yksi osa ratkaisua ovat älykkäät sähkömittarit (AMR, *automatic meter reading*), joiden avulla myös pienasiakkaille voidaan mahdollistaa tuntituotteiden tarjoaminen sekä jossain määrin myös kuorman ohjaus. Kuorman ohjaus tapahtuu AMR-mittarin ohjausreleen avulla. AMR-mittarit ovat etäluettavia ja ne mahdollistavat kulutuksen reaaliaikaisen seuraamisen. Älykkään mittausjärjestelmän ja sähköverkon avulla tarjotaan sähkömarkkinoilla toimiville ja niille pyrkiville sähkömyyjille ja palveluntarjoajille tasapuoliset ja toimivat puitteet liiketoiminnan kehittämiseksi. Ne mahdollistavat esimerkiksi teknologiateollisuuden osallistumisen älyverkkoteknologian kehittämiseen ja siten saadaan lisää mahdollisuuksia esimerkiksi kuorman ohjaukseen. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2016)

Viime vuosina kysynnän joustoa sähkökäyttäjille ovat alkaneet toteuttamaan aggregaattorit. Tällöin kysynnän jousto toteutetaan yleensä virtuaalivoimalaitoksen avulla. IoT on mahdollistanut virtuaalivoimalaitosten luomisen. Virtuaalivoimalaitos on palvelu, jolla ohjataan kiinteistön sähkökäyttöä ja hajautetut järjestelmät yhdistetään toisiinsa mikroverkon avulla. Mikäli kiinteistön oma kuorma ei ole suuri,

virtuaalivoimalaitoksen avulla on myös mahdollista luoda kiinteistökokonaisuuksia, jolloin mahdollistetaan tarpeeksi suuri kokonaiskuorma ja voidaan osallistua Fingridin reservi- ja säätösähkömarkkinoille. Sääto tehdään kiinteistöautomaation avulla ja asiakkaan määrittämässä rajoissa. Asiakas voi määrittää säädöille esimerkiksi teho- ja aikarajoja. Virtuaalivoimalaitoksen sähkönkäytön ohjaukset soveltuvat parhaiten jatkuvasti päällä oleviin kuormiin. Tällaisia jatkuvasti päällä olevia kuormia ovat esimerkiksi liikekiinteistöjen ilmanvaihto, kasvihuoneiden valaistus ja kauppojen kylmälaitteet. (Väre, 2020)

3. SCHNEIDER ELECTRICIN KYSYNNÄN JOUSTO PALVELUN ESITTELY

Schneider Electricillä on suuri valikoima erilaisia palveluita ja tuotteita, joilla voidaan tukea energiatehokkuuden parantamista sekä kestäväää kehitystä. Avainasemassa tässä ovat Schneider Electricin tarjoamat automaatio- ja energiaratkaisut. Schneider Electric on kehittänyt oman kysynnän jousto palvelun, joka hyödyntää mikroverkkoja. Tämän palvelun nimi on EcoStruxure™ Microgrid Advisor. Se auttaa hallitsemaan kiinteistön kuormitusta ja energiarekursseja. (Schneider Electric, 2020c)

Kysynnän jousto palvelun kannattavuuden mallinnusta varten Schneider Electric on kehittänyt laskentatyökalun. Laskentatyökalu MicroGrid Design Tool on tarkoitettu juuri EcoStruxure™ Microgrid Advisor kysynnän jousto palvelun kannattavuuslaskelmien suorittamiseen. Laskentatyökalulla voidaan mallintaa kiinteistön käytössä oleva mikroverkko ja sen energiankulutus. Kun mallinnus on suoritettu saadaan tulokset energian käytöstä ja kysynnän jouston kannattavuudesta.

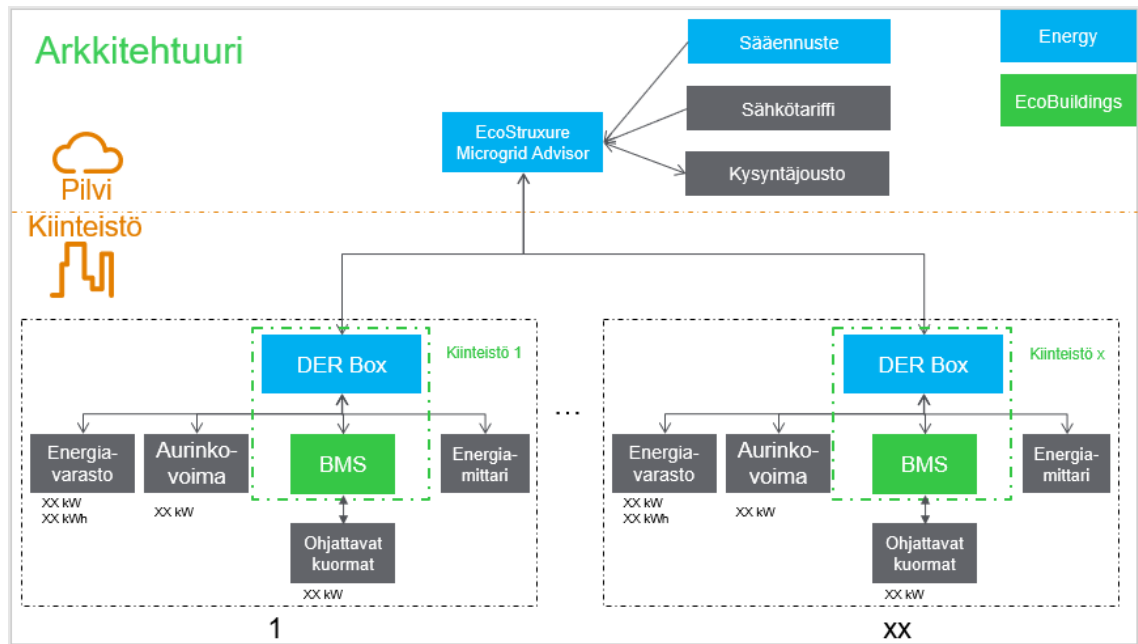
3.1 EcoStruxure™ Microgrid Advisor

EcoStruxure™ Microgrid Advisor on Schneider Electricin tuottama palvelu, mikä ennustaa ja optimoi automaattisesti, milloin kuluttaa, tuottaa, varastoida tai myydä energiaa. Palvelu on tarkoitettu loppukäyttäjälle ja käytöstä on pyritty tekemään mahdollisimman helppoa automatisoimalla toiminnot. Käyttäjä voi myös itse ohjata kysynnänjoustoa niin halutessaan. Palvelun etuina ovat hajautettujen energiarekursseiden visualisointi ja ennustaminen, verkon tasapainon ylläpito ja mahdolliset lisätulot, säästöt ja samaan aikaan lisääntyneet käyttömukavuus, sähkökatkojen minimointi sekä vihreät arvot. Kuvassa 1 on esitetty mitä tarkoittavat hajautetut järjestelmät palvelun näkökulmasta. EcoStruxure™ Microgrid Advisoria voi käyttää loppukäyttäjän lisäksi myös operaattorit ja verkkoyhtiöt. Operaattori voi hyödyntää palvelua alustana, missä voi valvoa ja ennustaa kokonaisen alueen energiankäyttöä. Verkkoyhtiö puolestaan voi käyttää palvelua liityntämahdollisuutena hajautettuihin energiavaroihin. Verkkoyhtiö voi optimoida uusiutuvan energian integrointia verkkoon, vahvistaa verkkoa asiakkaiden hajautetuilla energiarekursseilla sekä luoda liitoksen joustaviin kuormiin, jolloin mahdollistetaan kiinteistön kuorman osallistuminen säätö- ja reservimarkkinoille. (Blomberg, 2018)



Kuva 1. Hajautetut järjestelmät (DER) ovat energian tuotanto ja varastointi sekä joustavat kuormat. (Guillaume & Ivaldi, 2018)

EcoStruxure™ Microgrid Advisorin (EMA) arkkitehtuuri on rakennettu niin, että DER Box toimii rajapintana hajautettujen energiaresurssien (DER, *distributed energy resource*) ja palvelun välillä. Kuva 1 havainnollistaa, että hajautetut järjestelmät muodostuvat kolmesta eri osa-alueesta, jotka ovat energian tuotanto ja varastointi sekä joustavat kuormat. DER Box on kiinteistöön asennettava ohjauskaappi, mikä sisältää logiikan, virtalähteen sekä sulakkeet, ja siinä on verkkoyhteys. Se on liitetty suoraan energialähteisiin tai niiden ohjauslaitteisiin. Koko kysynnänjoustojärjestelmän arkkitehtuurin näkee kuvasta 2. Arkkitehtuuri muodostuu kahdesta osa-alueesta, pilvestä ja kiinteistöstä tai kiinteistöistä. Nämä kaksi eri osa-aluetta on rajattu kuvassa 2 oranssilla pistekatkoviivalla. EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelu sijaitsee Schneider Electricin omistamassa pilvipalvelussa ja sinne päivittyvät kysynnänjoustoon tarvittavat tiedot. Tällaisia tietoja ovat sääennuste, sähkön seuraavan päivän Spot-hinnat sekä kysynnänjouston tarve. Käyttäjä saa käyttäjätunnukset, joilla pääsee kirjautumaan pilvipalveluun ja tarkkailemaan omaa kiinteistöään. Kiinteistö osa-alueeseen kuuluvat hajautetut energiaresurssit, rakennusautomaatio sekä ohjattavat kuormat, energiamittarit ja DER Box. (Giraud, 2019; Blomberg, 2018)

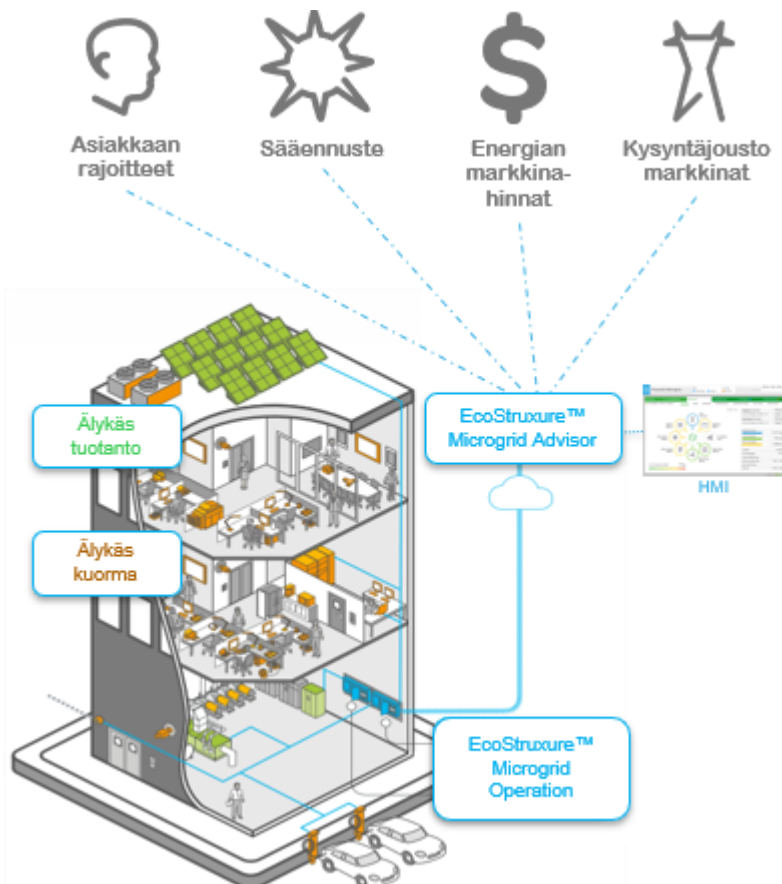


Kuva 2. EcoStruxure™ Microgrid Advisorin arkkitehtuuri. (Blomberg, 2018)

Kuvassa 2 oleva vihreä laatikko, jossa lukee BMS (*building management system*) kuvaa kiinteistöautomaatiojärjestelmää. Schneider Electric on Suomessa ja globaalisti johtava kiinteistöautomaatiojärjestelmien palvelun tarjoaja. Kiinteistöautomaatiolla onkin suuri rooli Schneider Electricin kysynnän jouston toteuttamisessa, sillä sen avulla voidaan ohjata kiinteistön käyttökuormia ja siten vaikuttaa energian hallintaan. Kiinteistöautomaatiojärjestelmä voi periaatteessa olla mikä vain liitettävissä oleva järjestelmä, mutta integroinniltaan helpoin ja siten suositeltavin järjestelmä on Schneider Electricin kiinteistöautomaatiojärjestelmä EcoStruxure™ Building Operation (EBO). (Guillaume & Ivaldi, 2018)

EcoStruxure™ Microgrid Advisor on mikroverkon avulla toteutettu kysynnän jouston palvelu. Mikroverkolla tarkoitetaan integroitua energijärjestelmää, jossa on toisiinsa kytkettyjä kuormia ja tuotantoyksiköitä. Nämä toimivat samanaikaisesti sähköverkossa tai saareketilassa, jolloin mikroverkko ei ole liitettynä sähköverkkoon. Saareketilaa voidaan käyttää esimerkiksi sähkökatkon aikana. EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelu ei kuitenkaan pysty pelkästään toteuttamaan saarekekäyttöä, vaan tarvitsee rinnalleen EcoStruxure™ Microgrid Operation (EMO) tuotteen. Se sisältää fyysisen mikroverkon ohjausyksikön, jonka kautta kysynnän jousto voidaan toteuttaa. Sen kautta saadaan reaaliaikaista dataa mikroverkosta. Kuvassa 3 on esitetty kysynnän jousto palvelun rakenne. Kuvassa 3 on havainnollistettu, että EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelu toimii pilvipalvelussa ja se sisältää omat toimintonsa. Se on yhteydessä EcoStruxure™ Microgrid Operation palveluun, joka sisältää fyysiset laitteet. Nämä laitteet ovat DER Box ja mikroverkon ohjausyksikkö. EMO:n avulla voidaan ohjata

reaaliajassa älykästä kuormaa (*smart loads*) ja älykästä tuotantoa (*smart producers*). Älykäs kuorma pitää sisällään muun muassa kiinteistöautomaation ja sähköautojen latauslaitteiston. Älykäs tuotanto puolestaan pitää sisällään esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmän ja akut. Nämä asiat integroituna toisiinsa muodostavat mikroverkon. HMI (*Human-Machine Interface*) tarkoittaa käyttöliittymää, jota käytetään kysynnän jouston hallintaan. Käyttöliittymä sijaitsee pilvipalvelussa ja sitä voi käyttää verkkoselaimella. (Giraud, 2019)



Kuva 3. Schneider Electricin kysynnän jousto palvelun rakenne kiinteistöön havainnollistettuna. (Blomberg, 2018)

3.2 Laskentatyökalu MicroGrid Design Tool

Microgrid advisorin laskelmia ja mallintamista varten Schneider Electric on kehittänyt yrityksen sisäiseen käyttöön Matlab pohjaisen laskentatyökalun. Tämä työkalu on nimeltään MicroGrid Design Tool, josta käytetään lyhennettä MGDT. Työkalun suunnittelu on aloitettu jo vuonna 2012 ja lokakuussa 2017 julkaistiin ensimmäinen laajempaan käyttöön tarkoitettu versio – MGDT v2.0. Kesäkuussa 2018 työkalu päivitettiin versioon 3.0 ja samalla työkaluun tuotiin uusia ominaisuuksia. Tällä hetkellä käytössä on MGDT v.3.1, joka julkaistiin tammikuussa 2019. Tässä diplomityössä

esitettävät laskennat on tehty tuota työkalua ja versiota käyttäen. Työkalun kehitystyötä jatketaan koko ajan aktiivisesti ja kaikkia sen käyttäjiä pyydetäänkin olemaan aktiivisia kehitysideiden sekä virheiden ilmoittamisessa MGDT-laskentatyökalun kehitysryhmälle. (Béguery et al., 2019)

Laskentatyökaluun on kehitetty noin 150 erilaista muutettavaa parametria, joiden avulla voidaan mallintaa kohde ja suorittaa laskelmat. MGDT-laskentatyökalun avulla saadaan laskettua talouteen sekä ympäristöön vaikuttavia suorituskykymittareita (KPI, *key performance indicator*) ja voidaan luoda graafisia analyysejä työkalun graafiseen käyttöliittymään (GUI, *graphical user interface*), Microsoft Office Wordiin sekä Microsoft Office Exceliin. Työkalulla laskettavat taloudelliset KPI-arvot ovat vuotuiset kustannukset, nykyiset nettokustannukset (NPC, *net present cost*), nettonykyarvo (NPV, *net present value*), tasoitetut energiakustannukset, käyttökustannukset, sähkökuorma, vertailukelpoinen tuotantohinta eri energiantuotantomuodoille (LCOE, *levelized cost of energy*), investoinnin sisäinen korkokanta (IRR, *internal rate of return*), sijoitetun pääoman tuotto (ROI, *return on investment*) ja takaisinmaksuaika. Muita kuin taloudellisia suorituskykymittareita ovat verkoston- sekä paikallisethiilidioksidipäästöt (CO₂), primaarienergia, kulutusaste, oman tuotannon määrä, uusiutuvan energian osuus ja akuston käyttöaste. (Béguery et al., 2019)

Joulukuussa 2018 julkaistiin MGDT Lite v1.0. MGDT Lite on MicroGrid Design Toolin yksinkertaistettu versio. Se toimii internet selaimella ja se on tarkoitettu lähinnä Schneider Electricin myyntihenkilöiden käyttöön. MGDT Liteen syötetään samoja lähtöarvoja kuin normaaliin versioonkin, mutta siitä saatavat laskelmat eivät ole niin kattavia. Lähinnä tällä työkaluversiolla voidaan tehdä nopea tarkastelu asiakkaan energijärjestelmien kysynnänjousto potentiaalista, mutta tarkemmat laskelmat tulee kuitenkin tehdä normaalilla työkalulla. (Béguery et al., 2019)

3.2.1 MGDT-laskentatyökaluun tarvittavat lähtötiedot

MGDT-laskentatyökaluun luodaan projekti, johon määritellään asiakas sekä asiakkaan kiinteistön tai kiinteistöjen tiedot. Kohteesta tarvitaan paljon erilaisia tietoja sekä arvoja ja valitaan tarkasteluvuosi, jolta tiedot kerätään. Arvoja voidaan myöhemmin muuttaa, jolloin voidaan vertailla erilaisia tuloksia, esimerkiksi eri suuruisten aurinkosähköjärjestelmien vaikutusta kannattavuuslaskelmiin. Tarvittavat tiedot vaihtelevat sähkönkulutus tarpeen mukaan. Kaikkiin projekteihin vaaditaan kuitenkin seuraavat tiedot: kohteen sijainti, alueen säätiedot, sähkön kulutus, sähköenergian ja sähkönsiirron hinnat, aurinkopaneelijärjestelmän koko ja tuotto sekä akkujärjestelmän suuruus. (Béguery et al., 2019)

Kiinteistön sijainti tarvitaan, jotta ohjelma voi laskea auringonsäteilyn määrän (kWh/m²). Tätä tietoa tarvitaan, kun määritellään aurinkopaneelijärjestelmän tuottoa, mikäli kohteessa ei valmista järjestelmää jo ole. Ohjelmaan syötetään aurinkopaneelien huipputeho, järjestelmän häviöiden suuruus prosentteina sekä asennuskulma. Näin voidaan laskea arvio aurinkopaneelijärjestelmän tuottamasta sähkömäärästä. Jos kohteessa on jo olemassa aurinkopaneelijärjestelmä, voi sen tuottotiedot ladata ohjelmaan tarkasteluvuoden ajalta. Silloin ohjelma osaa vertailla verkosta ostetun sähkömäärän ja aurinkopaneelilla tuotetun sähkömäärän keskenään. Tällä tavoin ei kuitenkaan voida huomioida sitä, että vuodet ovat sääolosuhteiltaan keskenään erilaisia. Tarkemmat tiedot aurinkopaneelien tuotosta saisi, mikäli voitaisiin käyttää keskimääräistä vuotta. Mikäli aurinkopaneelijärjestelmä otetaan käyttöön vasta kysynnänjouston yhteydessä, otetaan huomioon myös investointikustannukset. Käyttöönottoinvestointeihin voidaan myös ottaa huomioon alennusprosentti, jos sellainen saadaan esimerkiksi energiatuen myötä. Energiatuen myötä voidaan saada merkittäviä säästöjä investointeihin, sillä vuonna 2020 voi aurinkopaneelijärjestelmiin saada jopa 20 prosentin tuen. Energiatukea voidaan kysynnänjoustohankkeen kohdalla hakea myös koko hankkeen investoinneista, jolloin energiatuki voi olla maksimissaan jopa 40 prosenttia. Lisäksi tarvitaan järjestelmän vuotuisten huoltokulujen suuruus. Laskentatyökaluun määritellään myös järjestelmän käyttöikä tai valmiin järjestelmän arvioitu jäljellä oleva käyttöikä. Aurinkopaneelien kulma voidaan valita asennuskulman mukaan tai ohjelman avulla voidaan määrittää kiinteistön sijainnin mukainen optimikulma. Laskentatyökalulla voidaan myös helposti jo tässä tietojensyöttövaiheessa vertailla eri suuruisten aurinkopaneelijärjestelmien sähköntuottoa. Työkalulla ei kuitenkaan voida mallintaa muita uusiutuvan energian järjestelmiä kuin aurinkopaneelijärjestelmiä. (Béguery et al., 2019; Business Finland, 2020)

MGDT-laskentatyökalun avulla luodaan kohteen kulutusprofiili. Työkaluun ladataan kohteen tarkasteluvuoden sähkönkulutustiedot. Realistisin tulos saavutetaan, mikäli voidaan käyttää keskimääräistä vuotta, sillä vuodet ovat keskenään erilaisia. Esimerkiksi ulkolämpötila vaikuttaa lämmityksen sekä jäähdytyksen tarpeeseen ja siten se vaikuttaa usein myös sähkönkulutukseen. Kulutustieto voi olla kerättynä 15, 30 tai 60 minuutin välein. Kulutuksen lisäksi tarvitaan sähköenergian sekä sähkönsiirronhintatiedot. Sähkönsiirtohinnat syötetään niin, että energiansiirto (€/kWh) syötetään mukaan energianhintaan ja muut hinnat syötetään omiin kohtiinsa. Näitä erillisiä kohtia ovat perusmaksu (€/kk), tehomaksu (€/kW) sekä tehomaksun aikavaihtelut, kuten kesä ja talvi vuodenaajat. MGDT-laskentatyökalulla ei kuitenkaan voida laskea loistehomaksua, mikä on Suomessa osana pienjännite- ja keskijännitetehosiirroista tulevia maksuja.

Sähköenergian hinta voidaan määrittää sähköpörssihintana tai kiinteänä hintana, johon voidaan myös lisätä eri vuorokauden aikaiset hinnat sekä vuodenaikojen väliset hintaerot. Pörssihintaa käytettäessä työkaluun tulee ladata tiedot tarkasteluvuoden sähköenergian hinnan vaihteluista. (Béguery et al., 2019; Helen sähköverkko, 2018)

Akkujärjestelmän tietoja syöttäessä voidaan käyttää apuna MGDT-laskentatyökalun valmiita akusto vaihtoehtoja. Valitun akustopakettin lisäksi määritetään sen hinta, käyttöikä sekä purkausrajat. Käyttöikä määritellään sekä vuosina että purkauskertoina. Akuston koon määrittelyssä tulee ottaa huomioon sen käyttötarkoitus. Mikäli käyttötarkoitus ei ole täysin selkeä, suositellaan kokeilemaan erilaisia vaihtoehtoja, kun lasketaan koko kysynnänjousto järjestelmän kannattavuutta. Sähköautojen akkuja ei kuitenkaan vielä voida laskennassa käyttää akkuvarastoina. MGDT-laskentatyökalulla voidaan mallintaa myös varavoimalähteet. Varavoimalähteeksi on valittavissa monia eri vaihtoehtoja sekä polttoaineita. Varavoimalähteen mallinnusta varten tietoihin tarvitaan tehon tuoton suuruus, aloitusinvestoinnin sekä polttoaineen hinta, järjestelmän käynnistyskulut sekä minimi päälläoloaika. (Béguery et al., 2019)

3.2.2 MGDT-laskentatyökalun ominaisuudet

MGDT-laskentatyökalun avulla voidaan mallintaa kiinteistön kulutusta ja tehdä kannattavuuslaskelmia. Työkaluun syötettyjen arvojen avulla voidaan tarkastella monien eri kuvaajien sekä taulukoiden avulla, kuinka kannattavaa kysynnänjoustopalvelun käyttäminen olisi kohteessa. Kuvaajien ja taulukoiden avulla voidaan tarkastella myös yksittäisten komponenttien tuottoa sekä vaikutusta ja siten tehdä tarvittaessa muutoksia, esimerkiksi muuttaa aurinkopaneelijärjestelmän kokoa. Kun kaikki tarvittavat tiedot on saatu kasaan ja on valittu sopivat arvot, voidaan luoda yhteenvetoraportti. Yhteenvetoraportti kasaa yhteen merkittävimmät taulukot ja kuvaajat, joiden avulla voidaan tarkastella kysynnänjoustohankkeen kannattavuutta. Yhteenvetoraportista selviää muun muassa koko järjestelmän takaisinmaksuaika sekä jokaisen simuloitavan osa-alueen KPI-arvot. Raportista on nähtävissä myös sähköjärjestelmän simulointi vuosittain koko järjestelmän käyttöiän ajaksi. Simulointi ottaa huomioon kaikki annetut parametrit, odotettavissa olevat energia- ja siirtomaksut sekä järjestelmän korjauskustannukset. Simulaatiossa lasketaan nimellinen ja diskontattu kassavirta niin, että lähtökohta sisältää käyttöönottoinvestoinnit (CAPEX) ja kannustimet. Järjestelmän käyttövuodet sisältävät huoltokulut, energiamaksut sekä järjestelmän uusinnasta aiheutuvat kulut, esimerkiksi akku- ja aurinkopaneelijärjestelmien uusiminen. Viimeisen vuoden simuloinnissa otetaan huomioon myös järjestelmän jäljelle jäävä käyttöikä. Nimellisarvoa laskettaessa maksut ovat muuttumattomia, mutta rahan

nykyarvomontelmällä eli diskontatulla arvolla tehdyssä simuloinnissa otetaan huomioon hinnan vaihtelu todellisen diskonttokoron mukaan. Diskontattu arvo i lasketaan kaavan yksi (1) avulla,

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (1)$$

missä i' on nimellinen diskonttokorko, eli korko jolla voit lainata rahaa, ja f on odotettu inflaatioaste. Nimellinen diskonttokorko pysyy koko simulointijakson ajan samana, mutta odotettu inflaatioaste voi vaihdella simulointi ajanjaksolla. (Béguery et al., 2019)

MGDT:llä ei saada vastauksia tehonkäytön suunnittelun vaatimuksiin. Sillä ei voida myöskään määritellä tarkasti kaikkia käytössä olevia komponentteja. Työkalulla ei myöskään ole helppoa skaalata mikroverkkoa suurempaan ympäristöön, vaan työkalu on tarkoitettu kiinteistöjen ja kiinteistökokonaisuuksien laskentaan. MGDT-laskentatyökalu on suunniteltu Ranskassa ja se on kansainvälinen laskenta- ja mallinnustyökalu, joten se ei täysin vastaa kaikkiin Suomessa vaadittuihin laskennan tarpeisiin. Esimerkiksi loistehomaksun puute ja jotkin hinnoittelumallit eivät ole täysin yhteensopivia Suomen sähköhinnoittelu järjestelmään. (Béguery et al., 2019)

4. KYSYNNÄN JOUSTON TUOMA ARVO

Kun pohditaan kysynnän jouston tuomia hyötyjä asiakkaalle, tulee heti ensimmäisenä vastaan ratkaisun tuomat taloudelliset hyödyt. Kysynnän joustoa toteutettaessa pyritään tekemään energian käytössä ratkaisuja, jotka aiheuttavat taloudellista hyötyä. Onko tämä taloudellinen hyöty niin suuri, että se yksistään riittää herättämään asiakkaan kiinnostuksen vai tarvitseeko rinnalle löytää muitakin vaikuttimia. Vai voiko olla sellaisia vaikuttimia, jotka joissain tapauksissa nousevat jopa taloudellista hyötyä suuremmiksi tekijöiksi hankkeen toteuttamisen kannalta. Mitä tällaiset vaikuttimet voisivat olla? Näitä vaikuttimia käydään läpi tässä luvussa.

Kysynnän jousto tuo asiakkaalle taloudellista hyötyä, mutta millaista hyötyä se tuo palveluntarjoajalle, joka on sähkön kulutuksen ja tuotannon kannalta kolmas osapuoli. Schneider Electric ei itse hyödy kysynnän joustosta, niin kuin esimerkiksi jakeluverkkoyhtiöt tai sähkömarkkinaosapuolet. Schneider Electricille kysynnän jousto onkin myytävä tuote, joka tuo arvoa asiakkaalle ja siten tuotteen myymisen kautta taloudellista hyötyä Schneider Electricille. Millaiset ovat tällaisen tuotteen mahdollisuudet Suomessa ja kuinka suurta kysyntää sille on? Entä onko tuotteella mahdollisesti muitakin hyötyjä, kuin vain myynnin kautta saatava taloudellinen hyöty?

4.1 Kysynnän jouston tuoma arvo asiakkaalle

Schneider Electricin ratkaisu kysynnän jouston toteuttamiseen on EcoStruxure™ Microgrid Advisor (EMA). Tuote on palvelu, joka ohjaa kiinteistön sähkön kulutusta ja tuotantoa niin, että mahdollistetaan mahdollisimman suuri taloudellinen hyöty. Työkalun tarkoituksena onkin saavuttaa juuri taloudellista etua, ei varsinaisesti energian säästöä. Mikäli kysynnän joustoa verrataan energiansäästöhankeisiin, energian kulutus voi olla suurempaa, mutta kulutusta ohjataan niin, että se on taloudellisesti kannattavaa. Palvelu tuo siis säästöjä, mutta sillä on myös myytävänä tuotteena myyntihinta. Näin ollen asiakkaan kannalta taloudellisen kannattavuuden hyötyjä pohdittaessa kiinnostavia asioita ovat palvelun takaisinmaksuaika sekä sen jälkeen saavutettava tuotto. Mikäli asiakas pitää takaisinmaksuaikaa kohtuullisena ja sen jälkeen saatavia hyötyjä tarpeeksi kannattavina, hän sijoittaa palveluun. Takaisinmaksuajan kohtuullisen keston määrittää jokainen asiakas itse. Takaisinmaksuajan kohtuullisuutta pohtiessa on kuitenkin tärkeää ottaa huomioon järjestelmän käyttöikä. Esimerkiksi aurinkopaneelien käyttöikä on usein 25 vuotta, joten takaisinmaksuajan tulisi olla tuota lyhyempi aika. Akuston käyttöikä on 15 vuotta, joten tuleeko takaisinmaksuajan olla myös sen alle? Kun takaisinmaksuajan

lisäksi vertaillaan investoinnin tuomaa arvoa, olisi kokonaisuuden kannalta järkevää, että järjestelmä ehtisi tuottamaan tuottoa jo ennen kuin siihen tarvitsee investoida lisää pääomaa. (Motiva, 2018)

Kysyntäjoustohankkeissa myös muut seikat kuin energiataloudellinen hyöty voivat olla merkittäviä vaikuttimia. Tällaisia vaikuttimia ovat muun muassa imago, sisäolosuhteet, kiinteistön arvo, omavaraisuus, katkojen minimointi, käytön helppous ja käyttömukavuus. Arvoihin ja niiden merkitykseen vaikuttaa myös asiakkaan rooli. Asiakas voi olla loppukäyttäjä, operaattori tai verkkoyhtiö ja jokaisella näistä rooleista on erilaiset arvot ja tavoitteet kysynnän jouston kannalta. (Motiva, 2018; Blomberg, 2018)

Kysyntäjoustopalvelun vaikutus asiakkaan imagoon liittyy vahvasti vihreisiin arvoihin, eli energiatehokkuuteen ja puhtaisiin energiaratkaisuihin. Schneider Electricin kysyntäjoustopalvelussa hyödynnetään aurinkopaneeleita, jotka tuottavat hiilineutraalia uusiutuvaa energiaa. Energiatehokkuus perustuu sähkön käytön optimointiin, joka pienentää kiinteistön hiilijalanjälkeä. Yhdessä nämä asiat vaikuttavat myös osaltaan kiinteistön arvoon. Aurinkopaneelit lisäävät myös kiinteistön omavaraisuutta ja auttavat siten esimerkiksi katkojen vaikutusten minimoinnissa. Näin ollen voidaankin siis todeta, että kysynnänjouston tuomat arvot vaikuttavat myös toisiinsa. Kun on uusiutuvaa energiaa, millä on positiivinen vaikutus imagoon, voidaan myös varmistaa oma sähköntuotanto. Omalla sähköntuotannolla ja sähkön varastoinnilla puolestaan varmistetaan energian saanti. (Motiva, 2018; Blomberg, 2018)

Imago ei muodostu pelkästään kysynnän jouston vihreistä arvoista. Osalle kysynnänjouston imagollinen arvo voi olla uusimman teknologian käyttö sekä sen vaikutukset tulevaisuuden ennakointiin. Kun halutaan todistaa, että yritys on uusimman teknologian käytön edelläkävijä, tarvitaan siihen myös moderneja ratkaisuja. Ennustava ja optimoiva helppokäyttöinen järjestelmä on tähän loistava esimerkki. Kysynnän jousto mahdollistaa nykyisen sekä tulevan teknologian hallinnan ja Schneider Electricin kysyntäjoustopalvelu tarjoaa sille käyttöliittymän. Kysynnän jouston avulla voidaan muun muassa hallita sähköautojen latausta ja niiden akkuja voidaan käyttää myös sähkön varastointiin. Palveluun on otettu mukaan myös sääennuste, mikä auttaa sähkön kulutuksen ja tuotannon hallinnassa. Se mahdollistaa kysynnänjouston helppokäyttöisyyden, joten käyttäjän ei itse tarvitse edes olla sähkömarkkinoiden asiantuntija. Käyttöliittymän avulla käyttäjä voi kuitenkin myös helposti itse hallita suurtakin järjestelmäkokonaisuutta. (Giraud, 2019; Blomberg, 2018)

Tuotantolaitoksille on erittäin tärkeää, että tuotanto pysyy käynnissä. Tämän takia sähköjärjestelmän luotettavuus on äärimmäisen tärkeää. Pitkät katkokset voivat

aiheuttaa suuria taloudellisia tappioita, joten katkojen minimimointi on tärkeässä roolissa. Kysynnän joustolla voidaan varmistaa sähkön saanti pitkiksikin ajoiksi, kun tämä otetaan huomioon kysynnän joustoa suunniteltaessa. Kun sähkön tuotanto ja varastointi kattaa riittävän suuren osuuden sähkön tarpeesta, voidaan varmistaa myös omavaraisuus sähkökatkojen aikana. Schneider Electricin palvelun avulla voidaan varmistaa myös kiinteistön sähkökuorman hallinta, joten kiinteistön hetkellistä kulutusta voidaan rajoittaa katkojen ajaksi. Tämä mahdollistaa myös hyvin kysynnän jousto sopimusten tekemisen jakeluverkkoyhtiöiden kanssa. Näin ollen asiakkaan lisäksi kysynnän joustosta hyötyisi myös jakeluverkkoyhtiö, joka voisi asiakkaan jouston ansiosta mahdollistaa omien verkkojensa tehon hallintaa kysynnän jouston avulla. (Giraud, 2019; Blomberg, 2018)

Kun kiinteistö on vasta suunnitteluvaiheessa, voidaan kysynnänjouston avulla vaikuttaa myös sähköliittymän kokoon. Kysynnän jouston avulla voidaan hallita kulutushuippuja, mikä mahdollistaa pienemmän tehon tarpeen. Näin voidaan mahdollisesti valita pienempi liittymäkoko ja siten saavuttaa säästöjä jo kiinteistön rakentamis vaiheessa. Kysynnänjoustolla voidaan myös kasvattaa kiinteistön arvoa teknologia- ja imagoarvojen ansiosta. (Blomberg, 2018)

Kysynnän jouston taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi sähkön hinta. Suomessa sähkön hinta on tällä hetkellä vielä edullista Euroopan muuhun hintatasoon verrattuna, kun sähkön hinta suhteutetaan maan väestön ostovoimaan. Mutta kun katsotaan sähkön hinnan kehitystä, on se ollut koko ajan tasaisessa nousussa. Myös sähkönkulutus on ollut tasaisessa nousussa 80-luvulta saakka, joskin se on 2000-luvulla tasoittunut noin 80 – 90 TWh välille. Sähkön hinnan arvioidaan jatkavan nousua myös tulevina vuosina ja se lisää kysynnän jouston tarpeellisuutta ja kannattavuutta. (Energiavirasto, 2019; Energiateollisuus ry, 2020a)

Kysynnän jouston avulla voidaan hallita sähkön kulutuksen lisäksi myös sähkön myyntiä sähköyhtiölle. Aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö voidaan käyttää itse tai se voidaan myydä. Tähän vaikuttaa usein se, mikä on sähköstä saatava hinta ja mikä on ostettavan sähkön hinta. Kuvassa 4 on esitetty sähkön osto- ja myyntihinnan rakenteen vertailu. Kuva 4 havainnollistaa hyvin, kuinka suuri ero on sähkön osto- ja myyntihinnalla. Tämä ero johtuu siitä, että sähköä ostaessa joudutaan sähköenergian lisäksi maksamaan myös verot ja siirtohintaa, kun taas sähköä myydessä saadaan korvaus vain energiasta. Näin ollen hyöty itse tuotetun sähkön käyttämisestä omaan sähköntarpeeseen voi olla huomattavastikin kannattavampaa, kuin sähkön myyminen sähköyhtiölle. Voi kuitenkin tulla hetkiä, jolloin sähkön tuotto on suurempaa kuin oma kulutus ja akut ovat jo täynnä. Tässä tapauksessa ylijäämänsähköä voi myydä. Sähköä ei kuitenkaan voi syöttää verkkoon, ellei sille ole ostajaa. Aurinkopaneeleiden ostoa suunnitellessa kannattaakin

olla yhteydessä aurinkosähköä ostaviin sähköyhtiöihin ja selvittää sähkön ostoon liittyvät ehdot sekä hinnat. (Motiva, 2019)



Kuva 4. Sähkön osto- ja myyntihinnan vertailu. (Motiva, 2019)

Tässä diplomityössä sähkön myyminen sähköyhtiölle on rajattu pois kysynnän jouston kannattavuuslaskelmista. Syynä tähän on kuvan 4 osoittama ero itse tuotetun sähkön käyttämisestä ostosähkön korvaamiseen, verrattuna hyötyyn mikä saadaan sähkön myymisestä. On taloudellisesti kannattavampaa käyttää itse aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö. Lisäksi aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön osuus kiinteistön koko kulutuksesta on sen verran matala, että ylijäämäsähköä on todella harvoin, jos koskaan. Aurinkosähkön tuotantoprofiili on myös hyvin saman kaltainen kiinteistön sähkökulutuksen ja sähkön hinnan profiilien kanssa. Näin ollen kysynnän jouston kannalta suurin hyöty saavutetaan pääsääntöisesti käyttämällä itse tuotettu sähkö kiinteistön sähköntarpeeseen. (Motiva, 2019)

4.2 Kysynnän jouston tuoma arvo Schneider Electricille

Schneider Electricille kysynnänjousto palvelu on ensisijaisesti palvelutuote, mitä voidaan myydä asiakkaille. Tämän takia yksi tärkeimmistä asioista onkin selvittää EcoStruxure™ Microgrid Advisorin tuoma arvo asiakkaalle. Mihin kokoluokkaan kiinteistön täytyy sijoittua ja millainen sen kulutusprofiilin tulee olla, että palvelusta on merkittävää hyötyä. Millainen Suomen kiinteistömarkkinat ovat ja millaiset tulevaisuuden näkymät energia-alalla ovat. Entä voiko kysynnän joustosta hyötyä muuten kuin myymällä tuotetta. Nämä ovat keskeisiä kysymyksiä Schneider Electricin kannalta.

Kysynnän jousto palvelun pääasiallisilla asiakkailla on kolme erilaista roolia, jotka ovat loppukäyttäjä, operaattori ja verkkoyhtiö. Nämä kaikki hyötyvät kysynnänjoustosta ja joissain tapauksissa hyötyjiä voi olla jopa useita. Tämä on hyvä asia asiakasmäärää ajateltaessa. Kysynnän joustosta on hyötyä jokaiselle energian kuluttajalle niin

omakotitalosta suur-teollisuuteen asti. Kysynnän jouston toteutustavat ja kokoluokka kuitenkin muuttuvat. Schneider Electricin EMA ratkaisu onkin tällä hetkellä turhan suuri kysynnänjoustoratkaisu tapauksissa, joissa sähkön kulutus on pientä. Kun kulutus on pientä, voidaan kysyntää hallita yksinkertaisemmilla ratkaisuilla. (Blomberg, 2018)

Schneider Electricin kysynnän jousto ratkaisu perustuu vahvasti aurinkopaneeleilla tuotettuun sähkөөn ja sähkön käytön hallintaan. Aurinkopaneelijärjestelmän tulee olla riittävän suuri suhteessa kulutukseen, joten tämä nostaa myös hankkeen kokonaishintaa. Schneider Electricin saama hyöty on tuotteen myyntihinnasta saatava katteen osuus. Itse kysyntäjoustopalvelun hinnan osuus koko hankkeen hinnasta on varsin pieni, joten suuren kokoluokan hankkeen tuoma taloudellisen voiton määrä on pelkän tuotteen hinnan perusteella varsin pieni. Schneider Electric on kuitenkin yksi maailman johtavista automaatiokojeiden valmistajista ja siten se voi tarjota useita hankkeeseen sisältyviä osia pelkän palvelun lisäksi. Näitä ovat muun muassa aurinkopaneelien invertterit, akkujärjestelmät sekä muut pienemmät kojeet. Kojeiden lisäksi Schneider Electric voi tarjota muita palveluita kiinteistöautomaatioon, sekä voi toteuttaa ohjelmamuutoksia. Kiinteistöautomaatiota kehittämällä voidaan entisestään kehittää kysynnän jouston hyötyjä, sekä lisäämään samalla käyttäjämukavuutta. Nämä asiat lisäävät hankkeiden kannattavuutta myös Schneider Electricin näkökulmasta. (Schneider Electric, 2020a)

Schneider Electricin kannalta kiinnostavaa on myös se, voidaanko kysynnän joustosta luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Voiko kysynnän joustoa tarjota muuten, kuin vain yksittäisenä tuotteena loppukäyttäjälle. Onko mahdollista, että kysynnän joustoa hyödynnettäisiin laajemmin useammassa kiinteistöissä ja Schneider Electric olisi kiinteistöjä yhdistävä tekijä samalla, kun tarjoaisi kysynnänjoustoa yksittäisille kiinteistöille. Schneider Electric Finland on kehittänyt eValvomon, joka on perusta Schneider Electricin kiinteistöautomaatio-palveluille. Se yhdistää useille eri servereille kiinteistöjä alueittain niin, että asiakas pääsee näkemään oman kiinteistönsä internet selaimen kautta. Schneider Electricin eValvomo käyttää suljettua verkkoa ja salattua tiedonsiirtoa kiinteistöjen ja kiinteistöhallintajärjestelmän välillä. Sen piirissä on jo tuhansia asiakkaita kymmenillä eri servereillä. Voidaanko tätä palvelua hyödyntää myös kysynnän joustossa. Kiinteistöt sijaitsevat pääsääntöisesti samalla alueella, joten suurimmalla osalla niistä on sama jakeluverkkoyhtiö. Näin ollen Schneider Electric voisi tarjota kysynnänjoustoa sekä kiinteistön omistajille että jakeluverkkoyhtiöille. Tässä tapauksessa jokainen osapuoli hyötyisi kysynnänjoustosta ja Schneider Electric voisi asiantuntijan roolissa varmistaa palvelun toiminnan. Tällainen liiketoimintamalli myös mahdollisesti laskisi kysynnän jousto hankkeiden kuluja, sillä asiakas ei tarvitsisi omaa

DER Box:ia, vaan DER Box olisi Schneider Electricin hallinnassa ja sitä voitaisiin hyödyntää useampiin kiinteistöihin. Tällaisissa tapauksissa pienikin kulutuksen säästö kiinteistöissä olisi kaikki kiinteistöt yhteen laskettuna suuri ja jakeluverkkoyhtiön näkökulmasta merkittävä. Tällöin myös Schneider voisi tehdä sopimuksia verkkoyhtiöiden kanssa, mikäli sopimusrakenne sen mahdollistaa. (Tero Laaksonen, 2020)

5. KOHDEKIINTEISTÖN LÄHTÖTIEDOT

Esimerkkikohteena, johon mallinnus ja laskennat suoritetaan, on Etelä-Suomessa sijaitseva toimistorakennus. Kiinteistön pinta-ala on 17 000 m² ja siinä on kuusi kerrosta sekä kellaritaso. Sen tilavuus on 109 000 m³. Vuonna 2018 huipputeho oli 636 kWp ja sähkönkulutus 2,3 GWh. Kojeistojen jännitetaso on 20 kV, eli tehonsiirto toteutetaan keskijännitetelesiirtona. Kiinteistössä ei ole asennettuna aurinkopaneelijärjestelmää, eikä mitään muuta omaa energianlähdettä. Sähkönkulutusprofiili on todella säännöllinen, mikä ei ole ideaali, mutta toisaalta se helpottaa kulutuksen ennustettavuutta ja ennakkointia.

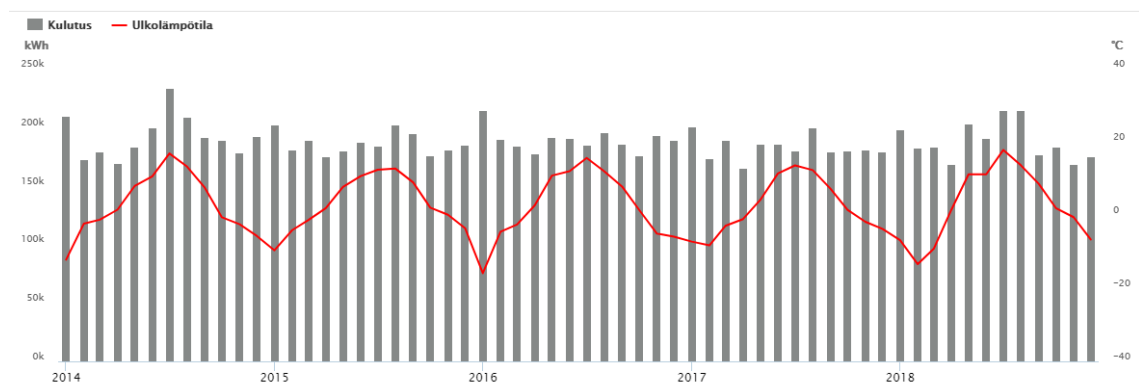
5.1 Kohteen lähtötietojen selvitys

Schneider Electricin kysynnänjousto palvelun MGDТ-laskentatyökalu tarvitsee useita erilaisia lähtötietoja ja -arvoja. Kohteesta, joka sisältää yhden tai useita kiinteistöjä, täytetään lähtötietolomake, jota kutsutaan IDCаrd nimellä. Siihen tarvittavat lähtötiedot sisältävät melkein kaikki tiedot, jotka myöhemmin syötetään myös itse laskentatyökaluun. Lomakkeeseen kirjataan myös useita erilaisia tietoja sähkönkulutuksesta sekä käytössä olevista energiajärjestelmistä. Jo tietojen keruuvaiheessa on hyvä pohtia millaiseen tarkoitukseen kysynnänjoustoa käytettäisiin ja mitkä olisivat sen tuomat hyödyt. (Béguery et al., 2019)

Kohteen tietoja kerätessä tehtiin jo joitain rajoituksia MicroGridin käyttöön liittyen. Koska kiinteistö on toimistorakennus, ei siinä ole tarvetta verkon saarekekäytölle sähkökatkojen ajaksi. Näin ollen varavoimalähteelle ei ole myöskään tarvetta, joten laskennassa ei oteta varavoimalähteitä huomioon. Aurinkopaneelien tuottaman sähkön myynnille ei ole tarvetta, vaan tuotettu sähkö joko käytetään heti tai varastoidaan akkuihin. Aurinkosähköjärjestelmää on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.1.2. Sähkönenergian hintaa halutaan käsitellä laajemmin kuin vain esimerkki kiinteistöä ajatellen, joten laskennat suoritetaan sekä kiinteällä- että sähköpörssihinnalla. Kiinteän sähköenergian hintoja on vertailtu useilta eri tarjoajilta ja myös sähkönsiirtohintoja sekä käyttömaksuja on vertailtu eri palveluntarjoajilta. Näin voidaan vertailla tuloksia ja pystytään mallintamaan kiinteistö eri alueille Etelä-Suomessa. Sähköpörssihinnat on otettu vuodelta 2010, sillä silloin hinnoissa on ollut eniten vaihtelevuutta, jonka on ajateltu kuvaavan todellisemmin tulevaisuuden sähköenergian hinnanvaihtelua.

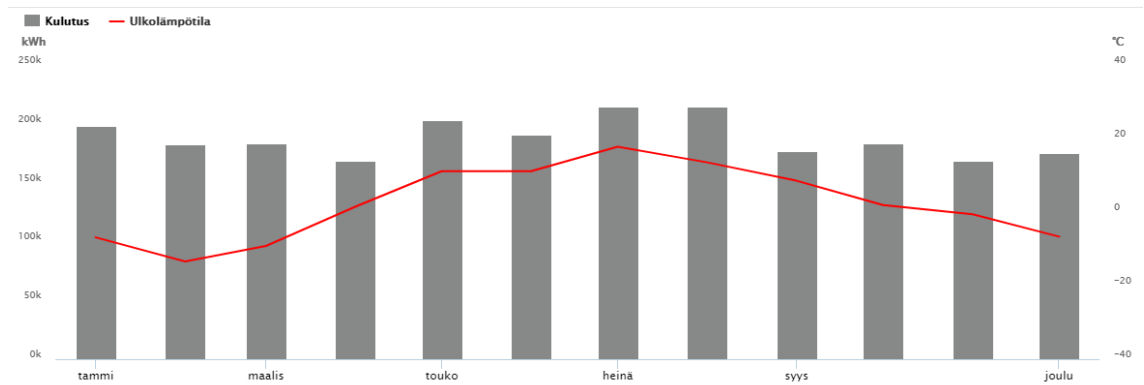
5.2 Kiinteistön sähkönkulutus

Kiinteistön sähkönkulutuslukemat ladataan excel taulukon avulla MGDT-laskentatyökaluun. Tunti kohtainen data vuoden ajalta saatiin kohteen sähkön myyjän energiapalvelusta. Palvelun avulla päästiin tutustumaan kiinteistön kulutusprofiiliin jo ennen kuin sähkönkulutus tiedot ladattiin MGDT-laskentatyökaluun ja pystyttiin siten jo ennalta arvioimaan kiinteistön potentiaalia kysynnän jouston kannalta. Kohteen sähkön myyjän energiapalvelussa voi tarkkailla sähkönkulutusta monin eri aikavälein. Lisäksi kulutusta voidaan tarkkailla taulukko tai pylväsdiagrammi muodossa. Graafisessa muodossa voidaan kuvaajaan lisätä myös ulkolämpötila viivatrendinä. Kuvassa 5 on esitetty kiinteistön sähkönkulutustiedot vuosilta 2014-2018. Kuvaajassa on mukana myös ulkolämpötila ja sähkönkulutuksessa on nähtävissä selkeää yhdenmukaisuutta. Sähkönkulutus on suurimmillaan niinä kuukausina, kun ulkolämpötilan kuukausikeskiarvo on saavuttanut maksimi ja minimi kohtansa. Näinä kuukausina lämmitys- ja jäähdytystarve on ollut suurimmillaan.



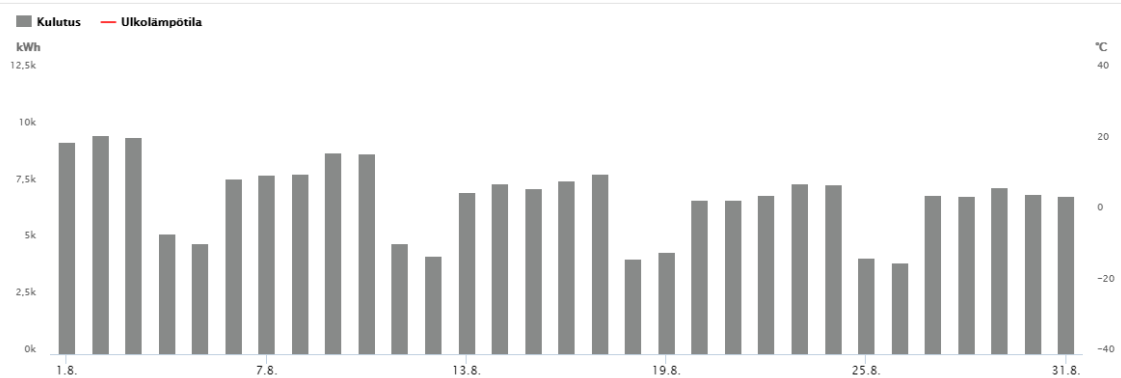
Kuva 5. Kiinteistön sähkönkulutus vuosina 2014-2018. (Loiste, 2019)

Kiinteistön sähkönkulutusdata otettiin vuodelta 2018, sillä se oli viimeinen kokonainen vuosi, kun laskelmat tehtiin MGDT-laskentatyökalulla vuonna 2019. Kuvasta 6 näkee, että vuonna 2018 sähkönkulutus on vaihdellut 165 000 – 200 000 kWh välillä. Sähkönkulutus on ollut korkeimmillaan ulkolämpötilan ollessa korkeimmillaan. Helmikuu oli keskia-arvo lämpötilaltaan kylmin, mutta se ei vuoden 2018 kulutuksessa ole vaikuttanut niin merkittävästi sähkönkulutukseen kuin aiempina vuosina, ja helmikuun sähkönkulutus onkin ollut keskiarvon tasolla. Helmikuun kulutukseen vaikuttaa kuitenkin myös lyhyempi ajanjakso sekä talvilomaviikko, mikä on Etelä-Suomessa viikolla kahdeksan.



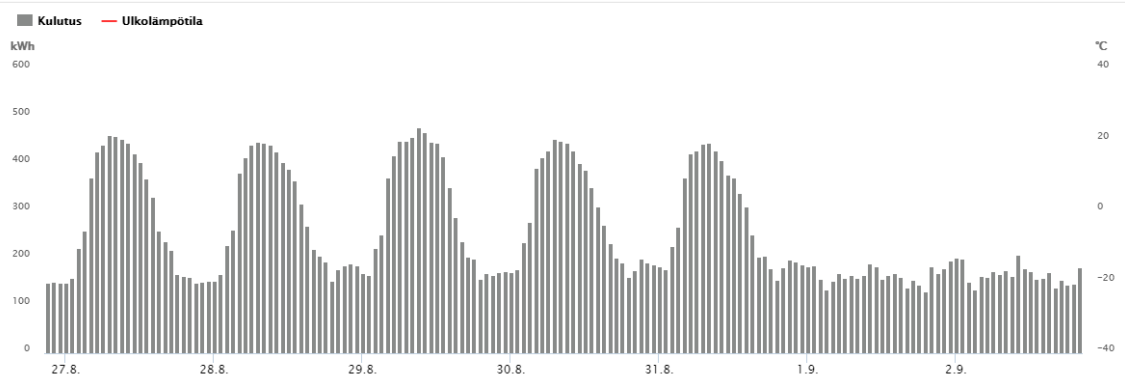
Kuva 6. Kiinteistön sähkönkulutus vuonna 2018. (Loiste, 2019)

Vuonna 2018 kiinteistön sähkönkulutus oli korkeimmillaan heinä-elokuussa, jotka olivat myös ulkoilman lämpötilan keskiarvoltaan lämpimimmät kuukaudet. Kuvassa 7 on esitetty päivätasolla vuoden 2018 elokuun sähkönkulutus. Sähkönkulutus on ollut suurinta elokuun alussa. Pylväsdiagrammista huomaa myös selvästi päiväkohtaista vaihtelua sähkön kulutuksessa. Arkisin kiinteistön ilmanvaihto on päällä tehostetusti pääsääntöisesti aina saman ajan, ellei ilmanvaihdolle ole tehty lisäaikaohjelmaa arki-illalle esimerkiksi auditoriotilaisuuden johdosta. Näin ollen jäähdytystarve nähdään suoraan sähkönkulutuksessa. Viikonloppuisin ilmanvaihto käy puoliteholla ja sen huomaa selvästi myös sähkönkulutuksessa.



Kuva 7. Kiinteistön sähkönkulutus päivittäin elokuussa 2018. (Loiste, 2019)

Kuvasta 5 nähdään, että elokuun viimeinen viikko on ollut sähkön kulutukseltaan todella tasainen. Tuo viikko on esitetty kuvassa 8 tunteina. Kun kiinteistön sähkönkulutusta tarkastellaan viikkolla 35 tuntitasolla, voidaan todeta, että kulutus on säännönmukaisesta ja huippukohtat keskittyvät keskipäivälle. Keskipäivän kulutushuippu on peräisin siitä, että silloin kiinteistössä on paikalla eniten ihmisiä, jolloin ilmastoinnin sekä jäähdytyksen tarve ovat suurimmillaan, ja ravintolassa tarjoillaan lounasta. Tällöin ravintolan keittiön laitteisto on päällä ja se nostaa sähkönkulutusta.



Kuva 8. Kiinteistön sähkönkulutus tunteina viikossa viikolla 35 vuonna 2018. (Loiste, 2019)

Kun sähkön kulutusprofiili on näin säännöllinen, helpottaa se huomattavasti kulutuksen ennustettavuutta ja siten kysynnänjouston suunnittelua. Tosin haasteena on se, että kulutustarve on myös säännöllinen ja joustovaraa on siten vähemmän. Kulutusta tarkkaillaessa tehty havainto ulkolämpötilan vaikutuksesta sähkön kulutuksen kasvuun on kysynnän jouston kannalta kuitenkin erinomainen. Schneider Electricin kysynnän jousto ratkaisu vaatii kiinteistöltä omaa energiantuotantoa saavuttaakseen hyviä tuloksia, ja suositeltu tapa omaan energiantuotantoon on ollut aurinkopaneelijärjestelmä. Kiinteistön kulutushuiput ovat päivinä, jolloin ulkolämpötila on korkea ja tällöin myös aurinko paistaa. Näin ollen sähkön tuotto ja tarve kohtaavat. (Guillaume & Ivaldi, 2018)

5.3 Aurinkopaneelijärjestelmä

Laskentatyökalun yksi tärkeimmistä osa-alueista on aurinkopaneelijärjestelmän mallinnus. Sitä varten täytyi selvittää minkä kokoluokan aurinkopaneelijärjestelmä pinta-alaltaan kohteeseen voidaan asentaa. Oulun Energian verkkosivuilla on aurinkoenergiälaskuri, johon kiinteistön osoitteen syöttämällä pääsee valitsemaan kohderakennuksen ja laskuri laskee kiinteistön katon pinta-alan sekä aurinkoenergian tuotantoon soveltuvan alan. Laskurilla saatu katon pinta-ala on 5298 m² ja aurinkoenergian tuotantoon soveltuva ala on 3275 m². Laskuri laskee myös arvion aurinkosähkön vuotuisesta kokonaismäärästä, mikäli olisi tässä työssä käytettävän kiinteistön kohdalla 498 579 kWh. Tuo sähköenergian määrä on noin 22 % kiinteistön vuotuisesta sähkötarpeesta. (Oulun Energia, 2016)

Kun aurinkosähköjärjestelmän maksimi pinta-ala sekä vuotuinen sähköenergian tuotanto määrä tiedetään, voidaan selvittää aurinkosähköjärjestelmän koko, eli huipputeho (kWp). Aurinkosähköjärjestelmän huipputeho tarvitaan MGDT-

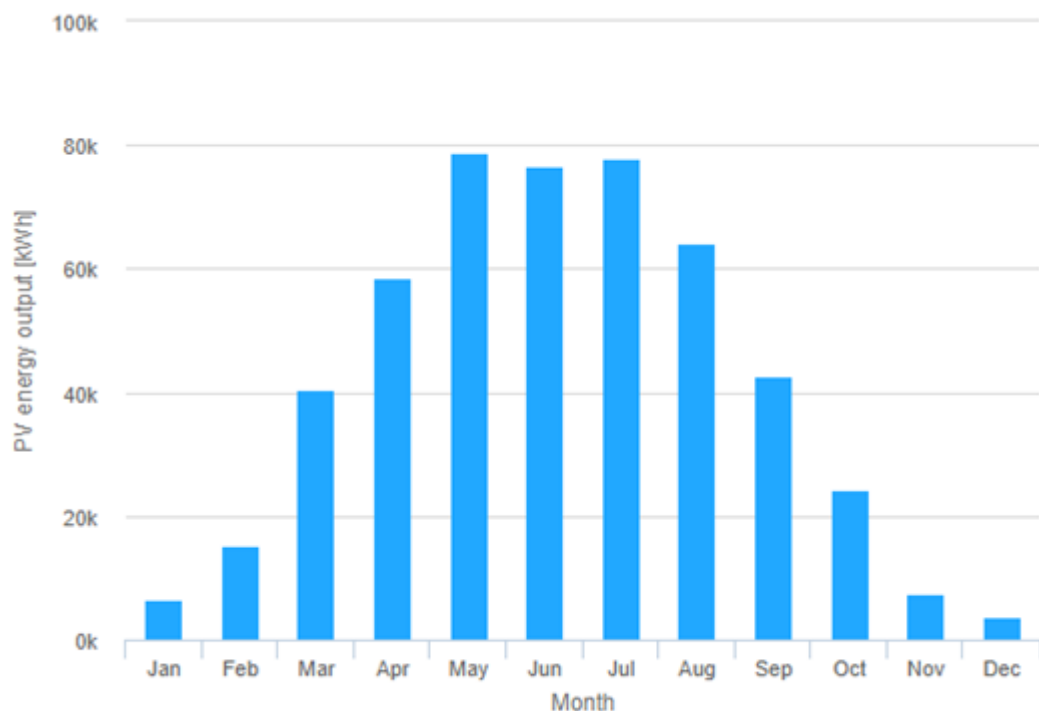
laskentatyökalua varten. Lisäksi huipputeho tarvitaan, että voidaan arvioida järjestelmän hintaa, sillä hinnat lasketaan euroina asennettua tuotannon huipputehoa kohden (€/kWp). Huipputehon laskentaa varten hyödynnettiin Euroopan komission ylläpitämää aurinkosähköntuoton laskentatyökalua. Työkalua voi käyttää Euroopan Unionin verkkosivuilla ja se laskee vuosittaisen aurinkosähkön tuoton tietyssä maantieteellisessä sijainnissa. Laskuriin syötetään maantieteellinen sijainti, aurinkopaneelin materiaali, aurinkosähköjärjestelmän huipputeho, järjestelmän häviöt, järjestelmän asennustapa ja asennuskulma. Laskuri laskee vuotuisen sähköenergian tuoton sekä luo pylväsdiagrammin, josta näkee kuukausitasolla laskennallisen sähköntuotannon. Taulukossa 2 on laskettu tässä diplomityössä käsiteltävän kiinteistön aurinkosähkön tuottomäärät eri suuruisilla järjestelmillä. Vuosituotto on laskettu Euroopan komission laskurilla. Taulukkoon on lasketty vuosituoton ja järjestelmän koon (MWh/kWp) välinen kerroin, jotta voitiin laskea myös kiinteistön katolle mahtuvan suurimman mahdollisen aurinkosähköjärjestelmän suuruus. Laskurilla laskettujen eri kokoisten aurinkosähköjärjestelmien kertoimeksi saatiin 0,91 ja sen avulla voitiin laskea maksimi huipputeho. Tällä kertoimeilla laskettiin maksimi pinta-alan arvioitu huipputeho, joka on 543,474 kWp. Tämä arvo pyöristettiin arvoon 545 kWp ja se näkyy taulukossa 2 kohdassa seitsemän. Mikäli aurinkosähköjärjestelmän huipputeho olisi 545 kWp, olisi sen vuosituotto laskurin mukaan 496,4 MWh. Se eroaa vain 2,2 MWh Oulun Energian laskurin antamasta arvosta, joten MGDT-laskentatyökaluun käytettävän aurinkosähköjärjestelmän suurimpana mahdollisena huipputehona voidaan käyttää arvoa 545 kWp. (Euroopan komissio, 2019)

Taulukko 2. Aurinkosähköjärjestelmän sähköenergiantuotto järjestelmän huipputehon mukaan sekä tuoton prosentuaalinen osuus sähkönkulutuksesta. Perustuu lähteeseen (Euroopan komissio, 2019)

	järjestelmän koko (kWp)	vuosituotto (MWh)	kerroin	sähkönkulutus 2018 (MWh)	%
1.	10	9,11	0,911	2292,198	0,40
2.	50	45,5	0,91	2292,198	1,98
3.	100	91,1	0,911	2292,198	3,97
4.	150	137	0,913333	2292,198	5,98
5.	200	182	0,91	2292,198	7,94
6.	250	228	0,912	2292,198	9,95
7.	450	409,9	0,910889	2292,198	17,88
8.	545	496,4	0,910826	2292,198	21,66
3275 m ²	543,474	498,6	0,917431	2292,198	21,75

Taulukossa 2 on esitetty eri suuruisen aurinkosähköjärjestelmien sähköntuoton osuus vuoden 2018 sähkönkulutukseen verrattuna. Suurimmalla mahdollisella

aurinkopaneelijärjestelmällä sähkön tuotannon osuus kulutuksesta olisi 21,75 %. On kuitenkin erityisen tärkeää huomioida, että aurinkosähkön tuotto on profiililtaan täysin erilainen kuin toimistokiinteistön sähkönkulutuksen profiili, mitä käsiteltiin edellisessä luvussa 5.2. Rakennuksen sähkönkulutus on kuukausitasolla melko tasaista, ollen keskiarvoltaan noin 180 MWh. Kuvassa 9 on esitetty 545 kWp tehoisen aurinkosähkölaitteiston vuosituotto ja siitä nähdään selvästi, kuinka suuri ero sähköntuotannossa on eri kuukausien välillä. Kesäkuukausina tuotto on noin 78 MWh kuukaudessa, mutta talvikuukausina tuotto on alle 10 MWh kuukaudessa. Näin ollen profiili on täysin erilainen kuin sähkön kulutuksessa. Kulutuksen ja tuotannon suhde vaihtelee 5 – 43 prosentin välillä eri kuukausina. Tuotanto ei kuitenkaan kuukausitasolla milloinkaan ylitä kulutusta, joten myös tämä tukee aiemmin tehtyä rajausta, että aurinkosähkön myyntiä verkkoyhtiölle ei oteta huomioon MGDT-laskennassa. Kesäkuukausina sähkön tarve on kuitenkin hieman suurempi, sillä jäähdytys kuluttaa paljon sähköä. Taulukosta 2 huomaa myös selvästi, että aurinkopaneelijärjestelmän on oltava suuri, että se kattaa edes viisi prosenttia kiinteistön vuoden sähkönkulutuksesta.



Kuva 9. Huipputeholtaan 545 kWp suuruisen aurinkosähkölaitteiston vuosituotto kuukausitasolla. (Euroopan komissio, 2019)

Kiinteistön sähköenergian hintaa vertaillaan MGDT-laskentatyökalulla niin, että käytetään sekä kiinteää sähköenergian hintaa että sähköpörssihintaa. Sähköpörssi Nord Poolin tuntikohtaiset spot-hinnat määräytyvät pörssissä sen mukaan, miten paljon sähköä

on tarjolla suhteessa kulutukseen. Hintaan vaikuttavat myös Pohjoismaiden vesivarat sekä tuuliennusteet. Sähköpörssin hinta on usein matala kesäkuukausina, eli silloin kun aurinko paistaa eniten. Se ei ole eduksi aurinkopaneelijärjestelmän hyötyjä tarkkailtaessa. Näin ollen sähköä tuotetaan eniten silloin, kun myös sähkön ostohinta on matalalla ja hyöty itse tuotetusta sähköstä on alhaisempi. (Stranberg, 2018)

Aurinkopaneelijärjestelmien hintoja vertailtiin eri palveluntarjoajilta. Järjestelmän hintaan vaikuttaa huomattavasti, kuinka suuri järjestelmä on huipputeholtaan. Vertailtavat investointihinnat on laskettu niin, että ne sisältävät koko aurinkosähköjärjestelmän, eli teknisen järjestelmän (paneelit, johdot, invertteri, kiinnikkeet sekä säätimen) ja asennuksen. Taulukossa 3 on esitetty aurinkosähköjärjestelmien asennushintoja Suomessa vuonna 2016. Kun aurinkopaneelien investointihintoja selvitettiin useista eri hankkeista, joita Suomessa on viime vuosien aikana tehty, todettiin hintojen noudattavan vielä melko hyvin vuoden 2016 hintatasoa. Investointihintoja vertaillaessa on huomattavissa, että yli 100 kW suuruisten järjestelmien hankintahinnat ovat huomattavasti halvempia kuin pienet alle 10 kW järjestelmät. MGDT-laskentatyökalulla laskentaa tehtäessä käytettiin hintaa 1200 € tai 1700 €. Nämä hinnat pitivät sisällään arvonlisäveron. Työkalulla suoritettiin simuloinnit myös ilman aurinkopaneelien aloituskustannusta, jolloin voidaan vertailla tuloksia, mikäli aurinkopaneelit olisivat jo valmiina tai niillä olisi oma erillinen investointikustannus. MGDT-simuloinneissa on otettu huomioon myös aurinkopaneelihankkeiden ja uusien energiantehokkuusteknologioiden investointituet. (Auvinen, K & Jalas, M, 2017)

Taulukko 3. Aurinkosähköjärjestelmien asennushinnat Suomessa vuonna 2016. Perustuu lähteeseen (Auvinen, K & Jalas, M, 2017)

	Koko kW	Hinta €/kWp (alv 0%)
Verkkoon kytketyt	1 000	1000 – 1200
	250 – 1000	950 – 1300
	10 – 250	1050 – 1350
	Alle 10	1300 – 2000
Akkujärjestelmät (off-grid)	Yli 1 kW	3500
	Alle 1 kW	5000

Aurinkopaneelijärjestelmästä koituvien huoltokustannusten arviointia varten katsottiin esimerkkiä Schneider Electricin muista kohteista. Muut MicroGridiä hyödyntävät kohteet sijaitsevat ulkomailla, joten kustannusten arvioinnissa otettiin huomioon myös Suomen sääolosuhteet. Lisäksi aurinkopaneelijärjestelmien huollon tarvetta selvitettiin useiden eri aurinkopaneelien asentavien yritysten sivuilta. Yleisesti aurinkopaneelit ovat melko helppohoitaisia Suomen sääoloissa, sillä Suomessa aurinkopaneelien asennuskulma

on yleensä noin 30 – 40 astetta, jolloin esimerkiksi lumi pääsee valumaan itsestään pois aurinkopaneelien lasipinnalta. Lumen pois valumiseen riittää, että paneelien kulma on vähintään 15 astetta. Lumi ja sade myös putsaavat paneelien pintaa, mikä pitää energiantuoton hyötysuhteen parempana. Yleisen ohjeistuksen mukaan olisi kuitenkin hyvä pestä paneelit ainakin kerran vuodessa. Sijainti voi toki vaikuttaa pesun tarpeeseen ja mikäli aurinkopaneelien pinnoille pääsee helposti kertymään hiekkapölyä, suositellaan aurinkopaneelien pesua suoritettavaksi aina tarpeen mukaan. Rungas pöly voi heikentää järjestelmän tehoa 10 prosenttia. Pesemiseen ei tarvita mitään erikoisaineita, vaan tavallinen ikkunanpesuvälineistö sopii hyvin myös paneelien pinnoille. Peseminen tulee kuitenkin tehdä varoen, ettei järjestelmä vaurioidu. Tässä työssä oleva esimerkkikiinteistö on 6-kerroksinen toimistorakennus, jonka katolle aurinkopaneelit sijoitetaan. Näin niiden eteen ei pääse sijainnin puolesta syntymään varjoa, mutta mikäli aurinkopaneelit sijaitisivat lähempänä maanpintaa ja lähistöllä olisi puita tai pensaita, tulisi niitä harventaa alueen läheltä tarpeen mukaan. Mikäli aurinkopaneeli on varjossa, voi se vaikuttaa todella merkittävästi sähköntuottoon. Aurinkosähköjärjestelmä koostuu useista osista ja tasaisin väliajoin järjestelmän osia tulee vaihtaa. On hyvä tehdä kerran vuodessa myös mittauksia, jotta voidaan varmistaa mahdollisimman hyvä energiantuotanto ja mahdollisesti ennakoida laitteiden vaihtoväliä. Koska vuosittaiset huoltokulut ovat Suomessa varsin maltilliset ja ammattihenkilöä ei tarvita kuin mittauksiin sekä laitevaihtoihin, arvioitiin vuosittaisten huoltokulujen osuudeksi suurilla järjestelmillä 500 euroa ja pienillä järjestelmillä 250 euroa. (Nivos, 2020)

5.4 Energiatuki

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) on tehnyt linjaukset Suomessa myönnettäviin energiaturkihankkeisiin. Energiaturkihakemukset käsittelee pääsääntöisesti Business Finland, mutta suurissa yli miljoonan euron hankkeissa hyväksynnät tekee TEM. Energiaturkea voi hakea sellaisissa hankkeissa, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, tehostavat energiansäästöä tai käyttöä sekä muuttaa energiaturjelmää vähähiilisemmäksi. Energiaturun myöntäminen on harkinnanvaraista ja ensisijaisesti tuki myönnetään uusien teknologioiden hankkeille. Uudella tekonologialla tarkoitetaan erilaisia uusia ratkaisuita, mitä ei ole Suomessa aiemmin kokeiltu laajemmin. (Business Finland, 2020; Työ- ja elinkeinoministeriö, 2020)

Energiaturkien myöntämiselle on tehty selkeät rajat. On tarkoin määritelty, että tuen voi saada vain yritykset ja yhteisöt, kuten kunnat, säätiöt ja seurakunnat. Energiaturkea eivät voi saada esimerkiksi asunto-osakeyhtiöt tai maatilat. Tuki myönnetään vain hankkeille, jotka eivät ole vielä käynnistyneet ja tuella onkin oltava merkittävä vaikutus hankkeen

käynnistämiseen. Uusiutuvan energian investointeihin myönnettävät tuet on myös lajiteltu eri ryhmiin, joissa tuen osuuden suuruus vaihtelee. Energiatuen määrä eri uusiutuvan energian lähteillä on esitetty taulukossa 4. Aurinkosähköhankkeille tuen suuruus on 20 prosenttia. Tämä tuen osuus otetaan huomioon myös MGDT-laskentatyökalulla kysynnänjouston simulointeja tehdessä. (Business Finland, 2020)

Taulukko 4. Uusiutuvan energian hankkeiden investointien tuet. Perustuu lähteeseen (Business Finland, 2020)

	Energiatuen määrä (%)
Lämpökeskushankkeet (puupolttoaineet)	10 – 15
Lämpöpumppuhankkeet	15
Aurinkolämpöhankkeet	20
Pienvesivoimahankkeet	15 – 20
Kaatopaikkakaasuhankkeet	15 – 20
Pientuulivoimahankkeet	15 – 20
Pien-CHP-hankkeet	15 – 20
Aurinkosähköhankkeet	20
Biokaasuhankkeet	20 – 30

Uuden teknologian hankkeet, jotka liittyvät energiatehokkuuteen ja uusiutuviin energialähteisiin, voivat saada enintään 40 prosentin energiatauen. Tämä edellyttää, että kyseessä on uudenlainen ratkaisu, jota ei ole aiemmin Suomessa laajemmin kokeiltu. Usein kyseessä on ensimmäisestä tai ensimmäisistä demonstraatiolaitoksista ja sen käyttöönottoon liittyy ylimääräisiä kustannuksia tai riskejä. Schneider Electricin kysynnänjousto hanke voisi vielä täyttää alkuvaiheessa nämä kriteerit, sillä vastaavia hankkeita ei ole aiemmin toteutettu Suomessa kuin muutamia. Lisäksi aloitusinvestointi kustannukset ovat suuret. Lopullisen päätöksen energiatauen suuruudesta tekee kuitenkin Business Finland ja se tarkistaa täyttyvätkö vaadittavat ehdot. Tämän takia sekä 40 että 20 prosentin energiatauen osuus otetaan huomioon MGDT-laskentatyökalulla kysynnänjouston simulointeja tehdessä. (Motiva, 2020)

5.5 Akuston valinta

MGDT-laskentatyökaluun on luotu valmiiksi useita erilaisia akkujärjestelmiä. Valmiita järjestelmiä on valittavana kymmeniä erilaisia ja sen lisäksi järjestelmän voi luoda myös itse. Tässä työssä haluttiin hyödyntää Schneider Electricin omaa BESS akustomallistoa. BESS on lyhennös englanninkielisistä sanoista *Battery Energy Storage System*. Schneider Electric BESS akkujärjestelmä soveltuu hyvin kokoluokkiensa ja

ominaisuuksiensa puolesta kysynnänjoustoprojekteihin. Schneider Electric BESS akkujärjestelmää on saatavilla neljässä eri kokoluokassa, jotka ovat 125 kW / 250 kWh, 250 kW / 500 kWh, 500 kW / 1 MWh ja 1 MW / 2 MWh. Näiden neljän stantardikokoluokan avulla voidaan myös rakentaa suurempia akkukokonaisuuksia, mikäli siihen on tarvetta. Akut ovat litium ion akkuja ja niiden käyttöikäksi on annettu 15 – 20 vuotta tai 4000 – 5000 purkaus kertaa. Tämän kokoiset akut vievät paljon tilaa ja kaksi isompaa akkujärjestelmää vaativatkin merikontin säilytystilakseen. 125 kW ja 250 kW akut toimitetaan niille rakennetuissa kaapeissa. Kaappien koko on 864 mm x 2565 mm x 1727 mm, joten järjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös se, että näin suurelle akkukaapille löytyy tarpeeksi tilaa. (Schneider Electric, 2019)

MGDT laskennassa käytetään Schneider Electric BESS 125 kW Li-Ion akkua. Se on teholuokkansa mukaan sopivin tämän kokoiseen kiinteistöön, kun sitä käytetään kysynnänjoustotarkoitukseen. Se on riittävän suuri, että tehopiikkejä voidaan hallita. Vertailuun otetaan mukaan myös suurempi akkukoko, eli 250 kW akku, että voidaan vertailla akun koon merkitystä kysynnänjouston kannalta. Tässä työssä ei kokeilla saarekemallinnusta osana kysynnänjoustoa, joten nämä akkukoot ovat riittävät. Mikäli haluttaisiin mallintaa myös saarekekäyttöä, eli kiinteistö voitaisiin irroittaa sähköverkosta, olisi tulosten kannalta järkevää suorittaa simuloinnit myös suurimmilla akkujärjestelmillä.

5.6 Sähköenergian hinta

Suomessa sähköä voi ostaa miltä tahansa sähkön myyjältä, vaikka maantieteellinen sijainti olisikin aivan eri puolella Suomea. Sähköenergiaa voi ostaa kiinteällä hinnalla, jolloin hinta on aina sama joko koko määräaikaisen sopimuksen ajan, tai kuukausittain vaihtuva. Toinen vaihtoehto on tuntiperusteinen hinnoittelu, jolloin hyödynnetään Nord Pool pörssisähköä. Tässä tapauksessa sähkön hinta vaihtelee tunneittain, sen hetkisen pörssihinnan mukaan. (Fortum, 2020)

On olemassa monia laskureita, joilla voi vertailla eri hintaisia sähkösopimuksia. Tällaiset laskurit on kuitenkin tarkoitettu pääsääntöisesti kotitalouksille ja pienemmille kiinteistöille. Sähköenergian hintoja valittaessa tavoiteltiin hintaa, joka kuvaisi hyvin tilannetta tällä hetkellä sekä lähi vuosina. Sähköenergian kiinteän hinnan vaihtoehtoiksi valittiin 0,05 €/kWh sekä 0,07 €/kWh. Molemmat hinnat sisältävät arvonlisäveron. Nämä hinnat vastaavat hyvin tämän ja lähivuosien hintatasoa, sopimus tyypistä riippumatta. MGDT-laskentatyökalussa sähkön kiinteä hinta vastaa sopimustyyppiltään määräaikaista sopimusta, sillä siihen syötetty hinta ei vaihtelee kuukausittain, vaan kasvaa vuosittain itse määritettävän prosentuaalisen osuuden verran. Tässä työssä hinnan prosentuaalisena nousuna käytetään kahta prosenttia. (Fortum, 2020)

Pörssisähkön hinnoittelussa tarvitaan sähkön hintadataa vuoden ajalta. Tämän vuoksi vertailtiin menneiden vuosien dataa. Vuoden 2010 Spot-hinnat sisälsivät suurimman varianssin, joten se oli suurin vastakohta kiinteälle sähkön hinnalle. Näin ollen vertailussa saadaan selkein ero näiden kahden hinnoittelumuodon välille. Spot hintoja tarkkailtaessa voidaan kuitenkin havaita, että sähkön hinta on halvempaa kesällä kuin talvella. Tällä voi olla merkittävä vaikutus kysynnänjoustoon, sillä kiinteistön omassa energiantuotannossa käytetään aurinkopaneeleita. (Vattenfall, 2020)

5.7 Sähkön siirtohintaa

Suomessa sähkön siirrosta vastaa sähköverkkoyhtiöt. Kantaverkosta vastaa Fingrid Oyj ja jakeluverkosta jakeluverkkoyhtiöt. Suomen suurimpia jakeluverkkoyhtiöitä ovat Caruna Oy, Elenia Oy ja Helen Sähköverkko Oy. Sähkön siirron palveluntarjoajaa, eli jakeluverkkoyhtiötä, ei voi itse valita ja jakeluverkkoyhtiö määräytyykin alueen mukaan. Kiinteistön maantieteellisellä sijainnilla voikin olla suuri merkitys sähkön siirron hintaan, sillä hintoihin vaikuttavat muun muassa paikallisen verkon olosuhteet. Esimerkiksi Carunaan kuuluu kaksi sähkönsiirtoyhtiötä, Caruna Espoo Oy ja Caruna Oy. Nämä ovat kaksi erillistä sähköjakeluyhtiötä ja niillä molemmilla on erillinen hinnoittelu. Tämä johtuu siitä, että Caruna Espoo Oy on lähinnä kaupunkiverkkoa ja Caruna Oy on lähinnä maaseutuverkkoa. Kaupungeissa olosuhteet ovat sähkönjakelulle edulliset, sillä kaupungeissa asutaan tiiviimmin ja sähköverkko kulkee pääsääntöisesti maan alla. Maaseudulla kunnostettavaa, ylläpidettävää ja rakennettavaa verkkoa on enemmän asiakasta kohden, sillä etäisyydet ovat pidemmät. (Energiateollisuus ry, 2020b; Caruna, 2020)

Tässä diplomityössä esimerkkikohteena toimivan kiinteistön jännitetaso on 20 kV, joten se kuuluu keskijänniteverkkoon ja keskijännitetelesiirto luokkaan. Tässä tehosiirtoluokassa sähkönsiirtomaksut muodostuvat perusmaksusta (€/kk), tehomaksusta (€/kW, kk), loistehomaksuista (€/kVAr, kk) sekä siirtohinnasta (c/kWh). Tehomaksujen hinnoitteluissa on hieman eroja eri jakeluverkkoyhtiöiden välillä. Caruna Oy:llä tehomaksu määräytyy kuukausittaisen huipputehon mukaan ja sen mittausjakso on yksi tunti. Loistehomaksun suuruus määräytyy siten, että kuukausittaisesta loistehohuipusta vähennetään 20 prosenttia saman kuukauden päätötehuipusta. Helen sähköverkolla tehomaksu on kuukauden suurin mitattu keskiteho, joka on mitattu aikavälillä maanantaista perjantaihin klo 07:00 – 21:00. Loistehossa on kaksi eri osaa, ottoteho ja antoteho. Ottotehomaksun suuruus on kuukauden suurin mitattu loistehon ottoteho, mistä on vähennetty 40 prosenttia kuukauden suurimmasta mitatusta päätötehosta. Ottotehon laskuteho on kuitenkin vähintään 50 kvar. Antotehomaksu

loisteholle on kuukauden suurin mitattu loistehon antoteho, mistä on vähennetty 10 prosenttia saman kuukauden suurimmasta mitatusta pätötehosta. Elenian pätötehon tehomaksu määräytyy viimeisen 12 kuukauden kahden suurimman kuukausitehon keskiarvon mukaan. Kuukausiteholla tarkoitetaan Elenian hinnoittelussa kuukauden suurinta mitattua tuntikeskitehoa. Veloitustehoa laskettaessa kesäkuukausilta otetaan kuitenkin huomioon vain 80 prosenttia kuukausitehosta. Loistehomaksu määräytyy kuukauden suurimman mitatun tunnin loiskeskitehon mukaan, mistä on vähennetty 16 prosenttia laskutettavan pätötehon määrästä. Kulutusmaksun osalta siirtohinna on Suomessa tyypillisesti kaksi eri tasoa; kalliimpi, talviajan päiväsiirto, sekä halvempi, muun ajan siirto. Tämän lisäksi on käytössä aikasiirtotuote, jossa sähkön siirtohinna vaihtelee vuorokauden ajan mukaan. Tässä hinnoittelumallissa sähkön siirtohinna on yöaikaan halvempi kuin päivällä. Eri palveluntarjoajilla on keskenään hieman erilaisia hinnoittelurakenteita ja hintoja. Tässä työssä laskennoissa käytetään Caruna Oy:n, Helen sähköverkon ja Elenia Oy:n sähkönsiirtohintoja. Jakeluverkkoyhtiöissä on selkeä ero vertaillessa sähkön siirtohintaa sekä teho- ja loistehomaksun suuruutta. Eri yhtiöiden hinnastot on esitetty taulukossa 5. Helen ja Caruna valittiin vertailuun mukaan palvelualueen maantieteellisen sijainnin takia, sillä ne tarjoavat sähkönsiirtoa Etelä-Suomen alueella. Elenia otettiin mukaan tarkasteluun, sillä se päivitti hintansa syyskuussa 2019, jolloin laskentoja alettiin suorittamaan. Näillä kolmella yhtiöllä on myös keskenään hieman erilainen hinnoittelu, joten ne antavat hyvät vertailukohtat eri hintojen vaikutuksesta. Caruna Oy:llä loistehomaksu on selvästi kallein ja se on kolminkertainen verrattuna Helenin loistehomaksuun. Helenillä tehomaksu on näistä kolmesta yhtiöstä kallein ja Elenialla on puolestaan kalleimmat sähkön siirron hinnat. Caruna Espoo Oy:llä on halvimmat siirtohinnat, joten tässä työssä keskitytään ensisijaisesti kolmeen muuhun jakeluverkkoyhtiöön. MGDТ-laskentatyökalulla kysynnänjoustolaskelmia suoritettaessa sähkönsiirtohinnoissa ei voi ottaa huomioon loistehomaksua, joten sillä on iso merkitys etenkin Carunan tuloksia tarkkailtaessa. (Caruna Oy, 2019; Elenia, 2019; Helen sähköverkko, 2018)

Taulukko 5. Sähkönsiirtohinnot eri jakeluverkkoyhtiöiltä.

	Caruna Espoo Oy 1.7.2018	Caruna Oy 1.11.2019	Elenia Oy 1.9.2019	Helen Sähköverkko Oy 1.7.2018
Perusmaksu €/kk	281,48	233,12	315,85	217
Tehomaksu €/kW, kk	2,36	3,88	2,44	4,56
Loistehomaksu otto €/kVAr, kk	5,02	8,54	5,37	2,84
Loistehomaksu anto €/kVAr, kk	5,02	-	-	-
Päiväsiirto, talvi c/kWh*	1,97	3,54	5,13	1,75
Muun ajan siirto c/kWh	0,93	2,27	3,67	0,78
*) Caruna ja Elenia: Päiväsiirto, talvi: ma-la klo 7-22 ajalla 1.11.-31.3.				
*) Helen: Päiväsiirto, talvi: ma-la klo 7-21 ajalla 1.12.-31.2.				

6. KYSYNNÄN JOUSTON KANNATTAVUUSLASKELMAT

MicroGrid Design Tool -laskentatyökalua käytettäessä tarvitaan monia erilaisia arvoja ja niiden avulla työkalu mallintaa erilaisia käyttö-, tuotto- sekä kulutuskaavioita. Niistä voidaan muodostaa yhteenvetoraportti, jossa on käyty läpi kaikki tarkasteltavat osat alueet. Tässä kappaleessa käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän, akuston, sekä erilaisten taloudellisten laskelmien vertailu. MGDT-laskentatyökalulla on suoritettu yli sata erilaista mallinusta, joissa on vaihdettu kerrallaan muutamia parametreja. Muutettavia parametreja ovat olleet aurinkosähköjärjestelmän teho, valtiolta saatavan tuen osuus, sähköenergian hinta sekä tyyppi, sähkön siirtohintaa, tehomaksut ja akuston suuruus.

Vertailuissa on tarkkailtu muutosten vaikutusta koko kysynnänjoustohankkeen takaisinmaksuajaksi, taloudelliseen säästöön, kumulatiiviseen kassavirtaan sekä ROI prosenttiin. Näiden lisäksi on vertailtu muutenkin kiinteistön mikroverkon toimintaa, kuten esimerkiksi akuston hyödyntämistä. Laskentatyökalulla mallinnettavan projektin laskentajaksi määritettiin 25 vuotta. Takaisinmaksuajan kestoa vertailtaessa pystyttiin selvästi huomaamaan, miten erilaiset parametrien muutokset vaikuttivat suhteessa toisiinsa. Kun esimerkki kiinteistö oli kulutukseltaan sekä kulutusporfiililtaan jokaisessa vertailussa sama, saatiin selville millaisilla erilaisilla arvoilla voidaan saavuttaa vuosimäärältään kannattavin takaisinmaksuajaksi.

6.1 Jakeluverkkoyhtiöiden maksujen vaikutuksen vertailu

Simuloinnit tehtiin kolmen eri jakeluverkkoyhtiön hinnoilla. Nämä kolme jakeluverkkoyhtiötä ovat Elenia Oy, Caruna Oy ja Helen Sähköverkko Oy. Niiden hinnastot on esitetty taulukossa 5, joka löytyy luvusta 5.7. Eri yhtiöiden välillä on eroja hinnoittelussa, ja vertailussa selvitetään millä hinnoittelumallilla on kysynnänjouston kannalta suurin vaikutus. Taulukossa 6 on esitetty jakeluverkkoyhtiöiden hinnoittelun vertailu. SPOT hintoja simuloimalla on käytetty kaikilla verkkoyhtiöillä samaa sähkön siirtohintaa. Tämä johtuu siitä, että MGDT-laskentatyökalulla saatujen tulosten perusteella SPOT hinnoilla tehdyt simuloinnit olivat takaisinmaksuajaltaan pidempiä, kuin kiinteällä sähkön hinnalla suoritettavat simuloinnit. Näin voitiin myös vertailla tehomaksujen suuruuden vaikutusta saatuihin tuloksiin. Siirtohintana käytettiin Elenia Oy:n siirtohintaa, sillä se on kaikkein suurin. SPOT hinnoilla tehtyjä simuloitteja verrattaessa on selviä eroja takaisinmaksuajoissa. Helen Sähköverkon tehomaksu on

kaikkein suurin, joten sen kohdalla takaisinmaksuaika on kaikkein lyhin, vaikka sen perusmaksu onkin kaikkein pienin. Helenin hinnoitteluun perustuvien simulointien takaisinmaksuaika on näissä tapauksissa lyhin, koska kysynnänjoustoa toteutettaessa pyritään tasoittamaan kulutusta. Näin ollen kulutushuiput laskevat ja tehomaksu perustuu kulutushuippuihin. Kun muut parametrit ovat samat, on takaisinmaksuaika lyhin jakeluverkkoyhtiöllä, millä on korkein tehomaksun hinta. Jakeluverkkoyhtiön ei voi kuitenkaan itse vaikuttaa, ellei sitten kyseessä ole vasta uuden kiinteistön suunnitteluvaihe ja vielä ei ole päätetty minne kiinteistö rakennetaan. Tällaisessa tapauksessa on kuitenkin muitakin huomioon otettavia asioita hinnoitteluissa, joten pelkän jakeluverkkoyhtiön tehomaksun perusteella ei rakennettavan kiinteistön sijaintia valita kysynnänjoustoa ajatellessa.

Taulukko 6. *Jakeluverkkoyhtiöiden hinnoittelun vaikutuksen vertailu. Kiinteän sähkön hintana on käytetty 0,07 €/kWh. Vertailussa aurinkopaneelijärjestelmänä on käytetty suurinta mahdollista kokoa 545 kWp.*

	SPOT	Kiinteä hinta	Akusto (kW)	Tuen osuus investoinnista	Takaisinmaksuaika (vuosina)	Säästö	Kumulatiivinen kassavirta positiivinen	ROI (%)
Elenia:								
545 kWp	X		125	40 %	16,7	1 678 959 €	yli 25 vuotta	42,68 %
545 kWp		X	125	40 %	10,1	2 236 832 €	18 vuotta	95,72 %
Caruna:								
545 kWp	X		125	40 %	14,8	1 867 414 €	yli 25 vuotta	59,13 %
545 kWp		X	125	40 %	10,6	2 155 154 €	20 vuotta	88,59 %
Helen:								
545 kWp	X		125	40 %	14,2	1 933 652 €	yli 25 vuotta	65,13 %
545 kWp		X	125	40 %	11,5	1 990 195 €	24 vuotta	74,19 %

Taulukossa 6 on esitetty SPOT-hinnan lisäksi myös kiinteällä sähköenergian hinnalla simuloitua tulokset. Näissä tapauksissa sähköenergian hinta on kaikissa 0,07 €/kWh ja siihen on lisätty jakeluverkkoyhtiön siirtohinta. Kiinteällä sähkön hinnalla tehdyt simuloinnit eri jakeluverkkoyhtiöiden välillä paljastavat, että sähkön siirron hinta c/kWh on merkittävämpi kysynnänjouston kannalta kuin tehomaksun suuruus. Elenialla siirtohinta on kaikkein suurin, mutta tehomaksu on kaikkein pienin, ja sen takaisinmaksuaika on kaikkein lyhin. Helen Sähköverkko toimii jakeluverkkoyhtiönä lähinnä kaupunkialueella, joten sen siirtohinnat ovat selvästi halvimmat. Siirtohinnan alhaisen hinnan myötä Helenin hinnoilla takaisinmaksuaika on pisin, vaikka sen tehomaksu onkin suurin. Taulukossa 6 esitettyjen tulosten perusteella voidaan päätyä tulokseen, että kysynnänjouston avulla saavutetaan parhaimmet tulokset silloin, kun sähkösiirron ja sähköenergian yhteishinta on kaikkein suurin. Sähköenergian hintaan

voidaan itse vaikuttaa, mutta siirtohintaan ei. Näin ollen kysynnänjoustosta on suurin hyöty alueilla, joissa siirtohintaa on suurin. Tällaisia alueita ovat haja-asutus- ja maaseutualueet sekä alueet, jonka jakeluverkko muodostuu suurimmalta osiltaan maaseutuverkosta.

Kun vertaillaan saman jakeluverkkoyhtiön takaisinmaksuaikoja, jotka on esitetty taulukossa 7, 8 ja 9, voidaan havaita, että aurinkopaneelijärjestelmän suuruudella on vaikutusta. Mitä suurempi aurinkopaneelijärjestelmä on, sitä pienempi takaisinmaksuajan ero on. Taulukoissa 7, 8 ja 9 on esitetty eri jakeluverkkoyhtiöiden hinnoittelumalleilla saadut tulokset ja niistä nähdään, että ero pienimmän ja suurimman aurinkosähköjärjestelmän välillä on suuri. Elenialla sähkön siirtohintaa on suuri, joten isommalla aurinkopaneelijärjestelmällä saadaan selvästi suurempi hyöty. Taulukossa 8 on esitetty Helen Sähköverkon hinnoittelulla saadut tulokset. Myös Helenin hinnoittelulla tuloksissa on havaittavissa selkeä ero eri kokoisten aurinkopaneelijärjestelmien välillä. Tuloksista on kuitenkin havaittavissa, että pienillä aurinkopaneelijärjestelmillä takaisinmaksuaika on hieman lyhyempi. Näin ollen voidaan todeta, että pienillä aurinkopaneelijärjestelmillä tehomaksun suuruudella on suurempi merkitys kuin sähkönsiirto hinnalla. Tämä johtuu siitä, että pienemmällä aurinkopaneelijärjestelmällä saadaan vain pieni osuus kiinteistön sähkön kulutuksesta ja itse tuotettu energia käytetään lähinnä vain tehopiikkien minimoimiseen. Tällöin tehomaksun suuruus vaikuttaa enemmän kysynnänjouston kannattavuuteen kuin siirtohintaa kokonaisuudessaan.

Taulukko 7. Aurinkopaneelijärjestelmien simulointien tulokset MGD-T-laskentatyökalulla mallinettaessa verkkopalvelumaksun kustannus Elenia Oy:n siirtohinnoilla. Energian kiinteä hinta kesällä 5,3 c/kWh ja talvella 5,9 c/kWh.

	SPOT	Kiinteä hinta	Akusto (kW)	Tuen osuus investoinnista	Takaisinmaksuaika (vuosina)	Säästö	Kumulatiivinen kassavirta positiivinen	ROI (%)
150 kWp	X		125	40 %	∞	646 206 €	yli 25 vuotta	-26,34 %
150 kWp		X	125	40 %	∞	649 942 €	yli 25 vuotta	-13,59 %
150 kWp		X	125	investointi 0 €	24,2	694 942 €	yli 25 vuotta	21,22 %
250 kWp	X		125	20 %	∞	929 441 €	yli 25 vuotta	5,26 %
250 kWp		X	125	20 %	24	1 041 637 €	yli 25 vuotta	13,94 %
250 kWp	X		125	40 %	24,4	929 441 €	yli 25 vuotta	5,85 %
250 kWp		X	125	40 %	21,8	1 041 637 €	yli 25 vuotta	25,05 %
250 kWp	X		125	investointi 0 €	11	929 441 €	yli 25 vuotta	90,77 %
250 kWp		X	125	investointi 0 €	9	1 041 637 €	20 vuotta	133,98 %
450 kWp	X		125	20 %	21,1	1 452 960 €	yli 25 vuotta	22,12 %
450 kWp		X	125	20 %	17,5	1 685 835 €	yli 25 vuotta	49,50 %
450 kWp	X		125	40 %	17,9	1 452 960 €	yli 25 vuotta	35,96 %
450 kWp		X	125	40 %	12,4	1 685 835 €	yli 25 vuotta	63,35 %
450 kWp	X		125	investointi 0 €	6,1	1 452 960 €	8 vuotta	251,90 %
450 kWp		X	125	investointi 0 €	5,1	1 685 835 €	7 vuotta	340,90 %
545 kWp	X		125	20 %	19,7	1 678 959 €	yli 25 vuotta	28,05 %
545 kWp		X	125	20 %	16,4	1 963 794 €	yli 25 vuotta	57,25 %
545 kWp	X		125	40 %	16,7	1 678 959 €	yli 25 vuotta	42,68 %
545 kWp		X	125	40 %	11,7	1 963 794 €	24 vuotta	71,88 %
545 kWp		X	125	investointi 0 €	4,3	1 963 794 €	6 vuotta	431,31 %
545 kWp	X		250	40 %	24,3	1 825 851 €	yli 25 vuotta	9,96 %
545 kWp		X	250	40 %	21,1	2 090 249 €	yli 25 vuotta	28,20 %

Taulukko 8. Aurinkopaneelijärjestelmien simulointien tulokset MGDT-laskentatyökalulla mallinnettaessa verkkopalvelumaksun kustannus Helen Sähköverkko Oy:n siirtohinnoilla. Energian kiinteä hinta kesällä ja talvella 7,0 c/kWh.

	SPOT	Kiinteä hinta	Akusto (kW)	Tuen osuus investoinnista	Takaisinmaksuaika (vuosina)	Säästö	Kumulatiivinen kassavirta positiivinen	ROI (%)
150 kWp	X		125	40 %	24,6	815 225 €	yli 25 vuotta	5,50 %
150 kWp		X	125	40 %	24,4	819 457 €	yli 25 vuotta	9,55 %
150 kWp		X	125	investointi 0 €	12,9	819 457 €	yli 25 vuotta	61,72 %
250 kWp	X		125	20 %	21,6	1 128 548 €	yli 25 vuotta	25,03 %
250 kWp		X	125	20 %	21,6	1 129 229 €	yli 25 vuotta	27,76 %
250 kWp	X		125	40 %	19,1	1 128 548 €	yli 25 vuotta	36,15 %
250 kWp		X	125	40 %	19,1	1 129 229 €	yli 25 vuotta	38,87 %
250 kWp		X	125	investointi 0 €	8,1	1 129 229 €	14 vuotta	162,47 %
450 kWp	X		125	20 %	17,4	1 690 895 €	yli 25 vuotta	46,18 %
450 kWp		X	125	20 %	16,9	1 731 055 €	yli 25 vuotta	54,02 %
450 kWp	X		125	40 %	15,1	1 690 895 €	yli 25 vuotta	60,03 %
450 kWp		X	125	40 %	12,1	1 731 055 €	25 vuotta	67,87 %
450 kWp		X	125	investointi 0 €	5	1 731 055 €	7 vuotta	355,61 %
545 kWp	X		125	20 %	16,7	1 933 652 €	yli 25 vuotta	50,50 %
545 kWp		X	125	20 %	13,9	1 990 195 €	yli 25 vuotta	59,56 %
545 kWp	X		125	40 %	14,2	1 933 652 €	yli 25 vuotta	65,13 %
545 kWp		X	125	40 %	11,5	1 990 195 €	24 vuotta	74,19 %
545 kWp		X	125	investointi 0 €	4,3	1 990 195 €	6 vuotta	439,89 %
545 kWp	X		250	40 %	20,5	2 146 556 €	yli 25 vuotta	32,08 %
545 kWp		X	250	40 %	20,2	2 175 799 €	yli 25 vuotta	34,10 %

Taulukko 9. Aurinkopaneelijärjestelmien simulointien tulokset MGDT-laskentatyökalulla mallinnettaessa verkkopalvelumaksun kustannus Caruna Oy:n siirtohinnoilla. Energian kiinteä hinta kesällä 5,7 c/kWh ja talvella 7,0 c/kWh.

	SPOT	Kiinteä hinta	Akusto (kW)	Tuen osuus investoinnista	Takaisinmaksuaika (vuosina)	Säästö	Kumulatiivinen kassavirta positiivinen	ROI (%)
150 kWp	X		125	40 %	∞	777 675 €	yli 25 vuotta	-1,91 %
150 kWp		X	125	40 %	24,8	783 912 €	yli 25 vuotta	2,95 %
150 kWp		X	125	investointi 0 €	13,6	783 912 €	yli 25 vuotta	50,16 %
250 kWp	X		125	20 %	23	1 080 352 €	yli 25 vuotta	16,54 %
250 kWp		X	125	20 %	22	1 119 400 €	yli 25 vuotta	25,18 %
250 kWp	X		125	40 %	20,8	1 080 352 €	yli 25 vuotta	27,66 %
250 kWp		X	125	40 %	19,9	1 119 400 €	yli 25 vuotta	36,29 %
250 kWp		X	125	investointi 0 €	8,3	1 119 400 €	15 vuotta	156,67 %
450 kWp	X		125	20 %	18,1	1 630 161 €	yli 25 vuotta	39,84 %
450 kWp		X	125	20 %	16,9	1 731 432 €	yli 25 vuotta	54,06 %
450 kWp	X		125	40 %	15,7	1 630 161 €	yli 25 vuotta	53,69 %
450 kWp		X	125	40 %	12,1	1 731 432 €	25 vuotta	67,91 %
450 kWp		X	125	investointi 0 €	5	1 731 432 €	7 vuotta	355,73 %
545 kWp	X		125	20 %	17,3	1 867 414 €	yli 25 vuotta	44,50 %
545 kWp		X	125	20 %	13,8	1 995 159 €	yli 25 vuotta	59,99 %
545 kWp	X		125	40 %	14,8	1 867 414 €	yli 25 vuotta	59,13 %
545 kWp		X	125	40 %	11,5	1 995 159 €	23 vuotta	74,62 %
545 kWp		X	125	investointi 0 €	4,3	1 995 159 €	6 vuotta	441,51 %
545 kWp		X	250	40 %	20,1	2 181 047 €	yli 25 vuotta	34,46 %

Kysynnän joustolla saavutettavia taloudellisia vaikutuksia on esitelty taulukoissa 7, 8 ja 9. ROI-arvot kertovat sijoitetun pääoman tuoton prosentteina. Mitä suurempi lukema on, sitä kannattavampi kyseinen kysynnän jousto ratkaisu on. Taulukoissa esitetyt ROI-arvoja vertailtaessa huomataan, että se on kääntäen verrannollinen takaisinmaksuaikaan. Näin ollen siihen pätee samat säännönmukaisuudet jakeluverkkoyhtiöiden hinnoittelussa kuin takaisinmaksuajallakin. Säästö -sarake kertoo 25 vuoden aikana sähkömaksuista kertyvät säästöt. 'Kumulatiivinen kassavirta positiivinen' -sarake kertoo sen, kuinka kauan kestää, että kysynnän jousto alkaa tuottamaan voittoa. Jos kumulatiivinen kassavirta on positiivinen kuuden vuoden jälkeen, loput tuotot ovat voittoa. Mikäli kumulatiivinen kassavirta on positiivinen vasta yli 25 vuoden päästä, ei kysyntäjousto hanke tuota voittoa. Tällöin takaisinmaksuaika voi joissain tapauksissa olla alle 25 vuotta, sillä takaisinmaksuaika kertoo milloin alkuinvestointi on saavutettu kysynnän jouston avulla. Kumulatiiviseen kassavirtaan huomioidaan myös muut menot kuin vain aloitusinvestointi, joten hanketta suunniteltaessa kannattaa vertailla näitä molempia arvoja. MGDT-laskentatyökalusta

saatavasta koontiraportista saadaan myös kysynnän jouston tuottama NPV-arvo. NPV-arvo, eli tuoton nettonykyarvo, kertoo tuoton suuruuden nykyarvossa, mikäli se on positiivinen. Mikäli NPV-arvo on negatiivinen, niin nähdään kuinka kaukana nettonykyarvo on nolla tasosta. Kumulatiivisin kassavirran avulla tiedetään, onko NPV-arvo negatiivinen vai positiivinen. Talukossa 5. esitettyjen tulosten perusteella voidaan todeta, että siinä esitetyillä arvoilla kysynnän joustolla voidaan saavuttaa tuottoa nettonykyarvossa vain viidellä eri vaihtoehdolla. (Béguery et al., 2019)

6.2 Sähköenergian hinnan vaikutuksen vertailu

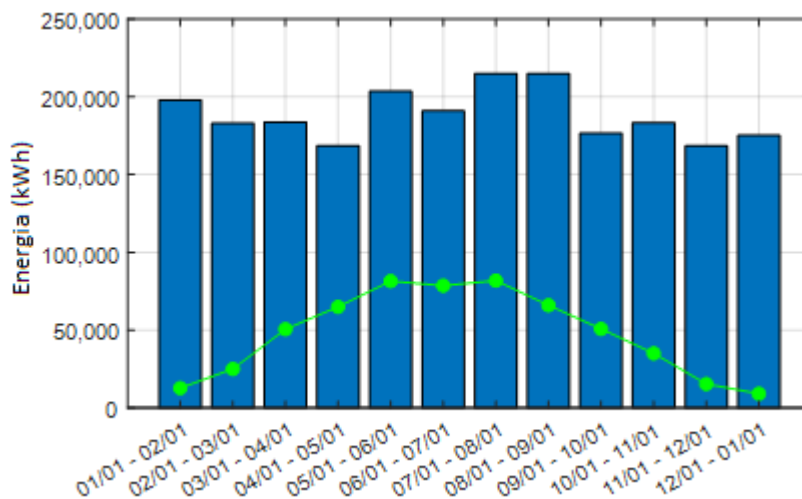
Sähköenergian hintaa laskettiin kahdella eri hinnoittelumallilla. Nämä ovat sähköpörssi eli SPOT -hintaa sekä kiinteää energian hintaa. Kiinteän sähköenergian hinnaksi mallinnusta varten valittiin 0,07 €/kWh, mutta mallinnuksia laskettiin myös 0,05 €/kWh ja 0,06 €/kWh hinnoilla. Tähän hintaan on laskettu vielä lisäksi sähköenergian siirtohintaa, sillä ne määritetään MGDT-laskentatyökalussa yhdessä. Sähkön hinnan nousuksi on määritetty kaksi prosenttia. Sähköpörssin hintana on käytetty vuoden 2010 SPOT hintoja, sillä sen vuoden sähköenergian hinnassa on paljon vaihtelua. Näin saadaan mahdollisimman suuri ero kiinteään hintaan verrattuna. Myös SPOT hintoihin on laskettu mukaan siirtohintaa. EcoStruxure™ Microgrid Advisor hyödyntää kysynnänjoustossa säätietoja, joten se pystyy arvioimaan seuraavan päivän pörssihintoja ja siten myös varastoimaan akustoon sähköä.

Energian hintojen vaikutusta vertailtiin neljällä eritehoisella aurinkopaneelijärjestelmällä, kolmen eri jakeluverkkoyhtiön hinnoilla sekä kahdella eri kokoisella akkujärjestelmällä. Aurinkopaneelijärjestelmän tehokkuuden lisäksi muutettiin aurinkopaneelien alkuinvestoinnin energiatuen osuuden suuruutta sekä mallinnettiin laskenta myös kokonaan ilman aurinkopaneelien alkuinvestointikustannuksia. Taulukossa 7, 8 ja 9 on esitetty simulointien tulokset.

Taulukoissa 7, 8 ja 9 esitettyjen tulosten perusteella on selvästi havaittavissa, että kiinteällä sähköenergian hinnalla saavutetaan lähes poikkeuksetta lyhyempi takaisinmaksuaika kuin sähköpörssin hinnoilla. Tähän tulokseen vaikuttaa se, että SPOT-hintaa on yleensä kesällä halvempi kuin talvella ja aurinkopaneelien tuotto on suurinta kesällä. Näin ollen aurinkopaneelista saatu hyöty on pienempi SPOT-hinnalla kuin kiinteällä energian hinnalla. Tämä asia on huomattavissa myös siinä, että mitä suurempi aurinkopaneelijärjestelmä on, sitä suurempi ero on kiinteän ja SPOT-hinnan välillä.

6.3 Aurinkosähköjärjestelmän tehokkuuden vertailu

Aurinkosähköjärjestelmän simuloiteja tehtiin useilla eri suuruusluokan aurinkopaneelijärjestelmillä ja vertailuun valittiin neljä eri teholuokan kokonaisuutta. Nämä koot ovat 150 kWp, 250 kWp, 450 kWp ja 545 kWp. Luvussa 5.3 esitettyssä taulukossa 2 on eri kokoisten paneelien vuosituotto-odotukset Euroopan komission laskurilla tehtynä. 150 kWp valittiin vertailun pienimmäksi järjestelmäksi, sillä taulukoista 7, 8 ja 9 on huomattavissa, että sen kokoisella järjestelmällä voidaan saavuttaa juuri hieman alle 25 vuoden takaisinmaksuaika. Joillain sähkön hinnoilla 150 kWp järjestelmänkin takaisinmaksuaika menee äärettömäksi, mikä on havaittavissa taulukoista 7 ja 9. Tämä johtuu siitä, että paneelien käyttöiäksi on määritetty 25 vuotta, joten jos aurinkosähköjärjestelmä ei sinä aikana maksa itseään takaisin, on sen takaisinmaksuaika ääretön. Simuloiteja tehtiin myös pienemmille järjestelmille ja niillä saatiin tulokseksi aina ääretön. Suurin aurinkopaneelijärjestelmä mitä vertailuissa on käytetty, on 545 kWp kokoinen järjestelmä, sillä kiinteistön katolle ei mahdu pinta-alaltaan suurempaa järjestelmää. Kuvassa 10 on esitetty MGDT-laskentatyökalulla mallinnettu aurinkosähkön tuotanto ja kiinteistön sähkönkulutus. Parhaimpina kuukausina aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa lähes puolet kiinteistön sähkönkulutuksesta, mutta heikoimpina kuukausina vain muutama prosentti kuukausittaisesta kulutuksesta.



Kuva 10. Aurinkopaneelijärjestelmän vuosituotto, kun järjestelmän huipputeho on 545 kWp. Siniset pylväät kuvaavat sähkönkulutusta (kWh) ja vihreä pistejana kuvaa aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä (kWh).

Kuvan 10 lukemat on esitetty tarkempina arvoina taulukossa 10. Sen avulla saadaan tarkemmat tulokset aurinkopaneelien tuottosuhteesta kiinteistön sähkön kulutukseen verrattuna. Kesäkuussa aurinkosähköllä voitaisiin tuottaa 42 % kiinteistön sähkön

tarpeesta, kun taas joulukuussa tuotto olisi vain viisi prosenttia sähkön tarpeesta. Koko vuoden tuotto olisi 25 % vuoden sähkön tarpeesta. Pienemmällä aurinkopaneelijärjestelmällä tuotto olisi huomattavasti pienempi. 150 kWp aurinkopaneelijärjestelmällä tuotanto olisi kesäkuussa 11 % kuukauden sähkönkulutuksesta ja joulukuussa tuotanto olisi vain yhden prosentin koko kiinteistön kuukauden sähkön tarpeesta. Koko vuoden tuotto olisi vain seitsemän prosenttia sähkön tarpeesta. Alle kymmenen prosentin tuottosuhteella on vaikeaa saavuttaa merkittävää etua kysynnänjoustosta ja siksi myös takaisinmaksuaika on pitkä, niin kuin taulukot 7, 8 ja 9 osoittavat.

Taulukko 10. Aurinkopaneelijärjestelmän vuosituotto, kun järjestelmän huipputeho on 545 kWp.

Ajanjakso	Sähkönkulutus	Arvioitu sähköntuotanto	Arvioitu tuotannon arvo
Tammikuu 2018	197,871 kWh	12,724 kWh	1 138 €
Helmikuu 2018	182,869 kWh	25,039 kWh	2 210 €
Maaliskuu 2018	183,685 kWh	50,606 kWh	4 048 €
Huhtikuu 2018	168,586 kWh	64,970 kWh	5 198 €
Toukokuu 2018	203,520 kWh	81,525 kWh	6 522 €
Kesäkuu 2018	190,851 kWh	78,593 kWh	6 287 €
Heinäkuu 2018	214,979 kWh	81,851 kWh	6 548 €
Elokuu 2018	214,845 kWh	65,985 kWh	5 279 €
Syyskuu 2018	176,545 kWh	50,790 kWh	4 063 €
Lokakuu 2018	183,400 kWh	35,055 kWh	2 804 €
Marraskuu 2018	168,331 kWh	15,387 kWh	1 231 €
Joulukuu 2018	175,087 kWh	9,120 kWh	799 €
Yhteensä	2,260,570 kWh	571,644 kWh	46 128 €

Edellisessä kappaleessa todettiin jakeluverkkoyhtiöiden hinnoittelua vertailtaessa, että mitä suurempi aurinkopaneelijärjestelmä on teholtaan, sitä lyhyempi on kysyntäjousto hankkeen takaisinmaksuaika. Tämä johtuu siitä, että pienempien aurinkosähkölajärjestelmien tuotto on varsin pieni kulutukseen verratessa ja niistä saatu sähköenergia pystytään hyödyntämään lähinnä kulutushuippujen tasaamiseen. Talvella tuotto on niin pieni, että edes kulutushuippuja ei saada täysin tasattua. Kun akustoon varattu energia käytetään teho huippujen tasaukseen, ei itse tuotettua sähköä riitä tarpeeksi SPOT-hinnoilla kalliiden tuntien välttämiseen.

Suomessa on vielä melko vähän suuria aurinkopaneelijärjestelmiä integroituna kiinteistöihin ja siksi simulointi suoritettiin myös pienemmällä aurinkosähkölajärjestelmällä. Tämän järjestelmän tehoksi valittiin 50 kWp. Simulointi tehtiin niin, että paneelien

ajateltiin olleen juuri asennettu kiinteistöön, jolloin niiden aloitusinvestointia ei oteta huomioon. Kysynnänjouston aloitusinvestointikuluihin otettaisiin huomioon vain palvelun hinta sekä akuston hinta. Energian hinnaksi valittiin kiinteä hinta, jolla oli saavutettu parempia tuloksia muilla paneeli tehoilla. Jakeluverkkoyhtiön hintoina käytettiin Elenia Oy:n hintoja. Näillä lähtöarvoilla takaisinmaksuajaksi tuli ääretön ja kumulatiivista kassavirtaa tutkiessa voitiin havaita, että 25 vuoden aikana kysynnänjouston taloudellinen hyöty oli vain kahdeksan prosenttia hankkeeseen menevistä kuluista. Tämä tulos osoittaa, että EcoStruxure™ Microgrid Advisor kysynnänjoustopalvelua käytettäessä, tulee aurinkopaneelijärjestelmästä saatavan tuoton olla riittävän suuri suhteessa kokonaiskulutukseen, että kysynnänjoustopalvelusta saatava hyöty on taloudellisessa vertailussa kannattava.

Ennen MGDT-laskentatyökalulla tehtyjä simuloitteja arvioitiin aurinkopaneelien tuottoa Euroopan komission työkalulla. Työkaluilla saadut tulokset on esitetty taulukossa 11 ja siitä on havaittavissa, että tuloksissa on suuria eroja. Mitä suurempi järjestelmän nimellisteho on, sitä suurempi on myös vuosituoton ero. Syitä mistä ero johtuu, voi olla useita. MGDT-laskentatyökalun aurinkopaneelien arvoja ei määritetä yhtä tarkasti kuin Euroopan komission työkalussa. Esimerkiksi MGDT-laskentatyökalussa ei voi valita aurinkopaneelin materiaalia eikä hyötysuhdetta. Lisäksi työkalujen säätietojen laskenta voi olla erilaista ja säädädata voi olla eri vuosilta. Säädätan tulisi olla useamman vuoden säätietojen pohjalta tehty ja sen tulisi kuvata keskimääräistä vuotta. Vaikka molemmissa työkaluissa käytettäisiinkin keskimääräistä vuotta, voi siinäkin olla eroja, mikäli vertailuajanjakso on eri. Tarkimmat tulokset MGDT-simuloinneista saisikin, kun kiinteistöissä olisi valmiiksi asennettuna aurinkopaneelit ja voitaisiin käyttää niiden dataa useamman vuoden ajalta. Kun Euroopan komission ja MGDT:llä saatuja tuloksia vertailee kuukausitasolla, selviää, että vuosituotto ero johtuu talvikuukausista. Kesäaikana molempien työkalujen tulokset ovat lähes identtiset, mutta talviaikana MGDT:llä laskettu tuotto on selvästi suurempi.

Taulukko 11. Euroopan komission ja MGDT-laskentatyökalulla lasketut aurinkopaneelien vuosittaiset sähköntuottoarviot.

	järjestelmän koko (kWp)	vuosituotto (MWh)	%	MGDT:llä laskettu vuosituotto (MWh)	%
1.	10	9,11	0,40	-	-
2.	50	45,5	1,98	52,4	2,29
3.	100	91,1	3,97	-	-
4.	150	137	5,98	157,3	6,86
5.	200	182	7,94	-	-
6.	250	228	9,95	262,2	11,44
7.	450	409,9	17,88	472	20,59
8.	545	496,4	21,66	571,6	24,94
3275 m ²	543,474	498,6	21,75	-	-

Aurinkopaneelista tehtiin vertailua myös niin, että selvitettiin investoinnin vaikutusta takaisinmaksu-aikaan. Taulukoissa 7, 8 ja 9 on esitetty eri jakeluverkkoyhtiöiden hinnoittelulla saadut tulokset eri kokoisilla aurinkopaneelijärjestelmillä. Taulukoista on helposti havaittavissa, että aurinkopaneelien investointihinnalla on suuri vaikutus takaisinmaksu-aikaan. Tämä tulos on ilmeinen, sillä suurin osa projektin investointikustannuksista muodostuu juuri aurinkopaneelien hinnasta. Tulos on myös selvästi havaittavissa, kun verrataan tuloksia erikokoisen valtion tuen kanssa. Vertailtavat tuet ovat 20 % ja 40 %. Mitä suuremmasta järjestelmästä on kyse, sitä suurempi on myös tuen prosenttiosuuden vaikutus takaisinmaksu-aikaan.

MGDT-laskentatyökalulla saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että mitä suurempi aurinkopaneelijärjestelmä on nimellisteholtaan, sitä suurempi vaikutus sillä on kysynnänjoustohankkeen takaisinmaksu-aikaan. Alkuinvestointi kuitenkin kasvaa todella suureksi isoissa hankkeissa, vaikka investointituki olisikin 40 prosenttia. Suuria aurinkopaneelijärjestelmiä ei ole Suomessa vielä runsaasti ja kiinteistöön integroitu 0,5 MWp järjestelmä olisikin Suomessa suuri hanke. Etenkin tämän tyyllisissä kiinteistöissä suuret järjestelmät ovat vielä harvinaisia.

6.4 Akuston suuruuden vaikutuksen vertailu

Akustovaihtoehtona vertailussa on kaksi eri suuruista Schneider Electricin BESS akkujärjestelmää. Toinen on teholtaan 125 kW ja toinen 250 kW. 125 kW akusto on Schneider Electricin BESS akkumalliston pienin ja sitä käytettiin kaikissa simuloinneissa. Vertailussa haluttiin selvittää myös akuston vaikutusta, joten isoimmalla aurinkosähköjärjestelmällä simuloitiin myös isomman 250 kW akuston vaikutusta. Taulukoista 7, 8 ja 9 voidaan todeta, että suuremmasta akusta ei ole kysynnänjouston

kannalta hyötyä, vaan takaisinmaksuaika vain kasvaa. Ero on merkittävä ja suuremmalla akustolla varatun kysyntäjousto projektin takaisinmaksuaika olisikin lähes puolet pidempi, kun tarkastellaan kiinteällä sähköenergian hinnalla mallinnettua hanketta. SPOT hinnoilla ero ei ole niin suuri ja suuremmasta akusta saadaan enemmän hyötyä. Silti SPOT hinnoittelullakin pienempi akusto on takaisinmaksuajalta selvästi lyhyempi.

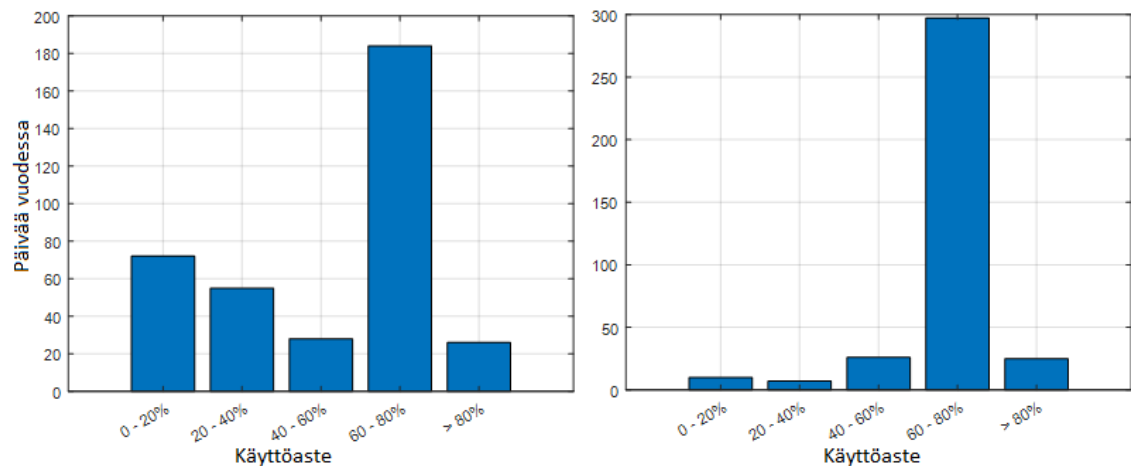
Akuston käyttöä vertaillen, voidaan taulukoiden 7, 8 ja 9 tuloksista todeta, että SPOT hinnoilla akustolla on suurempi merkitys takaisinmaksuaikaan. MGDT-laskentatyökalulla tehtävistä raporteissa on tarkemmin käsitelty akuston hyödyntämistä kysynnänjoustossa. Taulukossa 12 on esitetty Schneider Electric BESS 125 kW Li-Ion akuston päivittäistä käyttöastetta vuoden aikana. Käyttöaste tarkoittaa akun enimmäis- ja vähimmäislataustilan erotusta prosentteina. Taulukosta 12 voidaan todeta, että SPOT hinnoittelulla akustoa käytetään paljon enemmän. Schneider Electricin BESS akkujen käyttöikä on annettu 15 vuotta ja 4000 purkauskertaa. Simuloitujen raporttien mukaan kiinteällä hinnoittelulla akuston purkauskerroilla mitattuna akkua on hyödynnetty 15 vuoden aikana 150 kWp aurinkopaneelijärjestelmällä 42 % ja 545 kWp aurinkopaneelijärjestelmällä 52 %. SPOT hinnoittelulla akuston käyttöikä tulee puolestaan täyteen purkausten määrän mukaan, sillä 150 kWp aurinkopaneelijärjestelmällä akusto tulee uusia, kun sitä on käytetty 14 vuotta ja 545 kWp aurinkopaneelijärjestelmällä akusto tulee uusia, kun sitä on käytetty 13 vuotta.

Taulukko 12. *Schneider Electric BESS 125 kW Li-Ion akuston käyttöaste päivinä vuodessa. Käyttöaste on erotus akun enimmäis- ja vähimmäislataustilan välillä.*

545 kW kiinteä	Käyttöaste	0 - 20%	20 - 40%	40 - 60%	60 - 80%	> 80%
	Päivää vuodessa	96	64	35	144	26
150 kW kiinteä	Käyttöaste	0 - 20%	20 - 40%	40 - 60%	60 - 80%	> 80%
	Päivää vuodessa	148	54	34	128	1
545 kW SPOT	Käyttöaste	0 - 20%	20 - 40%	40 - 60%	60 - 80%	> 80%
	Päivää vuodessa	11	10	22	297	25
150 kW SPOT	Käyttöaste	0 - 20%	20 - 40%	40 - 60%	60 - 80%	> 80%
	Päivää vuodessa	16	10	23	316	0

Taulukossa 12 esitettyjen 545 kWp aurinkopaneelijärjestelmien akuston käyttöaste on esitetty pylväsdiagrammeina kuvassa 11. Kuvasta 11 on selvästi havaittavissa, kuinka

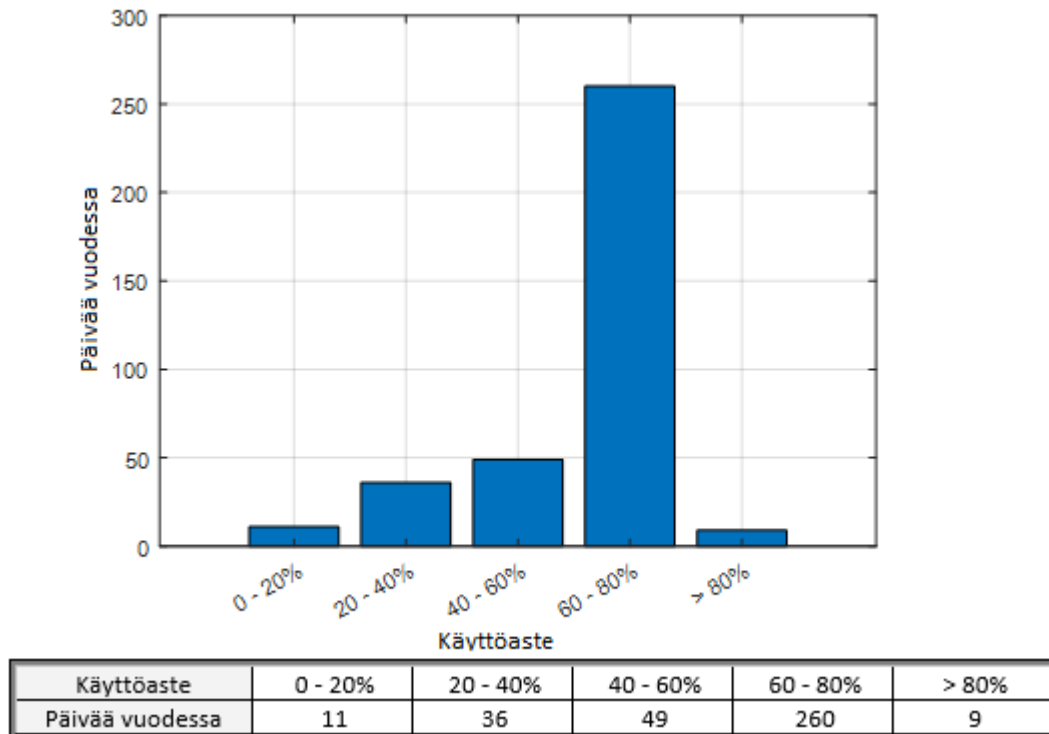
erilainen käyttöaste akustolla on kiinteällä sähkön hinnoittelulla ja SPOT hinnoittelulla. Purkaukertojen määrä vaikuttaa akun käyttöikäen ja SPOT hinnoittelulla akkua käytetään päivittäin todella paljon. Tämä on tärkeä tieto kysynnänjoustohanketta suunniteltaessa, sillä näin voidaan ottaa huomioon akuston koon tarve. Kiinteällä sähkön hinnoittelulla pienempikin akusto voisi olla riittävä, sillä nyt akkua hyödynnetään vain 52 % sen käyttöikäen aikana.



Kuva 11. Schneider Electric BESS 125 kW Li-Ion akuston käyttöaste päivinä vuodessa. Käyttöaste on erotus akun enimmäis- ja vähimmäislataustilan välillä. Vasemmassa pylväsdiagrammissa on kuvattu akuston käyttöä kiinteällä sähkön hinnalla ja oikeassa SPOT hinnalla. Aurinkopaneelijärjestelmän nimellisteho on 545 kWp.

SPOT hinnoittelulla akuston hyödyntäminen on suurempaa. Kuvassa 12 on esitetty Schneider Electric BESS 250 kW Li-Ion akuston käyttöaste päivinä vuodessa, kun käytössä ovat SPOT hinnat. Aurinkopaneelijärjestelmän nimellisteho on 545 kWp. Kuvasta 12 voidaan todeta, että 250 kW akun käyttöprofiili on varsin samanlainen kuin 125 kW akun SPOT hintoja käytettäessä. 250 kW akkua käytettäessä käyttöaste jakautuu kuitenkin hieman tasaisemmin muillekin purkausmäärille, 60 – 80 % käyttöasteen kuitenkin ollessa edelleen hallitsevin käyttöaste. 250 kW käyttöikä olisikin täydet 15 vuotta ja akusta hyödynnettäisiin 98,93 %. Akun käytön kannalta 250 kW olisikin siis optimi 545 kW aurinkopaneelijärjestelmässä SPOT hinnoilla, mutta takaisinmaksuaikoja vertailtaessa voidaan todeta 125 kW akuston olevan selvästi kannattavampi investointi. Investoinnin kannattavuuden vaikuttaa käytön lisäksi myös akuston hinnoittelumalli. Akun hinta MGD-taloyökalulla merkitään €/kWh hintana, eikä €/kW. Yksi kWh maksaa Schneider Electricin BESS akkumallistossa 750 €. 250 kW akun energiamäärä on 570 kWh ja 125 kW akun energiamäärä on 253,3 kWh. Vaikka 250 kW akun nimellisteho on kaksi kertaa suurempi, on sen energiamäärä 2,25 kertaa suurempi, joten sen investointihintaa ei voida suoraan ajatella kaksinkertaisena. Akuston

merkitys tulevaisuudessa voi kuitenkin kasvaa, mikäli sähkön energian- ja siirtohintaa kasvaa sekä hinnanvaihtelut suurenevät.



Kuva 12. Schneider Electric BESS 250 kW Li-Ion akuston käyttöaste päivinä vuodessa. Käyttöaste on erotus akun enimmäis- ja vähimmäislataustilan välillä. Akuston käyttöä on mallinnettu sähkön SPOT hinnalla. Aurinkopaneelijärjestelmän nimellisteho on 545 kWp.

6.5 Energiatuen vaikutuksen vertailu

MicroGrid Design Toolilla tehdyissä simuloinneissa otettiin huomioon myös energiatuki, sillä kysynnänjoustohanke täyttää kriteerit sen hakemiseen. Energiatuen arvoina käytettiin vertailuissa 20 ja 40 prosenttia. Energiatuella on suuri vaikutus kysynnänjoustohankkeessa, sillä EcoStruxure™ Microgrid Advisor kysynnänjoustopalvelu hankkeet ovat investointikustannuksiltaan suuria. Aurinkopaneelien ja akuston koosta riippuen hankkeen alkuinvestointi kohoaa sadoista tuhansista euroista miljooniin euroihin.

MGDT-laskentatyökalulla vertailua varten tehdyt simuloinnit on esitetty taulukoissa 7, 8 ja 9. Niistä voidaan todeta, että energiatuella on todella suuri merkitys kysynnänjoustohankkeen takaisinmaksuajan kannalta. Aurinkopaneelijärjestelmien hinnat ovat Suomessa vielä merkittävän suuria, ja 20 prosentin energiatuella voidaan saavuttaa useamman vuoden ero takaisinmaksuajasta. Energiatuen vaikutus on sitä suurempi, mitä tehokkaammasta aurinkopaneelijärjestelmästä on kyse. Kun vertaillaan taulukoissa esitettyjä arvoja, huomataan 20 % tuella olevan jopa viiden vuoden ero

takaisinmaksuajassa, kun vertaillaan 545 kWp järjestelmien takaisinmaksuaikoja. Pienemmissäkin järjestelmissä ero voi olla jopa 2 – 3 vuotta. Taulukossa 13 on esitetty energiatuen vaikutus takaisinmaksu-aikaan ja investoinnin ROI-arvoon. Taulukosta 13 on selvästi havaittavissa, kuinka suuri vaikutus energiatuella on kysynnänjoustohankkeen takaisinmaksu-aikaan. Voikin olla, että monet suuret kysynnänjoustohankkeet tarvitseva lähivuosina energiatukea, että ne voidaan toteuttaa.

Taulukko 13. *Energiatuen vaikutus kysynnänjoustohankkeen takaisinmaksu-aikaan. Sähkölakeluverkkoyhtiönä on Helen Sähkönverkko Oy ja aurinkopaneelijärjestelmien suuruus on 545 kWp. Investointi 0 € tarkoittaa, että kohteessa on aurinkopaneelijärjestelmä jo valmiina.*

	SPOT	Kiinteä hinta	Akusto (kW)	Tuen osuus investoinnista	Takaisinmaksu-aika (vuosina)	ROI (%)
545 kWp	X		125	0 %	19,1	35,87 %
545 kWp		X	125	0 %	18,6	43,53 %
545 kWp	X		125	20 %	16,7	50,50 %
545 kWp		X	125	20 %	13,9	59,56 %
545 kWp	X		125	40 %	14,2	65,13 %
545 kWp		X	125	40 %	11,5	74,19 %
545 kWp		X	125	investointi 0 €	4,3	439,89 %
545 kWp		X	125	40% (akku + paneelit)	10,2	82,69 %

MGDT-simulointeja tehtiin myös niin, että energiatukea ei otettu huomioon, mutta näitä tuloksia ei otettu laajeempaan vertailuun. Taulukossa 13 on kuitenkin esitetty kaksi simulointitulosta, jotka on suoritettu ilman energiatukea. Energiatuettomia tuloksia ei otettu mukaan laajempaan vertailuun siksi, että tuenkin kanssa takaisinmaksuajat ovat pitkiä ja energiatuki on tarkoitettu juuri tällaisille hankkeille. Tällä hetkellä tämän kokoluokan hankkeissa energiatuki on tärkeässä roolissa ja sillä on myös merkittävä osuus hankkeiden toteutumiseen. Tämän suuruusluokan hankkeet, jotka sisältävät uutta teknologiaa, ovat tulevaisuuden kannalta tärkeitä projekteja. Ne kuitenkin tarvitsevat energiatukea toteutuakseen, sillä tällä hetkellä uusiutuvan energian investointihinnat ovat vielä korkeita ja sähkön hinta on Suomessa vielä suhteellisen edullista.

7. KANNATTAVUUSLASKENNAN JOHTOPÄÄTÖKSET

Kysynnän jouston kannattavuuteen vaikuttavat monet eri asiat. Suurempi hyöty tarkoittaa usein sitä, että myös aloitusinvestointi on suurempi. Tämä koskee etenkin aurinkopaneeleita ja akkuja, joiden hinnat ovat vielä varsin suuret. Kannattavuuden kannalta onkin tärkeää löytää kiinteistön sähkönkulutukseen ja kulutusprofiiliin sopivimmat vaihtoehdot, jotta saavutetaan taloudellisesti kannattavin ratkaisu.

7.1 Potentiaalisin vaihtoehto

Vertailemalla eri simuloinneista saatuja tuloksia keskenään, löydettiin potentiaalisin vaihtoehto esimerkki kohteen kysynnän jouston ratkaisuksi. Eniten hyötyä kysyntäjoustopalvelusta saataisiin, kun se täyttäisi taulukossa 14 olevat ehdot. Kun aurinkopaneelijärjestelmä on suurin mahdollinen, tässä tapauksessa 545 kWp, akun koko on 125 kW ja sähköenergian hinta on kiinteä, voidaan saavuttaa parhaat tulokset. Energiatuen osuus hankkeen aloitusinvestoinnista on 40 %. Taulukossa 14 on esitetty MGDT-laskentatyökalun eri parametreihin käytettävät arvot ja niiden perusteella saadut tulokset. Takaisinmaksuajaltaan ja taloudellisilta tuloksiltaan parempi lopputulos voitaisiin saavuttaa vain, jos kohteessa olisi jo valmiina aurinkopaneelijärjestelmä. Suomessa on kuitenkin vielä varsin vähän asennettuna suuria aurinkopaneelijärjestelmiä integroituna kiinteistöön, joten tuloksia on parempi arvioida niin, että aurinkopaneelit sisältyvät mukaan hankkeeseen. Esimerkkikiinteistössä aurinkopaneeleiden asennuspinta-ala rajasi aurinkosähköjärjestelmän maksimitehon. Tulevissa hankkeissa on kuitenkin syytä tarkastella myös aurinkopaneeleiden maksimitehon suhdetta aloitusinvestointiin sekä kiinteistön sähkönkulutukseen. Jossain vaiheessa tulee todennäköisesti raja vastaan, jolloin suurin mahdollinen aurinkosähköjärjestelmä ei ole enää taloudellisesti kannattava, vaan itse tuotetun sähkön osuuden tulee olla optimi kiinteistön sähkönkulutuksen kanssa.

Taulukko 14. *Potentiaaliltaan parhaiden kysynnän jousto hankkeiden lopputulokset. Taulukossa on esitetty MGDT-laskentatyökaluun syötettyjen parametrien arvot sekä niillä saadut lopputulokset.*

Jakeluverkkoyhtiö	Elenia Oy	Caruna Oy	Helen Sähköverkko Oy
Aurinkopaneelien koko	545 kWp	545 kWp	545 kWp
Akun koko	125 kW	125 kW	125 kW
Sähköenergian hinta	kiinteä 0,07 €/kWh	kiinteä 0,07 €/kWh	kiinteä 0,07 €/kWh
Energiatuen määrä	40 % (paneelit + akku)	40 % (paneelit + akku)	40 % (paneelit + akku)
Takaisinmaksuaika	8,7 vuotta	9,1 vuotta	10,2 vuotta
Alkuinvestointi	893 975 €	893 975 €	893 975 €
25 vuoden investoinnit yht.	960 961 €	960 961 €	960 961 €
Energiatuen osuus	- 337 590 €	- 337 590 €	- 337 590 €
25-vuoden IRR	5,77 %	5,52 %	5,02 %
25-vuoden LCOE	0,12 €/kWh	0,114 €/kWh	0,106 €/kWh
25-vuoden ROI	23,86 %	20,18 %	12,73 %
Säästöt sähkömaksuissa	2 236 832 €	2 155 154 €	1 990 195 €
25-vuoden NPV	+ 213 339 €	+ 180 374 €	+ 113 796 €

Tässä työssä käytetyistä jakeluverkkoyhtiöistä parhaaseen lopputulokseen päästiin Elenian hinnoittelumallilla ja hinnoilla. Takaisinmaksuajan sekä muiden taloudellisten laskelmien lopputulokset on esitetty taulukossa 14 ja niistä voidaan huomata, että Caruna Oy:n hinnoittelulla takaisinmaksuaika ei ollut merkittävästi Elenian vastaavaa suurempi. NPV-arvoa, eli kysynnän jouston nettohyötyä vertaillen on kuitenkin havaittavissa huomattava ero. NPV-arvo kertookin kuinka paljon kumulatiivinen kassavirta on nykyarvossa. Elenian hinnoittelulla 25 vuoden kassavirta on nykyarvossa selkeästi taloudellisesti kannattavin. Jakeluverkkoyhtiöiden tuloksia vertailtaessa on kuitenkin myös huomioitava se, että MGDT-laskentatyökaluun ei voida valita miten tehomaksun huipputeho määräytyy. Eri jakeluverkkoyhtiöiden välillä on pieniä eroja huipputehon määrittelyssä, ja sillä voi olla merkitystä todelliseen takaisinmaksu-aikaan. Näin ollen takaisinmaksuajat voivat todellisuudessa olla hyvinkin lähellä toisiaan.

Todellisuudessa takaisinmaksuaika olisi vielä hieman MGDT-laskentatyökalulla laskettua tulosta lyhyempi, sillä simuloinneissa ei ole ottaa huomioon loistehomaksun osuutta. Loistehomaksu perustuu osittain pätötehon suuruuteen, joten sitä pienentämällä myös loisteho pienenee. Loistehon osuus tulee kuitenkin ottaa huomioon kysynnänjoustoa suunniteltaessa, ettei käy niin, että sen osuus suurenisi. Mikäli asiakkaalla on käytössä loistehon kompensointilaitteistoja, tulisi ne asetella niin, että loistehon tarve on induktiivisella eli ottaa puolella. Tällöin loistehoa otetaan jatkuvasti pieni määrä verkosta ja näin loisteholaskutus on minimaalinen. (Helen sähköverkko, 2016)

Taulukossa 14 on esitetty kysynnän jouston taloudellista kannattavuutta kuvaavat tulokset. Elenian hinnoittelumallilla saatujen tulosten perusteella verkosta ostetun sähkön LCOE-hinta on kaikkein suurin ja sillä on myös suurin investoinnin sisäinen korkokanta (IRR). IRR-arvo kertoo investoinnin tuoton sijoitetulle pääomalle tietyllä aikavälillä. 25-vuoden ROI-arvo kertoo, kuinka suuri osuus tuottoa saadaan prosentteina hankkeen aloitusinvestoinnista. Siinä on kuitenkin se huono puoli, että 25-vuoden ROI-arvossa ei ole otettu huomioon alkuinvestoinnin jälkeisiä kuluja. Tässä diplomityössä esitettyjen simulointien kestoksi on määritetty 25 vuotta ja akku kestää maksimissaan 15 vuotta. Näin ollen akuston uusimisesta aiheutuvia kuluja ei ole otettu huomioon 25-vuoden ROI-arvossa. MGDT-laskentatyökalulla saatu vuoden 25 ROI-arvo kertoo sen, kuinka suuri kysynnän jouston NPV-arvon osuus on alkuinvestoinneista. (Motiva, 2018; FinSolar, 2016)

Kysynnän jousto hankkeiden kannalta merkittävimmät simulointien kautta saatavat tulokset ovat takaisinmaksuaika ja NPV-arvo. Luvun kuusi taulukoissa 7, 8 ja 9 on esitetty eri simulointien tulosten takaisinmaksuajat sekä aika kuinka kauan kestää, että kumulatiivinen kassavirta on positiivinen. Mikäli kumulatiivisen kassavirran positiivisten arvojen saamisessa kestää yli 25 vuotta, on kyseisen simuloinnin NPV-arvo negatiivinen. Mikäli aika puolestaan on alle 25 vuotta, on kysynnän jouston NPV-arvo positiivinen ja siitä saadaan tuottoa projektin aikana. Simuloinneista saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että esimerkkikiinteistön kysynnän jouston toteuttaminen alle 450 kWp aurinkosähköjärjestelmällä ei ole NPV-arvolla ja takaisinmaksuajalla mitattuna kannattavaa. On kuitenkin olemassa muita arvoja, jotka tekevät myös pienemmillä aurinkosähköjärjestelmillä toteutetuista kysyntäjoustohankkeista asiakkaan mielestä kannattavia. Näitä arvoja ovat muun muassa imago, sisäolosuhteet, kiinteistön arvo, omavaraisuus, verkon tasapaino, katkojen minimointi, käytön helppous ja käyttömukavuus.

MGDT-laskentatyökalulla saatavat tulokset antavat kattavasti tietoa kysynnän jouston taloudellisista arvoista. Laskentatyökalu ei ole kuitenkaan täysin yhteensopiva Suomen hinnoittelumalliin ja jättää siten hieman epävarmuutta saatuihin lopputuloksiin. Luvut ovat kuitenkin suuntaa antavia ja niiden avulla voidaan tarkastella kysynnän jouston kannattavuutta. Työkalulla on myös helppo mallintaa aurinkosähköjärjestelmän tuottoa sekä akkujen käyttöä. Suomessa ei päästä yhtä hyvin lopputuloksiin kuin mitä maailmalla on joissain hankkeissa saavutettu. Tämä johtuu Suomen sähkön hinnoista sekä hinnoittelumallista, mikä ei ole niin huipputunti painotteinen, kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa. Lisäksi aurinkopaneeleiden tuotto jakautuu Suomessa epätasaisesti eri vuodenaajoille. Vaikka Suomessa aurinkopaneeleiden vuosituotto voi olla samaa tasoa

kuin Saksassa, ovat tuottoprofiilit erilaiset. Aurinkopaneeleista ei saada talvikuukausina juurikaan tuottoa, mikä vähentää kysynnän joustosta saatavaa hyötyä. Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat vielä korkeita, ja niistä muodostuva kustannus onkin valtaosa koko hankkeen aloitusinvestoinnista. Nämä asiat on syytä ottaa huomioon, kun suunnitellaan EcoStruxure™ Microgrid Advisor projektia. Myös energiatuen suuruus on tärkeä tekijä kysynnän jouston taloudellisten tulosten kannalta ja tulevaisuudessa tukien määrä tulee laskemaan tai ainakin vaatimukset tulevat muuttumaan. Suomessa vaaditaankin vielä muutoksia aurinkopaneeleiden ja sähkön hinnoitteluun, että EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelun avulla saataisiin taloudellista tuottoa ilman energiatukea. Myös aurinkopaneeleiden tulevaisuuden kehityksellä on merkitystä kysynnän jouston kannalta. Mikäli aurinkopaneeleiden hyötysuhdetta onnistutaan tulevaisuudessa kasvattamaan, voi se vaikuttaa huomattavasti kysynnän jouston kannattavuuteen. (Béguery et al., 2019)

7.2 Kysyntäjousto palvelun lopputulosten arviointi asiakkaan näkökulmasta

Asiakkaan näkökulmasta Schneider Electricin kysynnän jouston ratkaisu tarjoaa helppokäyttöisen kysyntäjoustopalvelun. Palvelu vaatii kuitenkin suuria aloitusinvestointeja, mikäli kiinteistössä ei ole jo valmiina omaa energiantuotantoa. Takaisinmaksuajat ovat suhteellisen pitkiä, joten investointi on pitkäaikainen ja taloudellin hyöty saavutetaan usein vasta vuosien päästä. EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelun avulla voidaan kuitenkin saavuttaa myös muita arvoja kuin vain taloudellinen hyöty. Imago, sisäolosuhteet, kiinteistön arvo, omavaraisuus, verkon tasapaino, katkojen minimointi, käytön helppous ja käyttömukavuus ovat kaikki sellaisia arvoja, joita monet kiinteistön omistajat arvostavat. Vaikka asiakkaan rooli kiinteistön käytössä voi olla erilainen, on silti useista edellämainituista arvoista hyötyä myös taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna. Nämä asiat tukevat asiakkaan päätöstä tehdä suuriakin investointeja, vaikka suurimmat taloudelliset hyödyt saavutettaisiinkin vasta vuosien päästä.

Kun kysynnän jousto toteutetaan Schneider Electricin mikroverkko palvelun avulla, suurin hyöty saavutetaan kiinteällä sähkön hinnalla. Tämä on myös asiakkaan näkökulmasta helppokäyttöisempi sähköenergian hinnoittelutapa kuin SPOT-hinta. Kiinteää hintaa käyttäessä asiakas tietää aina kuinka paljon sähkö maksaa ja voi näin ollen myös itse vaikuttaa kysynnän jouston toteuttamiseen. Mikäli kiinteistössä tulee jostain syystä suuri kulutuspiikki esimerkiksi huoltotöiden takia, voi asiakas itse säätää kysynnän joustoa haluamallaan tavalla. SPOT-hinnoilla tämä on hieman haastavampaa,

sillä sähkön hinta vaihtelee. SPOT-hinnan arvioinnista on kuitenkin pyritty tekemään mahdollisimman helppoa tuomalla sääennuste palveluun. SPOT-hintaa käyttäessä asiakkaan kannattaakin yrittää siirtää kulutushuiput sähkön hinnan kannalta halvoille tunneille, mikäli se on mahdollista. Näin voidaan toimia esimerkiksi tehtaissa, joissa olisi erilaisia prosesseja ja voidaan itse valita ajankohta milloin tietty vaihe suoritetaan. Esimerkki kohteen kaltaisissa kiinteistöissä, joissa kulutusprofiili on todella säännöllinen, ei voida yhtä helposti joustaa halpojen tuntien mukaan. Tämä tulos näkyy siinä, että kiinteä sähköenergian hinnoittelumalli on kannattavampi vaihtoehto kuin SPOT-hinnoittelu.

Schneider Electricin EcoStruxure™ Microgrid Advisor projektia suunniteltaessa voi hankkeen aloitusvaiheeseen kulua pitkä aika. Investointikustannukset ovat suuret aurinkopaneelien takia, joten kustannukset tulee ottaa huomioon asiakkaan vuosibudjetissa. Lisäksi hanke vaatii paljon suunnittelua ja energiatuen hakemisessa menee myös aikaa. Nämä asiat vaativat resursseja myös asiakkaan puolelta, joten asiakkaalla tulee olla kiinnostusta tämän kaltaista projektia kohtaan. Mikäli asiakkaalla kuitenkin on jo käytössään uusiutuvaa energiaa tai sitä on suunniteltu, on Schneider Electricin tarjoama kysynnän jousto palvelu hyvä lisä nykyiseen järjestelmään. Luvussa kuusi esitettyjen tulosten perusteella voidaan todeta, että ilman aurinkopaneelista muodostuvaa hintaa palvelun takaisinmaksuaika on varsin lyhyt. Tällöin myös aloitusinvestointi pienenee huomattavasti.

Taulukossa 14 esitettyjen tulosten perusteella kysynnän joustolla voidaan saavuttaa hyvä tuotto suhteessa aloitusinvestointiin. Projektin tarkasteluajanjakso on kuitenkin 25 vuotta, joten asiakas voi itse määrittää onko se liian pitkä aika tulosten saavuttamiseen. Tähän vaikuttaa paljon se, millaisesta kiinteistöstä on kyse ja mikä on asiakkaan rooli. Myös asiakkaan muiden kiinteistöjen määrä voi vaikuttaa päätökseen. Schneider Electricin mikroverkkojen avulla toteutettu kysynnän jousto ratkaisu on helposti laajennettavissa jälkikäteen. Näin mukaan voidaan ensin ottaa yksi kiinteistö ja myöhemmin lisätä mukaan enemmän kiinteistöjä. Myös kysynnän jouston piirissä olevan laitteiston määrää voidaan kasvattaa helposti. Esimerkiksi auton latauspisteiden lisääminen järjestelmään onnistuu hyvin Schneider Electricin avulla. EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelulla voidaan hallita myös lämmitysjärjestelmää, joten sähkön kulutuksen lisäksi saadaan säästöä myös lämmityskustannuksista. Tämä lisää investoinnin kannattavuutta ja lyhentää takaisinmaksuaikaa. Lämmitysjärjestelmän jousto voidaan toteuttaa kiinteistöautomaatiota hallinnoimalla. Samalla kun lämmitysjärjestelmää hallitaan kysynnän jouston toteuttamiseksi, voidaan saavuttaa säästöjä myös sähkön kulutuksesta. Schneider Electricin palvelun suurin etu onkin

asiakkaan kannalta se, että se ottaa huomioon energian hallinnan kokonaisuudessaan. (Giraud, 2019)

Schneider Electricin kysynnän jousto palvelu mahdollistaa asiakkaalle osallistumisen Fingridin reservi- ja säätösähkömarkkinoille. Markkinoille osallistuminen kuitenkin edellyttää sitä, että taulukossa 1 esitetyt vaatimukset täyttävät. Tässä työssä esimerkki kohteena olevalle kiinteistölle markkinoiden minimivaatimukset ovat hieman liian suuria, mutta yhdessä jonkin toisen kiinteistön tai kiinteistöjen kanssa osallistuminen olisi mahdollista. Mikäli markkinoille osallistuminen jonkin toisen kiinteistön kanssa olisi mahdollista Schneider Electricin tai jonkin toisen toimijan avulla, voitaisiin kysynnän jouston kautta saavuttaa lisätuottoa. Lisätuoton suuruus voisi olla huomattava ja siten sillä olisi vaikutusta myös kysyntäjousto hankkeen taikaisinmaksuaikaan sekä NPV-arvoon. (Väre, 2020)

7.3 Kysyntäjousto palvelun lopputulosten arviointi Schneider Electricin näkökulmasta

Schneider Electricin näkökulmasta EcoStruxure™ Microgrid Advisor kysynnän jousto palvelu on pitkälle kehitetty nykyaikainen palvelutuote, johon on yhdistetty useita Schneider Electricin tuotteita. Palvelu on helppo yhdistää asiakkaan jo valmiina oleviin Schneider Electricin palveluihin sekä laitteisiin ja sitä on myös helppo laajentaa tulevaisuudessa. Kysyntäjousto ratkaisu hyödyntää useita Schneider Electricin laitteistokokonaisuuksia, joten kysyntäjousto palvelun lisäksi saadaan lisämyyntiä myös muista tuotteista. Tämä lisää kysynnän jousto hankkeiden kannattavuutta Schneider Electricin näkökulmasta. EcoStruxure™ Microgrid Advisor hyödyntää kysynnän joustossa aurinkopaneeleita. Niiden osuus kysynnän jousto hankkeiden alkuinvestoinnista on kuitenkin suuri ja Schneider Electricillä ei ole tuotevalikoimassaan aurinkopaneeleita. Näin ollen hanke on tehtävä yhteistyössä jonkin aurinkopaneeleiden toimittajan kanssa, mikä vaikuttaa hankkeesta saatavaan taloudelliseen hyötyyn. Aurinkosähköjärjestelmän laitteistossa voidaan kuitenkin käyttää Schneider Electricin kojeita, joten siinä mielessä aurinkopaneeleiden hyödyntäminen on myös Schneider Electricin näkökulmasta kannattavaa.

Schneider Electricin näkökulmasta yksi kiinnostavimmista kysymyksistä on se, että kuinka paljon kysynnän jousto hankkeille on kysyntää ja kuinka paljon mahdollisia asiakkaita on. Suomen energiatavoitteiden myötä kysynnän jouston tarve kasvaa ja siitä saatavan hyödyn arvo suurenee. Näin ollen kysyntää palvelulle on jo nyt ja jatkossa sitä tulee olemaan vielä lisää, mikäli Suomen energiapoliittiset päätökset ovat tulevaisuudessa saman suuntaisia. Myös sähkön hinnan trendi on ollut jatkuvasti

nouseva ja aurinkopaneeleiden hinnan trendi laskeva. Luvun 7.1 taulukossa 14 esitettyjen taloudellisten lukemien perusteella Schneider Electricin kysynnän jousto palvelun tulokset olivat varsin lupauksia herättäviä. Lukemat voisivat olla vielä hieman paremmat, esimerkiksi takaisinmaksuaika voisi olla vielä hieman lyhyempi, mutta alle kymmenen vuoden takaisinmaksuaikaa voidaan pitää positiivisena mahdollisuutena. Vielä kun otetaan huomioon, että tässä diplomityössä lämpöenergian simuloinnit on rajattu kokonaan pois. Esimerkki kiinteistönä MGDT-laskennassa oli toimistorakennus, jonka sähkönkulutusprofiili on varsin säännönmukainen. Taulukossa 15 on esitetty Suomen rakennuskanta vuodelta 2018. Toimistorakennuksia oli Suomessa tuona vuonna 10 751 kappaletta. Näin ollen pelkästään toimistorakennusten asiakaspotentiaali on suuri. Kaikki toimistokiinteistöt eivät kuitenkaan sähkön kulutuksensa ja kiinteistönsä puolesta sovi yhtä hyvin mikroverkoilla toteutettavan kysynnän jousto palvelun käyttäjiksi kuin esimerkkinä toiminut kiinteistö. Syitä tähän ovat muun muassa vanhanaikainen kiinteistöautomaatio, alhainen energiankulutus sekä pieni katto- tai maapinta-ala aurinkopaneeleille. Kokonaisuudessaan rakennuksia oli Suomessa vuonna 2018 yhteensä 1 530 474 kappaletta. Niistä 85 prosenttia oli asuinrakennuksia ja 15 prosenttia muita rakennuksia. Jos asuinrakennuksia ei huomioida, oli muita rakennuksia yhteensä 229 946 kappaletta. Mikäli tuosta määrästä edes viisi prosenttia olisi soveltuvia kiinteistöjä EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelun hyödyntämiseen, se tarkoittaisi yhteensä 11 497 rakennusta. Näin ollen Suomen rakennuskantaa voidaan pitää erittäin potentiaalisena Schneider Electricin kysyntäjoustopalvelun markkinoinnille.

Taulukko 15. Suomen rakennuskanta 2018. (Suomen virallinen tilasto, 2019)

	Rakennusten lukumäärä	Osuus kaikista rakennuksista (%)
KAIKKI RAKENNUKSET	1 530 474	100
A. Asuinrakennukset yhteensä	1 300 528	85
Erilliset pientalot	1 157 072	75,6
Rivi- ja ketjutalot	81 981	5,4
Asuinkerrostalot	61 475	4
C-X Muut kuin asuinrakennukset yhteensä	229 946	15
C. Liikerakennukset	44 032	2,9
D. Toimistorakennukset	10 751	0,7
E. Liikenteen rakennukset	57 757	3,8
F. Hoitoalan rakennukset	9 207	0,6
G. Kokoontumisrakennukset	14 603	1
H. Opetusrakennukset	8 957	0,6
J. Teollisuusrakennukset	46 492	3
K. Varastorakennukset	32 759	2,1
X. Muut rakennukset	5 388	0,4

Schneider Electric Finland voisi nykyisen kansainvälisen EcoStruxure™ Microgrid Advisor palvelutuotteen lisäksi soveltaa kysynnän joustoa Suomessa myös erilaisella liiketoimintamallilla. Schneider Electric Finland on kehittänyt kiinteistöautomaation hallintaan eValvomon, jota voitaisiin hyödyntää kysynnän joustossa. Sen avulla Schneider Electric voisi toimia teknisenä aggregaattorina ja koota kiinteistöistä isompia kokonaisuuksia, joilla voisi osallistua reservi- ja säätösähkömarkkinoille. Tämä tosin vaatii sen, että myös asiakkaalta saadaan hyväksyntä kysynnän jouston toteuttamiseen. Ratkaisusta kuitenkin hyötyisivät kaikki osapuolet. Tällä tavoin kysynnän joustoa voitaisiin tarjota myös pienemmille sähkönkuluttajille ja näin monet eri asiakkaat voisivat hyötyä kysynnän joustosta, mikä ei välttämättä olisi mahdollista nykyisellä liiketoimintamallilla. Schneider Electric Finlandin eValvomoa hyödyntävän liiketoimintamallin avulla myös useammat eri osapuolet pääsisivät hyötymään kysynnän joustosta samanaikaisesti ja se olisi koko Suomen energiatavoitteiden kannalta merkittävä asia. Suomessa eValvomoa hyödynnetään jo tuhansissa kiinteistöissä, joten kysynnän jouston tarjoaminen lisäpalveluna olisi useimmille asiakkaille varmasti positiivinen asia.

8. YHTEENVETO

Suomen energia- ja ilmastopoliitiikan tavoitteena on kasvihuonekaasujen vähentäminen ja puhtaat energiaratkaisut. Hiilettömän, päästöttömän sekä uusiutuvan energian osuutta kasvatetaan ja 2020-luvulla uusiutuvan energian osuuden tulisi olla yli 50 % Suomen energiantuotannosta. Nämä tavoitteet ovat muuttaneet Suomen sähköntuotannon tuotantorakennetta, joka on perinteisesti mukautunut kulutuksen muutoksiin. Uusiutuvan energian osuuden kasvaessa, joista etenkin tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto on vaihtelevaa, on sähköjärjestelmän joustavuus vähentynyt. Kun sähkön saatavuus vaihtelee ja sen myötä myös sähkön hinta heilahtelee, tarvitaan sähkön kulutuksen mukautumista sähköntuotannon vaihteluihin. Tähän ratkaisuna on kysynnän jousto. Voidaankin todeta, että Suomen energia- ja ilmastopoliittiset tavoitteet vaativat onnistuakseen kysynnän jouston lisäämistä.

Tässä diplomityössä tarkastellaan mikroverkolla toteutetun kysyntäjousto palvelun potentiaalia Suomessa. Tavoitteena oli selvittää kysynnän jouston kannattavuutta sekä sen toistettavuutta Suomen kiinteistökannassa. Mikroverkkoa hyödyntävällä kysynnän jousto palvelulla voidaan saavuttaa taloudellista hyötyä keskijänniteliittymän kokoluokan kiinteistössä, jonka kulutusprofiili on säännönmukainen. Kysyntäjousto hanke vaatii kuitenkin vielä alkuvaiheessa osakseen energiatuen, sillä alkuinvestoinnit ovat suuret ja ilman energiatukea hankkeen taloudellinen kannattavuus on huomattavasti heikompi. Alkuinvestoinnin suuruuteen vaikuttaa eniten aurinkopaneeleiden hinta. Mikäli aurinkopaneeleiden hinta laskee tulevaisuudessa tai niiden hyötysuhdetta onnistutaan parantamaan, on kysynnän jousto palvelu taloudellisesti kannattava myös ilman energiatukea.

Käyttäjän näkökulmasta kysyntäjousto palvelulla on mahdollista saavuttaa muitakin arvoja kuin vain taloudellinen hyöty. Kysyntäjousto palvelu on imago arvoltaan merkittävä hanke, etenkin jos vihreät arvot ovat käyttäjälle tärkeitä. Palvelun toteutuksen kannalta aurinkopaneeleilla on merkittävä rooli ja aurinkosähköjärjestelmän tuleekin olla suuri. Tämä lisää kiinteistön omavaraisuutta ja siten myös kiinteistön arvoa.

Schneider Electricin näkökulmasta mikroverkoilla toteutettu kysynnän jousto palvelu on potentiaalinen tuote. Markkinoilla riittää kysyntää tämän kaltaiselle tuotteelle ja kiinteistökanta on suuri. Palvelutuotteen lisäksi asiakkaalle voidaan tarjota myös Schneider Electricin muita tuotteita, kuten esimerkiksi akkuja. Mikroverkolla toteutetun kysynnän jousto palvelun avulla on mahdollista yhdistää teholuokaltaan pienempiä

kiinteistöjä suuremmiksi kokonaisuuksiksi, mikä mahdollistaa osallistumisen Fingridin reservi- ja säätösähkömarkkinoille. Schneider Electric voisi markkinoille osallistumisessa hyödyntää jo valmiina olevaa kiinteistöautomaatiokantaa ja tarjota myös teknisiä aggregaattori palveluita myös pienille kiinteistöille. Tämä mahdollistaisi uuden liiketoimintamallin, mikä nostaisi kysynnän jousto palvelun arvoa. Reservi- ja säätösähkömarkkinoille osallistuminen toisi hyötyä useille eri osapuolille ja siten tukisi Suomen energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteiden saavuttamista.

9. LÄHTEET

Auvinen, K & Jalas, M (2017). Aurinkosähkijärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Finsolar. Saatavissa (viitattu 15.3.2020):

<https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Béguery, P., Mugnier, C., Saad, Y., Pflaum, P. (2019). MicroGrid Design Tool. Schneider Electric, sisäinen koulutusmateriaali.

Blomberg, M., (2018). Mikroverkot ja kysyntäpuolen energianhallinta osana rakentamista ja teollisia prosesseja – mahdollista jo tänä päivänä. Schneider Electric, Innovation Summit Helsinki -tapahtuman asiantuntija esitelmä.

Business Finland, (2020). Energiatuki. Saatavissa (viitattu 22.2.2020):

<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki/>

Caruna Oy, (2019). Verkkopalveluhinnasto Caruna Oy 1.11.2019. Saatavissa (viitattu 1.4.2020):

https://images.caruna.fi/verkkopalveluhinnasto_caruna_oy_1.11.2019.pdf?1Wn8AS6lczc5XKpMX_pPFnAcoThQcHdR

Caruna, (2020). Sähkön siirtohintaa. Saatavissa (viitattu 1.4.2020):

<https://www.caruna.fi/palvelut/tuotteet-ja-hinnat/sahkonjakelun-hinta>

Companies History, (2020). Schneider Electric SA history, profile and corporate.

Saatavissa (viitattu 8.2.2020): <https://www.companieshistory.com/schneider-electric/>

Elenia, (2019). Verkkopalveluhinnasto -tehosiirtotuotteet 1.9.2019. Saatavissa (viitattu 13.4.2020): <https://www.elenia.fi/sahko/siirtotuotteet>

Energiateollisuus ry, (2020a). Energiavuosi 2019 Sähkö, s. 2 & s. 25. Saatavissa (viitattu 11.4.2020):

https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/energiavuosi_2019_sahko.html#material-view

Energiateollisuus ry, (2020b). Sähköverkkoyhtiöt. Saatavissa (viitattu 1.4.2020):

<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiot>

Energiavirasto, (2019). Sähkön hintatilastot. Saatavissa (viitattu 11.4.2020):

<https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Euroopan komissio, (2019). Photovoltaic geographical information system. Saatavissa (viitattu 14.3.2020): https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

Fingrid, (2020a). Kysyntäjousto. Saatavissa (viitattu 12.2.2020):

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisuus/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/kysyntajousto/#tuntihinta>

Fingrid, (2020b). Reservimarkkinat. Saatavissa (viitattu 24.4.2020):

<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservilajit>

FinSolar, (2016). Aurinkoenergian vertailuhintoja. Saatavissa (viitattu 14.4.2020):

<https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkoenergian-vertailuhintoja-2/>

Fortum, (2020). Vaihtoehtoja yritysten ja yhteisöjen sähkönhankintaan. Saatavilla (viitattu 11.4.2020): <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisöille/sahkosopimus/vaihtoehtoja-yritysten-ja-yhteisöjen-sahkonhankintaan>

Giraud, B. (2019). EcoStruxure™ Microgrid Advisor functional specification, Schneider Electric, sisäinen koulutusmateriaali, ss. 13 – 31.

Guillaume, F. & Ivaldi, V. (2019). Schneider Electric Microgrid Solutions. Schneider Electric, sisäinen koulutusmateriaali.

Haveri, P., Kostama, J. (2020). Säättövoima – säädettävää sähköntuotantoa, Energiateollisuus ry. Saatavissa (viitattu 8.2.2020): <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/saatovoima>

Heinimäki, R. (2020). Sähköä kannattaa käyttää joustavasti, Energiateollisuus ry. Saatavissa (viitattu 24.4.2020): <https://energia.fi/energiasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/kulutusjousto>

Helen sähköverkko, (2016). Loistehon hinnoitteluun muutos. Saatavissa (viitattu 13.4.2020): <https://www.helensahkoverkko.fi/uutiset/2016/loistehon-hinnoitteluun-muutos>

Helen sähköverkko, (2018). Sähkön siirtohinnoitus. Saatavissa (viitattu 22.2.2020): <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/hinnastot>

Honkapuro, S. (2016). Kysyntäjousto hyödyttää kaikkia sähkön käyttäjiä ja laskee sähkön hintaa, Smart Energy Transition. Saatavissa (viitattu 8.2.2020): <http://smartenergytransition.fi/fi/kysyntajousto-hyodyytaa-kaikkia-sahkon-kayttajia-ja-laskee-sahkon-hintaa/>

Loiste, (2019). Loiste oma energia -palvelu. Sähkönkulutus.

Motiva, (2018). Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus. Laskentatyökalu – ohje työkalun käyttöön, s. 6-8. Saatavissa (viitattu 11.4.2020): https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskurin_ohje_2018.pdf

Motiva, (2019). Ylijäämänsähkön myynti. Saatavissa (viitattu 19.4.2020): https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

Motiva, (2020). Investointituet. Saatavissa (viitattu 5.4.2020): https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/katselmus-ja_investointituet/investointituet

Nivos, (2020). Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus, asennus ja huolto. Saatavissa (viitattu 10.4.2020): <https://www.nivos.fi/aurinkosahkojarjestelman-mitoitus-asennus-ja-huolto>

Oulun Energia, (2016). Tee aurinkoenergiälaskelma talollesi. Saatavissa (viitattu 14.3.2020): <http://aurinkolaskuri.ouluenergia.fi/start>

Schneider Electric, (2019). Energy Storage. Saatavissa (viitattu 10.4.2020): https://www.se.com/us/en/download/document/998-20447974_GMA-US/

Schneider Electric, (2020a). Yli 180 vuotta historiaa ja innovaatiota. Saatavissa (viitattu 8.2.2020): <https://www.se.com/fi/fi/about-us/company-profile/history/schneider-electric-history.jsp>

Schneider Electric, (2020b). EcoStruxure-innovaatioita kaikilla tasoilla. Saatavissa (viitattu 9.2.2020): <https://www.se.com/fi/fi/work/campaign/innovation/overview.jsp>

Schneider Electric, (2020c). EcoStruxure™ Microgrid Advisor. Saatavissa (viitattu 19.4.2020): <https://www.se.com/fi/fi/work/solutions/microgrids/ecostruxure-microgrid-advisor.jsp>

Stranberg, P (2018). Pörssisähkösopimusten suosio kasvaa Suomessa – onko järkeä vai ei? Vattenfall. Saatavissa (viitattu 15.3.2020): <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/alykkaasti-kotona/porssisahkosopimusten-suosio-kasvaa-suomessa/>

Suomen virallinen tilasto (SVT), (2019). Rakennukset ja kesämökit (verkkójulkaisu). Rakennuskanta 2018. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa (viitattu 15.4.2020): http://www.stat.fi/til/rakke/2018/rakke_2018_2019-05-21_kat_002_fi.html

Tero Laaksonen, (2020). Kiinteistöhallintajärjestelmien ylläpitopalvelut. Schneider Electric, sisäinen koulutusmateriaali.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), (2016). Suomen älyverkkovisio, ss.15 – 45. Saatavissa (viitattu 26.4.2020): <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/%C3%84lyverkkovisio+final/9ddc2545-586e-4574-8195-ef9987a07151>

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), (2017). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, ss. 4 – 12. Saatavissa (viitattu 8.2.2020): <https://tem.fi/julkaisu?pubid=URN:ISBN:978-952-327-190-6>

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), (2020). Energiatuki. Saatavissa (viitattu 5.4.2020): <https://tem.fi/energiatuki>

Vattenfall, (2020). Tuntispot-hinnat Sähköpörssissä. Saatavissa (viitattu 11.4.2020): <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/porssisahko/tuntispot-hinnat-sahkoporssissa/>

Väre, (2020). Kysyntäjousto. Saatavissa (viitattu 25.4.2020): <https://vare.fi/kysyntajousto/>