

**Kiinteistösijoittajan odotukset ja epävarmuudet  
virtuaalivoimalaitoksen hankinnassa**



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Älykkäät palvelut digitaalisessa ympäristössä

Kevät, 2020

Mika Kari

Älykkäät palvelut digitaalisessa ympäristössä  
Visamäki

---

<b>Tekijä</b>	Mika Kari	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	Kiinteistösijoittajan odotukset ja epävarmuudet virtuaalivoimalaitoksen hankinnassa	
<b>Työn ohjaaja</b>	Iivari Kunttu	

---

## TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutoksen torjuminen ja energiamurros tuovat uusia haasteita ja mahdollisuuksia sekä rakentamiseen että kiinteistösijoittamiseen. Yksi ratkaisu kiinteistöjen kasvaviin haasteisiin on virtuaalivoimalaitos. Virtuaalivoimalaitos on digitaalinen alusta, joka muun muassa kerää kulutusjousto-  
on käytettävissä olevia sähkökuormia riittävän suureksi kokonaisuudeksi, jotta niitä voidaan hyödyntää sähköverkon heilahtelujen tasaamiseen.

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Siemens Osakeyhtiön kanssa. Työ käsittelee virtuaalivoimalaitosta erityisesti kiinteistösijoittajien näkökulmasta. Työssä on selvitetty kiinteistösijoittajien ja alan keskeisten toimijoiden odotuksia ja epävarmuuksia, kun he pohtivat kiinteistön liittämistä osaksi virtuaalivoimalaitosta.

Kiinteistösijoittajien suurimmat odotukset virtuaalivoimalaitoksen osalta liittyvät hankkeen taloudelliseen kannattavuuteen ja energian käytön optimointiin. Taloudellisen kannattavuuden lisäksi voimalaitoshankkeen odotetaan olevan riittävän suuri kokonaisuus, jotta sillä on aitoa liiketoiminnallista merkitystä. Kulutusjouston mahdollistamalta uudelta kiinteistöjen ansaintamallilta vaaditaan selkeyttä ja läpinäkyvyyttä. Voimalaitoshankkeen odotetaan myös pienentävän kiinteistön hiilijalanjälkeä ja samalla nostavan kiinteistön sekä sen sidosryhmien vihreää imagoa. Ympäristösertifikaattien merkityksen nähdään kasvavan tulevaisuudessa myös kotimaisten vuokralaisten ja näiden asiakkaiden parissa.

**Avainsanat** Virtuaalivoimalaitos, kulutusjousto, kiinteistösijoittaminen, ilmastomuutos, digitalisaatio, ESG

**Sivut** 58

Smart services in digital environment  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Mika Kari	<b>Year</b> 2020
<b>Subject</b>	The Expectations and Uncertainties of Real Estate Investors in a Virtual Power Plant Project	
<b>Supervisor</b>	Iivari Kunttu	

---

ABSTRACT

Climate change and smart energy transition are challenging both the building industry and real estate investors. One solution for these increasing challenges is a virtual power plant. A virtual power plant is a digital platform, which among other things, combines electricity loads for demand-side management purposes. Demand-side management is utilized to provide flexibility to the electricity network.

This thesis was done in cooperation with Siemens Osakeyhtiö. In the thesis the virtual power plant is examined from the real estate investors' point of view. The purpose of the work was to find out the expectations and uncertainties of real estate investors in a virtual power plant project.

The most significant expectations of real estate investors were related to financial profitability and optimal energy efficiency. In addition, the project was expected to be large enough to have genuine business potential. The essential requirements for the new business model were clarity and transparency. The virtual power plant was also expected to decrease the carbon footprint and improve the green image of the real estate and its stakeholders. The role of environmental certificates was expected to increase also among domestic tenants and their customers in the future.

**Keywords** Virtual power plant, demand-side management, real estate investment, climate change, digitalization, ESG

**Pages** 58

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Megatrendit haastavat rakentamisen muutokseen .....	2
1.2	Ilmastonmuutos .....	2
1.3	Uusiutuva energia .....	3
1.4	Viitekehys .....	3
1.5	Keskeisiä käsitteitä .....	4
1.6	Kirjallisuus .....	6
1.7	Työn tavoite ja tutkimuskysymys .....	7
1.8	Työn rakenne.....	7
2	DIGITALISAATIO .....	8
2.1	Datan ja alustatalouden hyödyntäminen.....	8
2.2	Smart Readiness Indicator (SRI) .....	9
3	ENERGIANTUOTANNON JA -KULUTUKSEN MURROS .....	12
3.1	Uusiutuvan energian aikakausi .....	12
3.2	Sähköverkon haasteet.....	13
3.3	Kulutusjousto ja tehon hallinta .....	15
4	VIRTUAALIVOIMALAITOS.....	16
4.1	Digitaalinen alusta kokoaa kuormat .....	16
4.2	PESTEL-analyysi .....	18
4.2.1	Poliittiset muutosvoimat .....	19
4.2.2	Taloudelliset muutosvoimat.....	19
4.2.3	Sosiaaliset muutosvoimat.....	20
4.2.4	Teknologiset muutosvoimat.....	21
4.2.5	Ekologiset muutosvoimat .....	21
4.2.6	Lainsäädännölliset muutosvoimat.....	22
4.3	Skenaarioanalyysi .....	23
5	KVALITATIIVINEN HAASTATTELUTUTKIMUS.....	27
5.1	Haastattelujen toteutus .....	27
5.2	Lähtötilanne .....	30
5.3	Haastateltavien odotukset .....	32
5.4	Epävarmuudet ja haasteet .....	33
6	VIRTUAALIVOIMALAITOS PALVELUNA – CASE SIEMENS.....	36
6.1	Palvelun kuvaus.....	37
6.2	Sijoittajamalli akustojen rahoituksessa.....	38
6.3	Ansainta.....	39
6.4	Säästöt.....	40
6.5	Kiinteistön arvo .....	41
6.6	Hyödyt yhteiskunnalle.....	43
6.7	Hyödyt vuokralaiselle .....	45
6.8	Muut hyödyt.....	45

6.9	Virtuaalivoimailaitoksen arvolupaus kiinteistösijoittajalle .....	46
7	CASE-ESIMERKIT JA LASKELMAT .....	48
7.1	Esimerkki 1 Teollisuusyritys .....	48
7.2	Esimerkki 2 Kauppakeskus .....	49
8	LOPPUPÄÄTELMÄT JA KEHITTÄMISEHDOTUKSET .....	50
	LÄHDELUETTELO .....	53

## 1 JOHDANTO

Energiamurros ja uusiutuvan energian tuotannon kasvu ovat ravistelleet yhteiskunnan energiarakenteen perustuksia. Vanhan infrastruktuurin kestävyys rajoja koettelee säätilojen mukaan heilahteleva tuotanto ja sen tasapainottaminen. Perinteiselle tuotantorakenteelle ominaisesta ennustettavuudesta on siirrytty tilanteeseen, jossa verkon tasapainottamiseen tarvitaan uusia ja uudenlaisia reservejä. Mitä enemmän uusiutuvaa energiaa rakennetaan, sitä suurempi tarve on tuotannon heilahtelujen tasaamiseen tarvittavalle säätövoimalle.

Parhaimmillaan tuotannon säätäminen voidaan toteuttaa siirtämällä energiankulutusta toiseen ajankohtaan. Tässä tapauksessa energian tuotantoa ei tarvitse hetkellisesti lisätä, jolloin myöskään uusia tuotantolaitoksia ei tarvitse käynnistää. Tämä säästää sekä luontoa että yhteiskunnan kustannuksia. Kyseistä menetelmää kutsutaan kulutusjoustoksi ja sen toteuttamisen optimoimiseksi on kehitetty virtuaalivoimalaitos. Virtuaalivoimalaitos on digitaalinen alusta, joka kerää joustoon käytettävissä olevia sähkökuormia riittävän suureksi kokonaisuudeksi, jotta niitä voidaan hyödyntää sähköverkon heilahtelujen tasaamiseen.

Kiinteistöt ovat Suomessa merkittäviä energian käyttäjiä, ja niissä piilee myös suuri mahdollisuus joustaa kulutuksessaan. Kiinteistöt ovatkin otollisia kohteita hyödyntämään virtuaalivoimalaitoksen ominaisuuksia. Mikäli kiinteistön energiankulutusta voidaan ajallisesti siirtää korkean kulutuksen hetkestä matalamman kysynnän ajankohtaan, on uusiutuvan sähkön tuotannosta aiheutuvia heilahteluja mahdollista tasapainottaa ympäristöystävällisesti. Kiinteistön massa varaa hyvin lämpöä, joten esimerkiksi hetkellinen lämmityksen vähentäminen ei aiheuta havaittavaa muutosta rakennuksen olosuhteissa.

Kiinteistöille kulutusjousto avaa uuden tulovirran, koska kansallinen sähköverkkoyhtiö Fingrid Oyj maksaa korvausta kulutusjoustosta. Säätövoiman tuottaminen on sähköverkkoyhtiölle suuri kustannus, joten tuottamisen sijaan sillä on vaihtoehtona ostaa tuotannon tasausta virtuaalivoimalaitokselta. Virtuaalivoimalaitos puolestaan jyvittää korvaukset joustoon osallistuneille kiinteistöille ja saa itse toiminnasta tuottoa palvelumaksujen muodossa. Kun aurinko- ja tuulienergiaa rakennetaan lisää, tarve tuotannon heilahtelujen tasaamiseksi kasvaa jatkuvasti. Tämä kasvattaa kysyntää kiinteistöjen joustopotentialin hyödyntämiseen ja kannustaa uuden teknologian käyttöönottoon.

Vaikka asia vaikuttaa yksinkertaiselta, liittyy siihen kiinteistösijoittajilla tiettyjä huolia ja epävarmuuksia. Millaisia epävarmuuksia kiinteistön omistajat virtuaalivoimalaitoksessa näkevät ja mitkä ovat heidän odotuksensa virtuaalivoimalaitospalvelulta? Tässä tutkimuksessa etsitään vastauksia muun muassa näihin kysymyksiin sekä kuvataan virtuaalivoimalaitoksen hyötynäkökulmia ja hankintaa palveluna.

## 1.1 Megatrendit haastavat rakentamisen muutokseen

Ilmastonmuutos, väestönkasvu, kaupungistuminen ja teknologian kehitys tuovat mukanaan muutospainetta kaupunkien infrastruktuureihin. Työelämän muuttuessa myös kiinteistöjen käyttäjien vaatimukset kiinteistöistä muuttuvat. Enää ei riitä, että kiinteistö tuo vain suojan sateelta ja kylmältä, vaan käyttäjät ovat alkaneet vaatia myös energiatehokkaampia työskentelyolosuhteita. Käyttäjät tahtovat kiinteistöiltä optimaalisia ilmanvaihto-, valaistus- ja lämpötilaolosuhteita, jotka vaikuttavat suoraan työntekijän vireyteenkin. Lisäksi tietoverkko-yhteyksiltä vaaditaan luotettavuutta ja yhteensopivuutta käyttäjien järjestelmiin. Mikäli esimerkiksi verkkoyhteys ei toimi, työntekijän työteho laskee nopeasti muista olosuhteista huolimatta. (Särkilahti, 2015)

Monet tämänkaltaiset ongelmat on ratkaistu ns. älykkäissä rakennuksissa. Digitalisaatio ja datan analysointi ovat auttaneet kehittämään laadukkaita rakennuksia, joissa olosuhteiden optimoinnin lisäksi on huomioitu kestävä kehitys. Uusi teknologia mahdollistaa nykyisin muun muassa energian säästeliääseen käytön ja lähienergian tehokkaan hyödyntämisen sekä varastoinnin. Digitalisaation avulla rakennukset kykenevät myös ennakoimaan energiatarpeitaan esimerkiksi sääennusteiden avulla ja tarpeen mukaan joustamaan omassa kulutuksessaan, kun sähköverkon kuormitus on suurta. Näin energiaa pystytään käytännössä siirtämään talouden sektorilta toiselle.

Nykyaikaiset kiinteistöt tarjoavat myös käyttäjilleen mahdollisuuden seurata omaa toimintaansa kuten sähkön- tai vedenkulutustaan. Tämä kannustaa käyttäjiä tekemään kestävämpiä ratkaisuja jokapäiväisessä toiminnassaan. Käyttäjää voidaan jopa palkita hyvistä valinnoista. Kaikkea rakennuksessa syntyvää ja ulkopuolisista lähteistä saatavaa dataa hallitaan, yhdistellään ja analysoidaan digitaalisella alustalla, jonka yhtenä sovelluksena toimii virtuaalivoimalaitos.

## 1.2 Ilmastonmuutos

Fossiilisten polttoaineiden käyttö muun muassa rakennusten energian tuotannossa vapauttaa kasvihuonekaasuja ilmakehään ja edistää näin ilmastonmuutosta. Muutoksen voimakkuus edellyttää yhteiskunnalta monien eri ratkaisujen käyttöönottoa. Hiilidioksidin tuotannon vähentämisen lisäksi voitaisiin hyödyntää enemmän hiilidioksidin talteenottomenetelmiä, kuten fotosynteesiä. Yhteiskunnalla onkin edessään suuri ongelma siitä, miten kasvavalle väestölle tuotetaan tulevaisuudessa riittävästi puhdasta energiaa. Tällaisia liittyviä globaaleja haasteita pyritään ratkaisemaan ennalta useilla eri ympäristöohjelmilla.

Ympäristöohjelmien suunnittelu lähtee liikkeelle YK:n päätöslauselmista ja kansainvälisistä sopimuksista. Suunnitelmat konkretisoituvat EU:n ja Suomen hallituksen tekemissä säädöksissä ilmastonmuutoksen hidastamiseksi. Yksi keskeinen Suomen hallituksen ilmastopoliittinen tavoite on puolittaa tällä hetkellä tuotettu kasvihuonekaasupäästö määrä vuoteen 2030 mennessä ja tehdä yhteiskunnasta täysin hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä (Ympäristöministeriö, 2018).

Uusiutuvan energiantuotannon lisääminen on avainasemassa ilmastonmuutoksen hidastamiseksi. Myös kiinteistöiltä edellytetään energiatehokkuuden lisäämisen sekä hiilijalanjäljen pienentämisen lisäksi uusiutuvaa energiantuotantoa. Kiinteistösijoittajan kannalta ilmastopoliittiset vaatimukset edellyttävät kiinteistön hiilijalanjäljen huomioimista päätöksenteossa ja investointeja kiinteistön omavaraiseen energiantuotantoon. Vaikka uudistuksiin joudutaan sijoittamaan pääomaa, ne myös aikaansaavat säästöjä ja nostavat kiinteistön arvoa. Uudistuotannon osalta ilmastotavoitteet voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa, jolloin investoinnin hyötysuhde on parempi.

### 1.3 Uusiutuva energia

Energiajärjestelmien uudistaminen ja energian varastoinnin kehittäminen ovat välttämättömiä maapallon tulevaisuuden kannalta. Kiinteistöillä on monia mahdollisuuksia uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Helpoin tapa siirtyä uusiutuvan energian käyttöön on hankkia kiinteistössä käytettävä ostoenergia ekologisesti tuotettuna kaukolämpönä tai vihreänä sähköä. Tämän jälkeen omaa energiantuotantoa voidaan toteuttaa muun muassa aurinko-, tuuli- tai geoenergian avulla. Eri energiamuotoja kannattaa kiinteistöissä yhdistellä ja muokata omaan tarpeeseen sopiviksi. Energian käyttö ja varastointi voidaan parhaiten optimoida virtuaalivoimalaitospalvelun mikroverkkoratkaisun avulla.

Ilmastonmuutosta voidaan hidastaa lisäämällä uusiutuvaa energiantuotantoa. Kiinteistön omavarainen energiantuotanto tulee entistä tärkeämmäksi jo lähitulevaisuudessa, kun myös kuluttajat vaativat vastuullista ja kestävästä energiankäyttöä sekä kiinteistön hiilijalanjäljen pienentämistä. Oman energian tuottaminen on myös taloudellisesti kannattavaa – etenkin jos sähkön siirtohintojen nousu edelleen jatkuu.

Suomi on Euroopan johtavia maita uusiutuvan energian käytössä. Meillä uusiutuvan energian käyttö keskittyy puuhun ja biopolttoaineisiin. Vastaavasti muista kärkimaista esimerkiksi Ruotsissa ja Itävallassa vesivoima on merkittävämmässä roolissa. Vuonna 2018 uusiutuvien energialähteiden käyttö kasvoi Suomessa kolmella prosentilla ja uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta oli jo 37 prosenttia. (Aarni, 2019)

### 1.4 Viitekehys

Tämä tutkimus pohjaa talousteorian malleihin, jotka ohjaavat kiinteistösijoittajan käyttäytymistä markkinoilla. Näistä malleista mainittakoon John Burr Williamsin vuonna 1938 kirjassaan *The Theory of Investment Value* esittelemä kasvavirtamenetelmä, joka on edelleen tärkeä kiinteistöjen arvonnäytelmä (Williams, 2014). Toisena merkittävänä sijoittamisen teoriana voidaan nostaa esiin Harry Markowitzin teoria hajauttamisen riskiä pienentävästä vaikutuksesta vuodelta 1952 (Markowitz, 1952). Näiden lisäksi William F. Sharpe kehitti 1960-luvulla kuuluisan CAPM-mallinsa, josta muodostui pitkäksi aikaa



eräänlainen salkunhoidon kulmakivi (Stulz, 1995). Viime aikoina sijoittamisessa on kuitenkin siirrytty yhä enemmän useiden faktorien malleihin. Näissä malleissa sijoittamisen kriteereinä voivat toimia sijoituskohteen ominaisuudet kuten arvo, laatu, volatiliteetti, koko, momentum tai esimerkiksi vastuullisuus. Monesti nykyaikainen sijoitusstrategia perustuu useamman tällaisen tekijän samanaikaiseen hyödyntämiseen. (Zivot, 2011)

Tutkimuksen toisena teemana on ilmaston lämpenemistä koskevat teoriat ja arviot ihmisen toiminnan vaikutuksista ilmastonmuutoksen syntyyn ja nopeuteen. Jo vuonna 1827 ranskalainen luonnontieteilijä Joseph Fourier keksi kasvihuoneilmiön. Hän selitti ilmiön synnyn siten, että ilmakehä päästää auringon valon hyvin lävitseen, mutta estää lämmön karkaamisen avaruuteen. (Pitkänen, 2011) Nopeasti havaittiin myös, että tietyillä kaasuilla on merkittävä vaikutus tähän ilmiöön. Ruotsalainen Svante Arrhenius puolestaan esitti vuonna 1896 teorian ihmisen toiminnan vaikutuksesta kasvihuoneilmiöön. (Ilmasto.org, 2012) Nykyään ihmisten toimien vaikutus ilmaston lämpenemiseen tunnetaan jo hyvin (Nuccitelli, 2015). Tutkimuksen tätä teemaa käsitellään tarkemmin luvussa 3 energiantuotannon ja -kulutuksen murroksen yhteydessä.

Kolmantena teemana on sähköverkon tasapainottaminen tuotannon ja kulutuksen suhteen. Sähkön kokonaiskulutuksen ja tuotannon tulee olla tasapainossa joka hetki. Kulutuksen ja tuotannon tasapainoa kuvaa sähköverkon taajuus. Taajuudelle on asetettu tavoitteellinen nimellisarvo 50 Hz. Kun kulutus on tuotantoa suurempi, verkon taajuus laskee alle 50 Hz arvon. Vastaavasti kun tuotanto ylittää kulutetun määrän, taajuus nousee yli 50 Hz nimellisarvon. Taajuuden salitaan vaihdella 49,9 ja 50,1 Hz välillä. (Fingrid, n.d.)

## 1.5 Keskeisiä käsitteitä

*Alustatalous* on Internetin kehityksen mahdollistama liiketoiminnan organisointimalli. Mallia käytetään erityisesti silloin, kun toteutetaan nopeasti skaalautuvia palvelukokonaisuuksia. Mallin avulla on kehitetty tuottavat ja kokonaisvaltaiset tavat soveltaa tietotekniikkaa ja ohjelmointia koko yrityksen toiminnan perustana. Alustatalous mahdollistaa toimintamallien, rakenteiden ja vuorovaikutuksen tuottavan uudistamisen. (Alustatalous.fi, 2019)

*ESG-lyhenteellä* (Environment, Social and Governance) tarkoitetaan toimintaa, jossa yritykset omissa toiminnoissaan huomioivat ympäristöön, sosiaalisiin seikkoihin ja hyvään hallintotapaan kuuluvia asioita. Ympäristön (Environment) osalta pohditaan, kuinka yrityksen toiminta vaikuttaa esimerkiksi ilmastomuutokseen tai miten yritys suhtautuu ympäristösertifikaatteihin. Sosiaalinen vastuu (Social) tarkoittaa, miten yritys huolehtii työntekijöidensä työolosuhteista ja turvallisuudesta tai millaisia yhteiskunnallisia vaikutuksia yrityksen toiminnalla on. Hallinnointi (Governance) viittaa lahjonnan vastaiseen toimintaan, johdon palkitsemispolitiikkaan ja verojen maksamiseen. ESG-termin määrittely saattaa vaihdella eri toimialoilla. (Huhtinen, 2019)

*IoT* eli esineiden internet on järjestelmä, jossa toisiinsa on liitetty tietojenkäsittelylaitteita, mekaanisia ja digitaalisia koneita, esineitä, eläimiä tai ihmisiä. Kaikilla näillä on yksilölliset tunnisteet (UIDt) ja kyky siirtää dataa verkossa ilman ihmisen vuorovaikutusta toisen ihmisen tai tietokoneen kanssa. (Rouse, 2019)

*Kaksisuuntainen lataus* mahdollistaa esimerkiksi sähköauton akun hyödyntämisen osana sähköverkkoa. Energiaa voidaan siirtää verkosta akkuun tai akkua voidaan purkaa ja energiaa siirtää takaisin sähköverkkoon. Lataustehoa ja sähkövirran suuntaa voidaan kontrolloida energijärjestelmän signaalien perusteella. (Virta.fi, 2018)

*Kulutusjousto* on energiankulutuksen hetkellistä vähentämistä tai lisäämistä tuotantotilanteen mukaisesti. Energiaa käytetään silloin, kun sitä tuotetaan runsaasti ja uusiutuvia menetelmiä hyödyntäen. (Motiva.fi, 2019)

*Mikroverkko* on sähkönlähteiden ja tuotetun sähköön muodostama kokonaisuus, joka voi toimia yhdistettynä ja synkronisoituna perinteiseen keskitettyyn sähköverkkoon. Mikroverkossa tuotetaan sähköä paikallisesti hyödyntämällä yleensä uusiutuvia energialähteitä kuten aurinkopaneeleja, tuulivoimaa tai polttokenoja. (Tieteentermipankki.fi, 2018)

*Smart Readiness Indicator* eli älyindikaattori on Euroopan komission kehittämä mittari älykkäiden rakennustekniikoiden ja energiatehokkaiden ratkaisujen tunnistamiseksi. Mittari kuvaa rakennuksen teknistä valmiutta mukautua käyttäjien tarpeisiin, rakennuksen kykyä tukea tehokasta käyttöä ja ylläpitoa sekä kykyä joustaa energiantarpeessaan. (Virtanen, 2019)

*Sähkövarasto* on menetelmä varastoida sähköenergiaa tulevaa käyttöä varten. Varastointi voi tapahtua suoraan sähköenergiana kuten akuissa tai esimerkiksi patoamalla vettä potentiaalienergiaksi. Muita esimerkkejä sähkövarastoista ovat muun muassa lämpövarasto, vetykaasuvarasto, superkondensaattorit, suprajohdemagneetit, vauhtipyörät ja paineilma. (Blomqvist, Härkönen & Makkonen, 2017b, s. 4)

*Uusiutuvaan energiaan* luetaan ”aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia, maalämpö sekä aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia. Bioenergiaa ovat puolestaan puuperäiset polttoaineet, peltobiomassat, biokaasu ja kierrätyspolttoaineiden biohajoava osa.” (Aarni, 2019)

*Virtuaalivoimailaitos* on digitaalinen alusta, joka liittää kiinteistöt energiamarkkinoihin. Kiinteistöjen sähkökuormat yhdistetään virtuaalivoimailaitoksen avulla riittävän suuriksi kokonaisuuksiksi, jotta niitä voidaan tehokkaasti hyödyntää sähkömarkkinoiden joustona. (Siemens, 2019c)

*Älykkäät rakennukset* kykenevät itsenäisesti tunnistamaan ja ennakoimaan muuttuvia olosuhteita ja reagoimaan niihin. Näitä muutoksia aiheuttavat rakennusten käyttäjät, muut tekniset järjestelmät ja ulkoinen ympäristö kuten energiaverkot. Älykkään rakennuksen käyttäjä saa reaaliaikaista tietoa rakennuksen

toiminnasta ja sen tarjoamista palvelusta. Käyttäjän on mahdollista myös helposti ohjata rakennuksen toimintaa esimerkiksi mobiilisovelluksella. (Zaitsev, 2018)

*Älykäs sähköverkko* yhdistää kustannustehokkaasti, turvallisesti ja kestävästi kehityksen mukaisesti toisiinsa sähkön tuottajat ja kuluttajat. Älykkäässä sähköverkossa hyödynnetään hajatuotantoa. Verkossa sekä tieto että energia liikkuvat kaksisuuntaisesti. (Blomqvist, Härkönen & Makkonen, 2017a, s. 3)

## 1.6 Kirjallisuus

Virtuaalivoimalaitoksesta nykyisen kaltaisena digitaalisena alustana on kirjoitettu varsin vähän. Siihen läheisesti liittyvistä ja sitä sivuavista aiheista löytyy kyllä hyvin tietoa, joskin tieto voi olla pirstaloitunutta.

Virtuaalivoimalaitoksen ansaintamallissa keskeistä on kulutusjousto, jota aikaisemmin yleisesti kutsuttiin kysyntäjoustoksi. Kulutusjoustoan liittyen esimerkiksi kantaverkkoyhtiö Fingrid tarjoaa verkkosivuillaan kattavasti tietoa ja muun muassa lukuja toteutuneista kaupoista.

Mikroverkkojen hyödyntämistä kiinteistöjen kulutusjoustopotentiaalina on tutkinut muun muassa Sami Laakso. Diplomityössään *Microgrid as a Power Reserve* hän syventyy mikroverkon tuottopotentialin laskentaan, ja toteaa mikroverkoilla olevan huomattavaa merkitystä sekä tehoreservinä että kiinteistöjen tuonlähteenä. (Laakso, 2017)

Kiinteistöjen arvostusta ja reaaliopioimenetelmän käyttöä on tutkinut Jussi Vimpari väitöskirjassaan *Is There Hidden Value in Real Estate Investments? Real Options Analysis Provides Rationale to Contingent Investment Decisions*. Tutkimuksessaan hän näyttää toteen, että reaaliopioanalyysi parantaa kiinteistösijoitusten analyysia ja päätöksentekoa. (Vimpari, 2014)

Älykkäistä kiinteistöistä ja kiinteistösijoittamisen logiikasta on kirjoittanut muun muassa Eerika Janhunen töissään *Real estate and construction sector investment logic on smart buildings* (Janhunen, 2018) ja *Applicability of the Smart Readiness Indicator for Cold Climate Countries* (Janhunen, Pulkka, Säynäjoki & Junnila, 2019).

Benoit Laclaun artikkeli *As the countdown to a new energy world intensifies, who will beat the clock?* kuvaa selkeästi aikakautemme energiahasteita, mutta myös valottaa mahdollisia energiamurroksen polkuja kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. (Laclau, 2019)

## 1.7 Työn tavoite ja tutkimuskysymys

Vaikka virtuaalivoimalaitos on teoreettisena toimintamallina tunnettu jo pitkään, konseptin tuotteistaminen on vaatinut teknologian ja erityisesti älyverkkojen kehittymistä riittävälle tasolle. Kaupallisessa mielessä onkin siis kyse vielä varsin tuoreesta toimintamallista.

Tämän tutkimuksen keskeisenä tavoitteena on selvittää kiinteistösijoittajien ja alan keskeisten toimijoiden odotuksia ja toisaalta epävarmuuksia, kun he pohtivat kiinteistön liittämistä osaksi virtuaalivoimalaitosta. Näiden seikkojen selvittämisessä hyödynnetään kvalitatiivista haastattelututkimusta. Tulosten perusteella pohditaan myös, miten virtuaalivoimalaitoskonseptia olisi mahdollista kehittää vastaamaan paremmin kiinteistösijoittajien tarpeisiin.

Ensisijaisesti tämä tutkimus pyrkii vastaamaan kysymykseen: Millaisia odotuksia ja epävarmuuksia kiinteistösijoittajilla on virtuaalivoimalaitoksen hankinnan suhteen?

Virtuaalivoimalaitosta voidaan tutkia hyvin monesta näkökulmasta. Tämän työn ulkopuolelle on kuitenkin rajattu koneoppimisen ja tekoälyn hyödyntäminen virtuaalivoimalaitoksen ytimessä. Myöskään eri teknisten komponenttien kuten aurinkovoimaloiden, akkujen ja generaattoreiden kiinteistökohtaista mitoitusta tai niiden yhteistoiminnan optimointia esimerkiksi algoritmien avulla ei käsitellä. Sähköautojen lataamiseen liittyvät haasteet ja autojen akkujen kaksisuuntainen hyödyntäminen kiinteistöissä muodostavat laajan aihepiirin, jota käsitellään vain pintapuolisesti. Fingridin kulutusjoustolle tarjoamien monipuolisten reservimarkkinoiden seikkaperäiseen esittelyyn ei tässä työssä syvennyttä. Virtuaalivoimalaitos voidaan määritellä digitaaliseksi alustaksi, joka mahdollistaa hyvin monenlaisten digitaalisten palveluiden liittämisen kiinteistöön. Näiden uusien innovaatioiden ja mahdollisuuksien tarkempi tutkiminen on myös rajattu tämän lopputyön ulkopuolelle.

## 1.8 Työn rakenne

Tämä työ on jaettu kahdeksaan lukuun. Johdantoluvussa esitellään virtuaalivoimalaitoksen toiminta- ja ansaintalogiikkaa, käsitellään megatrendejä virtuaalivoimalaitoskonseptin ympärillä ja tutustutaan tutkimusaiheen avainkäsitteisiin. Luvussa myös rajataan tutkimusaihe ja tutustutaan aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen. Toisessa luvussa syvennyttään digitalisaatioon eri sektorien yhdistäjänä ja uusien innovaatioiden mahdollistajana. Kolmannen luvun aiheina ovat energiantuotannon haasteet ja erityisesti uusiutuvan energian lisääntymisen aiheuttamat sähköverkon heilahtelut sekä niiden tasaaminen kulutusjoustopuolella.

Virtuaalivoimalaitokseen digitaalisena alustana tutustutaan luvussa neljä, jossa myös analysoidaan tätä konseptia PESTEL- ja Skenaarioanalyysien avulla. Työn kvalitatiivista tutkimusosuutta sekä virtuaalivoimalaitosta palveluna käydään läpi luvuissa viisi ja kuusi. Näissä osioissa perehdytään tutkimuksen toteutuk-

seen ja analysoidaan saatuja tuloksia tutkimuskysymyksen näkökulmasta. Lisäksi tutustutaan virtuaalivoimalaitokseen palveluna ja pohditaan sen hyötyjä sekä arvontuottoa eri näkökulmista.

Luvussa seitsemän avataan virtuaalivoimalaitoksen ansaintalogiikkaa ja säästöjä kahden yksinkertaistetun laskentaesimerkin avulla. Viimeinen luku sisältää tutkimuksen loppupäätelmät, haastattelujen analysoinnista johdettuja kehittämissuhteita virtuaalivoimalaitoskonseptille ja suosituksia jatkotutkimukselle.

## 2 DIGITALISAATIO

### 2.1 Datan ja alustatalouden hyödyntäminen

Datan tuotanto on kasvanut räjähdysmäisesti viime vuosina. Vuonna 2018 arvioitiin, että IoT-dataa tuotettiin globaalisti viisi kvintiljoonaa tavua päivässä. Samassa yhteydessä arvioitiin, että vuonna 2020 maailmassa on 30 miljardia verkkoon kytkettyä laitetta (Telia, 2019) Digitalisaatio ja IoT mahdollistavat paitsi tietyn toimialan liiketoimintamallien kehittämisen ja prosessien tehostamisen myös keskenään täysin erilaisten toimialojen tarpeiden yhdistämisen tehokkaalla tavalla. Talouden eri sektorien yhdistäminen digitalisaation ja alustojen avulla tarjoaakin merkittävän uuden liiketoimintapotentiaalin.

Alustatalous mahdollistaa, että perinteisten arvoketjujen optimoinnin sijaan keskitytään toimialojen rajoja rikkovien liiketoimintojen luomiseen. Yrityksen on mahdollista ratkaista omien resurssiansa ja osaamisensa puutteista johtuvat ongelmat verkostoitumalla. Lisäksi datavirratt mahdollistavat kokonaan uusia kehittymismahdollisuuksia, kun laitteista ja prosesseista voidaan luoda digitaaliset kaksoiset. Näitä kaksosia on mahdollista joustavasti testata ja kehittää virtuaalisessa ympäristössä ajasta ja paikasta riippumatta. (Viitanen, Paajanen, Loikkanen & Koivistoinen, 2017, s. 22-25)

Älykkäät rakennukset ovat yksi merkittävä IoT:n käyttökohde. Sensoreidensa avulla rakennukset tuottavat suuria määriä tietoa, jota pystytään analysoimaan ja käyttämään esimerkiksi tekoälyyn perustuvien sovellusten opetusmateriaalina. Kun tietoa kertyy riittävästi, voidaan rakennuksesta luoda digitaalinen kopia eli edellä mainittu digitaalinen kaksonen. Digitaalisen kaksoisen avulla on mahdollista analysoida rakennuksen toimintaa erilaisilla skenaarioilla kuten säätötilojen vaihteluilla, käyttäjämäärien muutoksilla tai vaikka sähköautojen latauskuorman heilahtelulla.

Älykäs rakennus voidaan liittää osaksi digitaalista alustaa ja sen kapasiteettia voidaan hallitusti hyödyntää muiden alustaan liitettyjen kohteiden kanssa. Mikäli esimerkiksi kauppakeskus pystyy aamun varhaisina tunteina hetkellisesti joustamaan lämmitystarpeestaan, voidaan säästetty energia ohjata asuntojen käyttöveden tarpeen kulutushuipun tasaamiseen. Vastaavasti teknologiayrityk-

sen konesalista vapautuvaa lämpöenergiaa olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi uimahallin altaiden lämmitykseen. Kaikkia näitä energiavirtoja voidaan optimoida datan ja digitalisaation avulla. Ajatusta voidaan jalostaa vielä pidemmälle ja esimerkiksi hyödyntää arvonsiirrossa lohkoketjuja. Näin esimerkiksi kiinteistö tuulisella rannikolla voisi tuottaa energiaa toisen kiinteistön tarpeeseen toisella puolella Suomea.

Datan on useasti todettu olevan alustatalouden raaka-ainetta. Tämän raaka-aineen omistajuudesta on kuitenkin muodostumassa haaste. Suomen lain mukaan tietoa ei voi omistaa, mutta sitä voi hallita. Dataa hallitsee se, joka omistaa tietoa sisältävän laitteen tai palvelun. Tämä on siis lähtötilanne, jos mitään muuta ei ole sovittu. Tässä tilanteessa laitteen tai palvelun omistaja voi estää toisten pääsyn tietoon estämällä pääsyn omistamaansa laitteeseen tai palveluun. Lopulta toimijoiden väliset sopimuskäytännöt määrittelevät omistajuuden. (Ailisto et al., 2015, s. 16-17) Näin siis Suomessa, mutta yrityksen kannattaa kiinnittää huomiota minkä maan lakia juuri kyseessä olevassa tilanteessa sovelletaan.

Teknologian ja erityisesti IoT-laitteiden voimakas yleistyminen kaikkialla ympärillämme kasvattaa tietoturvariskejä. Mukaan mahtuu väistämättä laitteita, joiden turvallisuudessa on aukkoja. Yksikin turvaton laite lähiverkossa voi mahdollistaa ulkopuolisten pääsyn tärkeään tietoon. Teollisuusjärjestelmiä vastaan kohdistuneet vakavat tietoturvahyökkäykset ovat kasvaneet viime vuosina. Suomessa Viestintävirasto työskentelee kehitystä vastaan ja etsii aktiivisesti avoimia IoT-laitteita verkosta. (UusiTeknologia, 2018) IoT-laitteiden tietoturvassa keskeisintä on laitteiden, ohjelmistojen ja tietoliikennekomponenttien turvallisuus (Viestintävirasto, 2017).

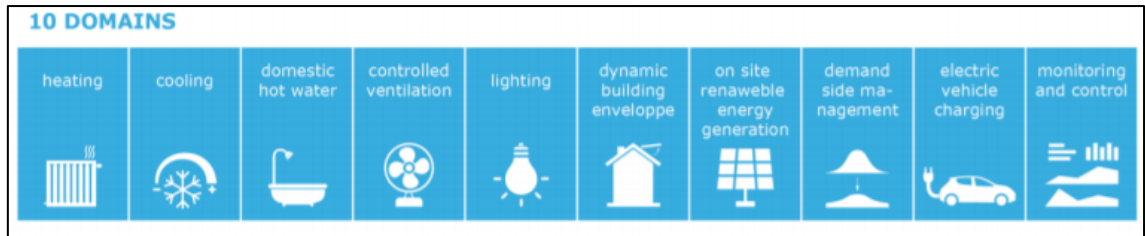
## 2.2 Smart Readiness Indicator (SRI)

Kesällä 2018 voimaan tullut EU:n energiatehokkuusdirektiivi (2018/844) määrää komission kehittämään yksinkertaisen mittarin, jonka avulla on mahdollista vertailla rakennusten valmiutta älykkääseen ohjaukseen ja käyttöön. (Seppänen, 2018) EU:n tavoitteena on indikaattorin kautta jakaa tietoa älykkään kiinteistötekniikan mahdollisuuksista ja digitaalisten ratkaisujen vaikutuksista rakennusten ylläpitokustannuksiin. Viestinnän avulla halutaan houkuttaa kiinteistösijoittajia rohkeammin investoimaan älykkäisiin kohteisiin. Asian nähdään tätä kautta tukevan esimerkiksi energiamurrosta ja olosuhteiltaan terveellisten rakennusten suunnittelua. (Säynätjoki, Janhunen, Junnila & Kosonen, 2018, s. 23)

Indikaattorissa tarkastellaan kymmentä teknistä järjestelmää, jotka visualisoidaan kuvassa 1:

1. Lämmitys
2. Jäähdytys
3. Lämmin käyttövesi
4. Ilmanvaihto
5. Valaistus

6. Rakennuksen dynaaminen kuori
7. Energiantuotanto
8. Kulutusjousto
9. Sähköautojen lataus
10. Seuranta ja ohjaus

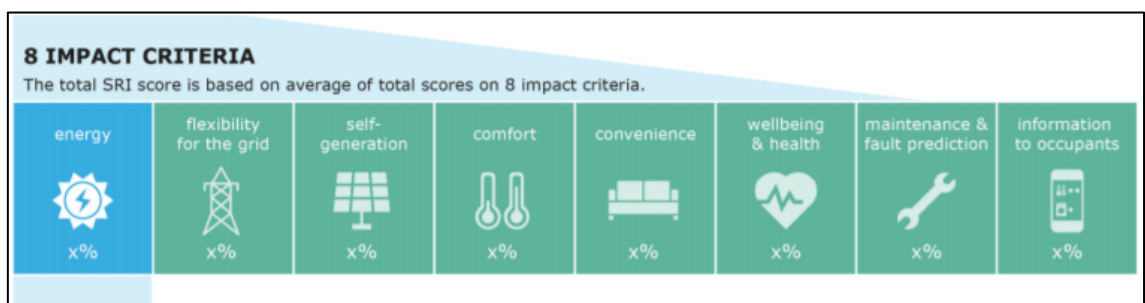


Kuva 1 Järjestelmät (Domains), joita Älyindikaattorissa tarkastellaan (Verbeke, Waide, Bettgenhäuser, Uslar, & Bogaert, 2018)

Nämä järjestelmät puolestaan vaikuttavat kahdeksaan indikaattorin keskeiseen tavoitteeseen:

1. Energiansäästö
2. Kulutusjousto
3. Oma energiantuotanto
4. Viihtyisyys
5. Käyttömukavuus
6. Hyvinvointi ja terveys
7. Ylläpito ja ennakoiva huolto
8. Käyttäjien informointi

Nämä keskeiset tavoitteet on SRI:n symboliikalla kuvattu kuvassa 2.



Kuva 2 Älyindikaattorin keskeiset tavoitteet (Verbeke et al., 2018)

Kunkin kymmenen järjestelmän kykyä tuottaa näiden tavoitteiden mukaista palvelua arvioidaan ja näin muodostetaan rakennukselle arvio esim. 65/100 tai 65 prosenttia. Osakokonaisuuksia voidaan myös tarvittaessa painottaa kansallisten tavoitteiden perusteella. (Seppänen, 2018)

Suomessa Aalto-yliopisto on esitellännyt menetelmää ja arvoinut SRI-metodilla kymmenen rakennusta. Mukana oli muun muassa toimisto, koulutusrakennus (Väre), hotelli, asuinrakennus ja kauppakeskus (Sello). Euroopan unionin tasoinen metodi on vielä kehitteillä, joten testit suoritettiin käyttämällä viimeisintä julkaistua menetelmää ja pisteytystä. Tutkituista rakennuksista vuonna 2003

valmistunut kauppakeskus Sello saavutti SRI-pisteytyksen 92/100, kun esimerkiksi vuonna 2018 valmistunut koulutuskeskus Väre ylisi ainoastaan 52/100 SRI-pisteytykseen. (Virtanen, 2019)

Kauppakeskus Sellon erinomaiseen tulokseen vaikutti osaltaan sen edistykseellinen kulutusjoustojärjestelmä ja uusiutuvan energian tuotanto- ja varastointikyvykyys. Vähemmän edistykseellisenä piirteenä havaittiin rakennuksen kuorirakenne, joka ei vastannut SRI-viitekehyksen dynaamisuustavoitteita. Vären vahvuudet löytyivät valaistuksesta ja lämmitysjärjestelmästä, mutta kulutusjoustokyvyn ja energiavaraston puuttuminen laski pisteytystä. Oheisessa kuvassa 3 on kooste testiarvioinnista koulukeskus Vären ja kauppakeskus Sellon osalta.



Kuva 3 Aalto-yliopiston SRI -testiarvioinnin tulokset Väre ja Sello (Virtanen, 2019)

Ilmastolliset olosuhteet EU:n eri alueilla vaihtelevat Välimeren seudun lämmästä vyöhykkeestä pohjoismaiseen kylmyyteen. Voidaankin esittää arveluja, miten hyvin SRI soveltuu mittaamaan ja arvioimaan kylmille olosuhteille suunniteltuja energiaratkaisuja kuten kaukolämpöä. SRI-järjestelmässä kaukolämpö on tunnistettu lämmitysmuotona, mutta sen edistykseellisyttä energian jakelujärjestelmänä tai suurta lämpöenergian varastointikykyä ei laskennassa huomioida. Tässä suhteessa SRI:n kannustavuus älykkäiden energijärjestelmien rakentamiseen ei nykyversiossaan ole paras mahdollinen. Myös tietty epäjohtomukaisuus ja subjektiivisuus heikentävät järjestelmän käyttöä koko EU:n laajuisena tasapuolisena energiatehokkuusmittarina. (Janhunen et al., 2019) SRI-mittaristo on rakennettu modulaariseksi, joten sitä voidaan tarvittaessa muokata, kun teknologiat ja energiaosaaminen kehittyy. Eri versioilla arvosteltujen



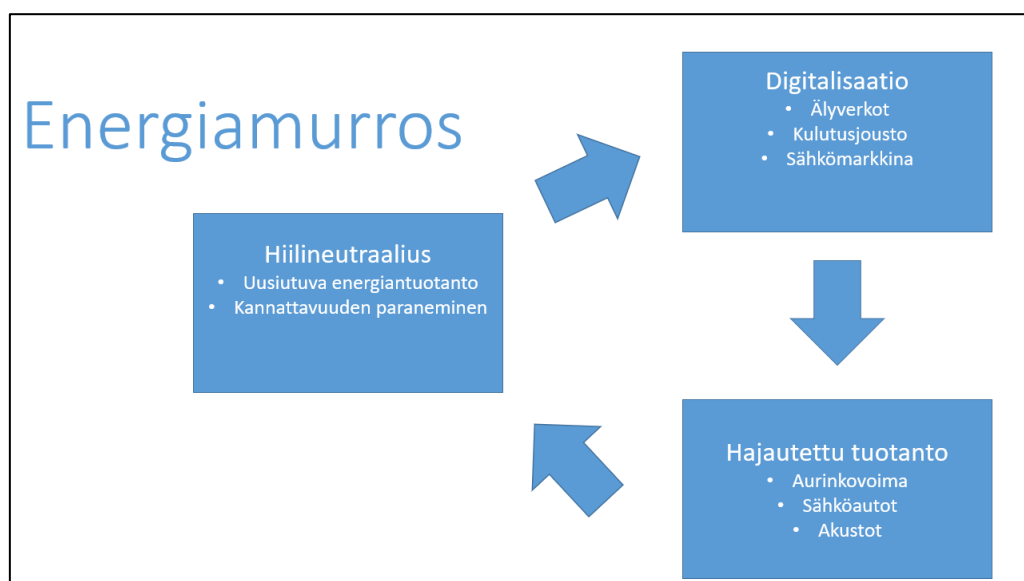
kohteiden keskinäinen vertailu muodostaa kuitenkin jatkossakin haasteen. SRI-mittaristo on kuitenkin vasta pilottivaiheessa, ja EU jatkaa sen kehittämistä.

### 3 ENERGIANTUOTANNON JA -KULUTUKSEN MURROS

#### 3.1 Uusiutuvan energian aikakausi

Energiamurroksella viitataan energiantuotannon ja -kulutuksen maailmanlaajuisen muutostrendiin, jota kiihdyttävät älyverkot, uusiutuva energia ja energian varastoinnin kehittyminen. (Kivimaa, 2016) Erilaisia ratkaisuja hiilineutraaliin energiantuotantoon etsitään kuumeisesti. Esimerkiksi ydinvoiman lisääminen houkuttelee edelleen sekä vanhoja että uusia käyttäjiä. Ydinvoima onkin yksi merkittävistä vähäisiä hiilipäästöjä aiheuttavista energiamuodoista, mutta muun muassa voimalaprojektien kustannukset, ydinonnettomuuksien pelko ja ydinjätteen varastoinnin haasteet vaikeuttavat sen lisäämistä. Nykyistä pienempien modulaaristen ydinvoimaloiden kehitys voi kuitenkin antaa ydinvoimalle vielä uuden mahdollisuuden.

Energiamurroksen etenemisessä voidaan erottaa kolme keskeistä tekijää. Ensimmäisenä nähdään energian hajautuotannon kannattavuuden kasvu. Paikoin on jo nyt saavutettu tilanne, jossa itse tuotettu energia on edullisempaa kuin sen hankkiminen keskitetysti sähköverkosta. Toinen merkittävä murroskohta saavutetaan, kun sähköautojen hinnat laskevat riittävästi ja niiden käyttö tulee taloudellisesti kilpailukykyiseksi polttomoottoriautojen kanssa. Kolmas raja-kohta murroksessa saavutetaan, kun jo pelkästään sähkön siirtohinna verkossa on korkeampi kuin itse tuotetun energian hinta. (Laclau, 2019) Kuvassa 4 esitetään ajatusmalli, miten digitalisaatio, hajautetun energiantuotannon lisääntyminen ja tavoitteet hiilineutraaliudesta kiihdyttävät energiamurrosta.



Kuva 4 Energiamurroksen ajurit (mukaellen Laclau 2019)

Sekä julkinen sektori että yritykset pyrkivät kiihdyttämään toimia, joiden avulla saavutettaisiin Pariisin sopimuksen tavoite rajoittaa ilmaston lämpeneminen kriittisen rajan alapuolelle. Tämä kuitenkin vaatii paljon nykyistä suurempia toimenpiteitä koko yhteiskunnalta. Tutkimusten mukaan sähköntuotanto on yksi kriittisimmistä toimialoista, jonka toiminta määrittelee, pääsemmekö eteneeseen kohti hiilineutraalia tulevaisuutta (Dickerson et al., 2018 s. 19-21).

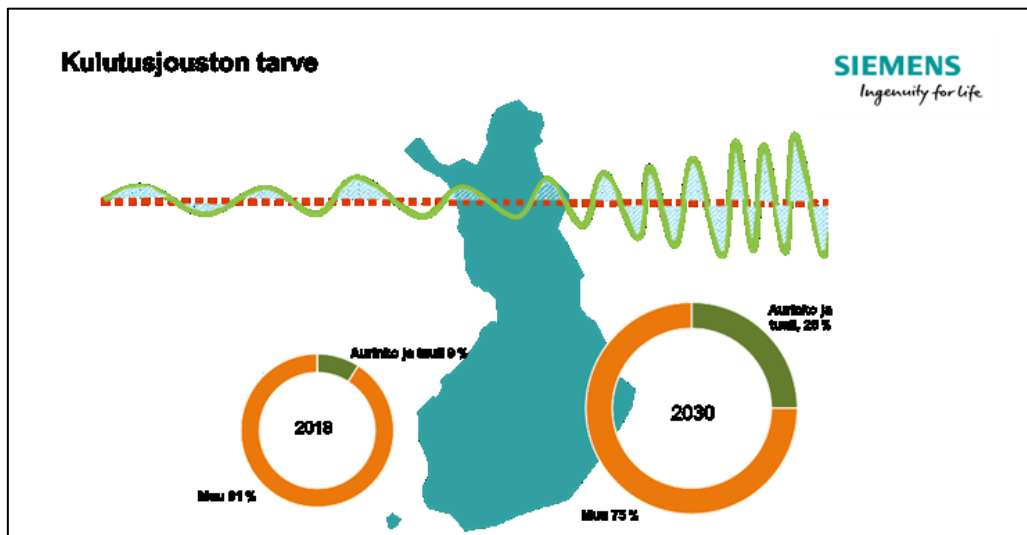
Monet yritykset ovat jo vahvasti mukana ilmastotalkoissa. Yli 80 prosenttia maailman 500 suurimmasta yrityksestä on sitoutunut kasvihuonekaasujen vähentämiseen. Osa pyrkii rajoittamaan päästöjensä määriä ja toiset ovat asettaneet tavoitteita energiatehokkuudelle ja esimerkiksi uusiutuvan energian käytölle. (Carbon Disclosure Project, 2014, s. 1-3) Yli 150 yritystä on sitoutunut käyttämään toiminnassaan vain uusiutuvaa energiaa (RE100). Tämä vastaa jo kokonaisuudessaan suurempaa energiamäärää, mitä esimerkiksi koko Puolassa kulutetaan. (Dickerson et al., 2018, s. 20-21)

Suomessa uusiutuvan energian tuotantoa on jo pitkään toteutettu vesivoimaloiden avulla. Vesivoimaloiden nykyinen tuotantokapasiteetti on tällä hetkellä jo pitkälti hyödynnetty ja uusien voimaloiden rakentaminen on poliittisesti sekä ympäristövaikutusten takia rajoitettua. (Energiateollisuus, 2019, s. 22) Vesivoimalat estävät kalojen liikkumista sekä muuttavat vesistöjen virtausta. Lisäksi patoaminen ja veden varastointi aiheuttavat monia haasteita. Esimerkiksi tällaisten asioiden vuoksi odotukset uusiutuvan energiantuotannon lisäämisestä kohdistuvat tuuli- ja aurinkovoimaan. Näiden molempien tuotantomuotojen haasteena on tuotannon voimakas heilahtelu säätilojen mukaan. Pilvisenä tyynenä päivänä energian tuotanto jää murto-osaan siitä mitä tuulisella ja aurinkoisella ilmalla tuotetaan.

### 3.2 Sähköverkon haasteet

Sähköntuotannon heilahtelu aiheuttaa sähköverkolle suuria haasteita. Sähköverkon toiminta perustuu siihen, että sama määrä energiaa tuotetaan ja kulutetaan joka hetki. Osa uusiutuvista energiantuotantomuodoista (mm. aurinko- ja tuulivoima) ovat riippuvaisia sääolosuhteista ja tällöin tuotantomäärät voivat muuttua runsaastikin pienellä aikavälillä. Toisin sanoen uusiutuvan energian lisääntyminen voimistaa sähköntuotannon heilahtelua.

Sähköntuotannon heilahtelu puolestaan aiheuttaa Suomen sähköjärjestelmään taajuuden ja tehon vaihteluita. Usein uusiutuvat energiantuotantomuodot eivät pysty tuottamaan tarpeeksi sähköä silloin, kun sähkön tarve on kaikkein suurinta. Tällöin sähköjärjestelmän tasapainottamiseksi käytetään usein fossiililla polttoaineilla tuotettua säätövoimaa. Säätövoiman käyttäminen lisää runsaasti päästöjä. Tämä osaltaan vesittää alkuperäistä ideaa uusiutuvan energian päästöttömyydestä ja aiheuttaa yhteiskunnalle kustannuksia. Toisaalta myös ydinvoimalla tuotetun energiamäärän hidas sopeutuminen kysynnän muutoksiin aiheuttaa tarvetta verkon tasapainottamiseen. Kuvassa 5 on graafisesti esitetty arvio, miten uusiutuvan energian tuotannon lisääntyminen kasvattaa sähköverkon heilahtelua.



Kuva 5 Uusiutuvan energian lisääntyminen kasvattaa sähköverkon heilahtelua. (Lähde Siemens Osakeyhtiö)

Yksi sähköverkon heilahtelua voimistava tekijä on verkon inertian väheneminen. Sähköverkossa inertia tarkoittaa verkkoon kytkettyjen pyöriviin koneisiin varastoitunutta kineettistä energiaa. Inertia on sähköverkolle tärkeä ominaisuus, koska se vastustaa verkon taajuuden muutosta eli heilahtelua. Kun verkkoon on kytketty paljon pyörivää massaa, sähköntuotannon ja kulutuksen muutokset eivät välity niin voimakkaasti ja nopeasti verkon taajuuteen. (Leinonen, 2018)

Inertian väheneminen johtuu siitä, että taajuusmuuttajien avulla verkkoon kytketyillä generaattoreilla ja moottoreilla ei ole sähkömagneettista kytkentää verkon taajuuden kanssa. Tällaisia laitteita ovat tuulivoimalat, aurinkosähköjärjestelmät ja taajuusmuuttajaohjatut moottorit. (Majanne, 2019) Mitä enemmän perinteisten lauhdevoimalaitosten sähköntuotantoa korvataan uusiutuvilla energialähteillä, sitä vähemmän inertiaa verkkoon muodostuu. Myös tasavirtalinjojen kautta ostettava tuontisähkö vähentää inertiaa verkossa. (Leinonen, 2018)

Tällä hetkellä sähköverkon tuotantotehon äkillisiin häiriöihin on varauduttu muun muassa laskemalla Pohjoismaiden suurimman tuotantolaitoksen ruotsalaisen ydinvoimalan Oskarshamnin tehoa 100 MW. Tällä toimenpiteellä pienennetään suurimman mahdollisen häiriön vaikutusta sähköverkkoon. Olkiluoto 3:n käynnistyessä siitä tulee potentiaalinen verkon suurimman yksittäisen häiriön aiheuttaja. Verkkovaikutusten pienentämiseksi Olkiluoto 3:lle on sovittu kahdeksan teollisuuslaitoksen kanssa järjestely, jossa häiriön sattuessa nämä laitokset pienentävät omia kuormiaan verkossa merkittävästi. Järjestelystä maksetaan vuosittain noin 1,1 miljoonaa euroa. (Fingrid, 2017)

Myös uusiutuvan energian määrää verkossa joudutaan nykyisin rajoittamaan. Tulevaisuudessa tämä tuotannon säätöön perustuva menetelmä ei kuitenkaan enää riitä, vaan tarvitaan uusia keinoja. Tarvitaan siis kulutusjoustoja, energian

varastointia, älyverkkoja ja siirtojärjestelmän kehittämistä. Tulevaisuudessa kaavillaan jopa virtuaalisen inertian tuottamista verkkoon tehoenergian avulla. (Majanne, 2019)

### 3.3 Kulutusjousto ja tehon hallinta

Sähköverkon tasapainottamiseen on olemassa myös ilmastopositiivinen tapa eli kulutusjousto. Kulutusjousto tarkoittaa, että sähkön kuluttaja kuten kiinteistö tasaa verkon heilahtelua ajoittamalla omaa kulutustaan ajankohtaan, jolloin sähkön tarve on yleisesti pienempi. Vastaavasti kulutusta vähennetään silloin, kun sähkön kysyntä verkossa on suurimmillaan.

Suomen valtakunnallinen siirtoverkkoyhtiö Fingrid Oyj on valmis maksamaan kiinteistölle korvausta sen toimimisesta tällaisena virtuaalivoimalaitoksena. Fingrid saa hyötyä siitä, ettei sen esimerkiksi tarvitse käynnistää kaasuturbiinilaitosta sähköverkon tasapainottamiseksi. Kulutusjoustolla käydään kauppaa Fingridin ylläpitämällä markkinapaikalla. Kaupankäyntiin on mahdollista osallistua useilla erilaisilla tuotteilla. Tuotteet määräytyvät sen mukaisesti kuinka suurta joustokuormaa pystytään tarjoamaan ja miten nopeasti kuorma voidaan tarjota verkkoyhtiön käyttöön.

Virtuaalivoimalaitosten kulutusjoustolla voidaan saada aikaan merkittäviä ilmastovaikutuksia. 100 MW virtuaalivoimaa voi kivihiilen korvaajana vähentää jopa 1,3 % koko Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Ilmastovaikutusten lisäksi joustajalle eli kiinteistön omistajalle syntyy samalla uusi ansaintamahdollisuus. Joustamattoman energiantuotannon, kuten ydinvoiman ja uusiutuvan energian, käytön lisääminen kasvattaa kulutusjouston tarvetta. Nykyisessä markkinamallissa vain käytetyn energian määrällä on merkitystä, ja käytön intensiteetillä eli teholla ei ole kustannusvaikutusta. Kulutusjousto korjaa omalta osaltaan tätä energian määrään perustuvan markkinamallin heikkoutta.

Sähkön siirtohinnoittelu on viime aikoina otettu kriittiseen tarkasteluun ja muutoksia on todennäköisesti tulossa. Perinteisesti sähkön siirtohinnoittelu pohjautuu perusmaksuun ja kulutettuun energiaan. Tämä malli ei kuitenkaan jaa sähköverkon rakentamisesta ja ylläpidosta koituvia kustannuksia kovin oikeudenmukaisesti eri loppuasiakkaiden kesken. Nykymalli suosii asiakkaita, jotka käyttävät sähköä suurella teholla lyhyitä ajanjaksoja ja toisaalta asettaa heikompaan asemaan ne, jotka käyttävät sähköä tasaisesti pienemmällä teholla. Tehohinnoittelun käyttäminen vastaisikin paremmin asiakkaan sähkönkäytöstä siirtoyhtiölle syntyvää kustannusta. Mitä järeämpää sähköverkkoa asiakkaan tarpeet edellyttävät, sitä korkeammat olisivat myös siirtomaksut. (Jaakkola, 2016)

Tehoperusteinen hinnoittelu ohjaa sähkönkäyttöä nykyistä tasaisempaan kulutusmalliin. Korkeita kulutuspiikkejä pyritään välttämään ja tehon tarvetta jaetaan mahdollisimman tasaisesti kaikille vuorokauden käyttötunneille. Virtuaalivoimalaitoksen avulla sähkön käytön ajoittaminen ja huipputehojen hallinta onnistuu huomaamattomasti. Älykkääseen mikroverkkoon liitettyjen laitteiden

toimintaa optimoidaan tekoälyn avulla ja samalla ansaitaan kustannussäästöjä pitämällä rakennuksen huipputehot alhaisina.

Tulevaisuudessa sähköautojen määrä tulee lisääntymään voimakkaasti. Energia ja ilmastostrategian tavoitteisiin on kirjattu sähköautojen määräksi 250.000 vuoteen 2030 mennessä. Vaikka sähköautojen määrä kasvaisikin tavoitteeseen, ei tästä aiheudu merkittävä kasvua energian kokonaiskulutukseen. (Nappari, 2019) Kiinteistöille useiden ajoneuvojen samanaikainen lataaminen kuitenkin aiheuttaa kulutuspiikin ja suuria haasteita huipputehojen hallinnalle. Virtuaalivoimallaitokset ja niiden tuottama kulutusjousto mahdollistavat näiden tehohuipujen tasaamisen ekologisesti kestäväällä tavalla.

Matalan kulutuksen ja alhaisen sähkönhinnan ajankohtana akustoon varastoitu energia voidaan myöhemmin myydä sähköautoilijan käyttöön eikä huipputehon hallintaan tarvittavia fossiilivoimaloita tarvitse käynnistää. Huipputehojen hallinta onnistuu myös ilman akustoa. Tällöin kiinteistön mikroverkkoon liitetyt laitteet joustavat eli niiden kulutusta säädetään pienemmäksi esimerkiksi sähköautojen latautuessa. Huipputehoja tasaamalla kiinteistö säästää myös sähkökeskusten ja muuntajien hankinnoissa, kun laitteistot voidaan mitoittaa pienemmille enimmäiskuormille.

Kulutusjouston tarve lisääntyy tulevaisuudessa, koska uusiutuvan energian tuotantokustannukset alenevat perinteistä tuotantoa edullisemmiksi ja säätökapasiteetin omaava lämpövoimatuotanto vähenee markkinoilta. Säätötilasta riippuvainen tuotanto lisääntyy paljon odotettua nopeammin. Tuulivoimatuotannon kapasiteetti saattaa kaksinkertaistua vuoteen 2030 mennessä ja samalla inertia laskee pohjoismaisessa sähköjärjestelmässä. (Nappari, 2019)

## 4 VIRTUAALIVOIMALAITOS

### 4.1 Digitaalinen alusta kokoaa kuormat

Virtuaalivoimalaitos on digitaalinen alusta, jonka avulla kulutustaan sopeuttamaan kykenevät toimijat voidaan kytkeä mukaan sähkön kulutusjoustomarkkinoille. Monesti yksittäisen kiinteistön joustokapasiteetti voi jäädä jää liian pieneksi, mutta virtuaalivoimalaitoksen digitaali-alustan kautta nämä pienemmätkin joustot voidaan koota yhteen riittävän suureksi kokonaisuudeksi. Kulutusjouston hyödyntäminen kiinteistöissä on erinomainen tapa hyödyntää jo kerran tuotettu energia. Sen avulla voidaan suoraan vaikuttaa päästöihin vähentämällä kulutuspiikkeihin tarvittavan nopean säätövoiman, kuten kaasuturbiinien käyttöä.

Kiinteistöt kuluttavat 40 prosenttia kaikesta Suomessa käytettävästä energiasta, joten ne muodostavat lähtökohtaisesti suuren joustopotentialin. Kaupunkien voimakas rakentaminen kasvattaa kiinteistömäärää nopeasti. On arvioitu, että seuraavien 40 vuoden aikana maailmassa rakennetaan yhtä paljon kuin koko

maailmanhistoriassa on tähän mennessä rakennettu (Varho & Tebest, 2014). Kiinteistöjen kasvava massa onkin yhteiskunnalle sekä haaste että mahdollisuus. Rakennammeko siis kiinteistöistämme energiatuhlareita vai ilmastoystävällisiä virtuaalivoimalaitoksia?

Jotta kiinteistöt pystyisivät toimimaan osana virtuaalivoimalaitosta, kiinteistöjen järjestelmien tulee olla kykeneviä joustamaan ja tasapainoittamaan energiankulutusta ja -tuotantoa. Uusien kiinteistöjen osalta laitteistojen liitettävyyden virtuaalivoimalaitokseen voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa, mutta vanhoissa kiinteistöissä järjestelmän kyvykyys joustaa vaatii yleensä automaattikan jonkinasteista saneerausta.

Kiinteistö voidaan lisätä osaksi virtuaalivoimalaitoksen kapasiteettia, kun sen kiinteistöautomaatio päivitetään joustokykyiseksi. Tällöin kiinteistö pystyy toimimaan osana valtakunnallista sähköverkkoa ja tasapainottamaan sitä. Kiinteistöön rakennetun mikroverkon avulla jokaista yksittäistä laitetta, esimerkiksi ilmanvaihtopuhallinta tai lämmitysvastusta voidaan ohjata keskitetysti IoT-alustan kautta. Tämä mahdollistaa optimaalisten olosuhteiden ylläpidon kiinteistössä, vaikka samanaikaisesti osa laitteista toimii joustona. (Laakso, 2017, s. 37-41)

Virtuaalivoimalaitoksen avulla kiinteistö voidaan liittää osaksi kulutusjoustomarkkinaa ja samalla syntyy kokonaan uusi ansaintamalli. Tämä tuo sijoittajan kannalta mielenkiintoisen lisän kiinteistön kassavirtaan ja nostaa kiinteistön arvoa useiden tekijöiden kautta. Virtuaalivoimalaitoksen avulla pystytään maksimoimaan uusiutuvan energian käytön hyötysuhde. Kiinteistöjen riskienhallinta paranee ja riskit pienentyvät. Kiinteistön on mahdollista hyödyntää erilaisia vihreän rakentamisen tukia ja etuuksia sekä ennakoita kiristyviä energiasäädöksiä.

Sähkönkulutuksen siirtämisellä sopivaan ajankohtaan voidaan lyhyellä tähtämällä laskea sähkön hintaa ja pidemmällä aikavälillä jopa vaikuttaa koko sähköverkon rakenteeseen ja kustannustehokkuuteen. Kun älykkään ohjauksen ansiosta sähkön käytön tehokkuus on mahdollista optimoida, voidaan vähentää kahvihuonepäästöjen määrää ja jopa välttää uusien voimaloiden rakentaminen (Laakso, 2017, S.55). Uuden joustokapasiteetin rakentaminen onkin edullisempää, kun huipputehovoimaloiden lisääminen (Nappari, 2019).

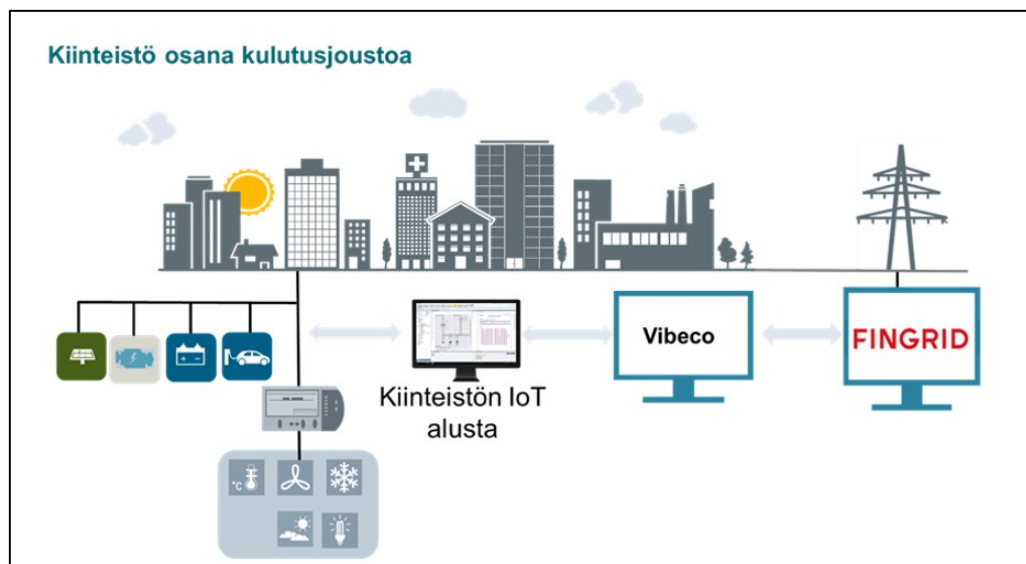
Koska virtuaalivoimalaitos voi toimia sähkön tukkimarkkinoilla, sen on mahdollista hankkia alustaan liitetyille kiinteistöille loppukäyttäjämarkkinaa edullisempaa energiaa ja hyödyntää pörssisähkön hinnanvaihtelua. Virtuaalivoimalaitoksen älykäs teknologia pystyy yhdistelemään ja optimoimaan siihen liitettyjen kiinteistöjen oman energiantuotannon ja varastot siten, että näin syntynyt arvo on suurempi kuin yksittäisten toimijoiden tuottamana olisi mahdollista saavuttaa (Sarvaranta, 2010, s. 42).

Älykäs energiahallinta voidaan toteuttaa avaimet käteen -elinkaari palveluna, johon sisältyy myös rahoitus. Mallissa pääomaa ei sitoudu teknologiaan etupai-

notteisesti, vaan asiakas maksaa ainoastaan kiinteää palvelumaksua. Palveluntarjoaja puolestaan vastaa tekniikan toiminnasta ja ylläpidosta. Palvelusta hyötyvät kiinteistön omistajien lisäksi vuokralaiset, verkkoyhtiö ja koko yhteiskunta.

Siemens Osakeyhtiö on perustanut erillisen Vibeco-virtuaalivoimalaitosyhtiön, jonka omistajiksi Siemensin lisäksi on tarkoitus saada kiinteistöjen omistajia ja sijoittajia. Yhtiö käy kauppaa sähkömarkkinoilla, hallinnoi valtion myöntämää kärkihanketukea ja kehittää virtuaalivoimalaitosalustalle uusia palveluita. Kiinteistöjen on mahdollista saada ennen syksyä 2020 toteutettuihin kiinteistöjen älykyyttä ja liitettävyyttä kasvattaviin projekteihin 30 prosenttia Suomen valtion kärkihanketukea.

Kuvan 6 kaavio havainnollistaa miten kiinteistö liitetään osaksi valtakunnallista sähköverkkoa ja Fingridin kulutusjoustomarkkinaa, joka tarjoaa kiinteistösiijoittajalle aivan uuden ansaintamahdollisuuden.



Kuva 6 Kiinteistö toimii virtuaalivoimalaitoksen (Vibeco) kautta osana valtakunnallista sähköverkkoa ja kulutusjoustomarkkinaa. (Lähde Siemens osakeyhtiö)

## 4.2 PESTEL-analyysi

PESTEL-analyysissä tutkitaan yrityksen tai liiketoiminnan toimintaympäristössä vaikuttavia muutosvoimia kuuden eri kategorian kautta. Nämä kategoriat ovat poliittiset (P), taloudelliset (E), sosiaaliset (S), teknologiset (T), ekologiset (E) ja lainsäädännölliset vaikutukset (L). Olennaista on löytää juuri ne keskeiset teemat, joilla on selkeä vaikutus yrityksen toimintaan joko positiivisesti tai negatiivisesti. Teemojen tunnistamisen lisäksi arvioidaan kunkin voiman vaikuttavuus ja todennäköisyys. Näiden voimien vaikutukset kootaan yhteen ja lopuksi kohdistetaan soveltuville kategorioille. (Vuorinen, 2013)

Virtuaalivoimalaitoksen osalta PESTEL-analyysin tekee erityisen mielenkiintoiseksi palveluun vaikuttavien voimien laaja-alaisuus. Kategorioiden jako sovel-

tuu melko täydellisesti niihin haasteisiin, joiden keskellä virtuaalivoimalaitos-konsepti hakee paikkaansa. Analyysi tarjoaa myös hyvän lähtökohdan seuraavan kappaleen skenaariopohdinnalle.

#### 4.2.1 Poliittiset muutosvoimat

Virtuaalivoimalaitospalvelun taustalla on voimakas ja varsin laajamittainen poliittinen tuki. Tästä kertoo esimerkiksi Siemensille työ- ja elinkeinoministeriön toimesta myönnetty 8,4 miljoonan euron tuki digitaalisen virtuaalivoimalaitoksen käynnistämiseen. Tuen avulla on tarkoitus rakentaa kiinteistöjen taloteknisistä kuormista sekä hajasijoitetuista sähkövarastoista kokonaiskapasiteetiltaan 32 megawatin voimalaitos. On hyvin todennäköistä, että Suomen verotusta tullaan tulevaisuudessa painottamaan päästö- ja luonnonvaraverotuksen suuntaan (Dean, 2019). Fossiilisten polttoaineiden verotuksen kiristäminen ja eritysten tukien suuntaaminen tukemaan päästövähennyksiä ja kiertotaloutta vaikuttaa luonnolliselta. Tämä puolestaan luo entistä parempia edellytyksiä virtuaalivoimalaitoksen kaltaisille konsepteille, jotka vähentävät hiilidioksidipäästöjä ja tukevat uusiutuvien energiamuotojen lisäämistä.

Puhtaasti poliittisesta näkökulmasta onkin varsin vaikeaa löytää voimakkaita hankkeelle negatiivisia muutosvoimia. Vaikka ilmastomuutosta vähätteleviä ja epäileviäkin näkökantoja edelleen ilmenee, harva kuitenkaan sinänsä vastustaa ympäristöystävällisiä toimia. Hallituksen aktiivisuus ilmastoasioissa saattaa tosin aiheuttaa korkeampia kustannuksia kansalaisille, jotka elävät harvaan asutuilla seuduilla ja ovat liikkumisensa osalta riippuvaisia polttomoottoriautoista. Koska sähköautoilu ei kaikkialla vielä ole realistinen vaihtoehto, monet joutuvatkin korkeamman päästöverotuksen takia jatkossa maksamaan liikkumisestaan nykyistä enemmän.

Edistysellinen ilmastopolitiikka voidaan tietystä kulmasta nähdä haitallisenakin esimerkiksi kotimaisen teollisuuden kilpailukyvyn kannalta. Suomalaiset yritykset joutuisivat toimimaan tiukemman sääntelyn ja korkeamman kustannusrakenteen ympäristössä kuin niiden ulkomaiset kilpailijat. Tämä saisi myös investoijat karttamaan Suomea sijoituskohteena. Toisaalta vastuulliset yritykset nimenomaan hakeutuvat maihin, joiden ympäristöpolitiikka täyttää niiden laatu-kriteerit. Ilmastoasioita voidaan käyttää myös poliittisen strategian välineenä eli pyritään tarkoituksellisesti vastustamaan politiikkaa, jota kilpailevat poliittiset puolueet suosivat. Näin pystytään selkeästi erottautumaan muista ja samalla oma agenda saavuttaa uusia kohderyhmiä.

#### 4.2.2 Taloudelliset muutosvoimat

Pitkään jatkunut alhainen korkotaso on ajanut absoluuttista tuottoa etsivät sijoittajat tutkimaan uusia kohteita investoinneilleen. Samalla kun korko- ja osakemarkkinoiden tuottotasot ovat laskeneet esimerkiksi kiinteistöjen energiatehokkuuteen ja aurinkovoimaan liittyvät projektit ovat tulleet suhteessa entistä kannattavimmiksi.



Rakennusteollisuus on elänyt nousukautta jo vuodesta 2015. Rahoitusta on ollut runsaasti tarjolla. Nyt vuonna 2020 suhdanne kuitenkin näyttää kääntyvän laskuun ja samalla myös uudisrakentaminen vähenee tuntuvasti. Rakennusalan suhdannelaskua hillitsee jatkuva tarve korjausrakentamiselle, jota vielä lisää merkittävästi EU:n energiatehokkuusdirektiivi. Direktiivin mukaan jäsenmaiden tulee laatia strategia rakennuskannan muuntamiseksi erittäin energiatehokkaaksi ja vähähiiliseksi vuoteen 2050 mennessä. (Vihmo, 2019, s. 2)

Tällaisten suhdanteiden vallitessa virtuaalivoimalaitospalvelulla näyttäisi olevat hyvät mahdollisuudet menestyä. Kulutusjouston mahdollistamat lisätuotot voivat jopa toimia vaa’an kieli-asemassa, kun rakennusprojektin kannattavuutta ja tulevia kassavirtoja arvioidaan. Digitaalisen alustan mahdollistamat uudet palvelut kuten kohdennettu mainonta tai sähköautojen latauspalvelut tuovat myös kiinteistöille tarpeellista lisäansaintaa.

Vaikka akustojen hinnat ovatkin jatkuvasti laskeneet, muodostaa sähkövarasto edelleen suurimman taloudellisen esteen kokonaisvaltaisen virtuaalivoimalaitospalvelun rakentamiselle. Akustojen hintaa verrataan esimerkiksi aurinkovoimalan rakennuskustannuksiin ja pohditaan miten suuren aurinkovoimalan voisi rakentaa, jos akustoa ei sisällyttäisi projektiin. Sähkövarasto on kuitenkin keskeinen tekijä virtuaalivoimalaitoksen koko potentiaalın hyödyntämisessä kuten kappaleen seitsemän tuottolaskelmista käy ilmi.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen siirtynee lähivuosina päästökaupan piiriin ja sitä ennen toimintaa voidaan ohjata polttoaineiden valmiste- ja päästöveroilla. Päästöoikeuksien hinnoittelu on pääosin riippuvainen poliittisista päätöksistä, mutta virtuaalivoimalaitoshankkeiden osalta kyseessä on myös taloudellinen muutosvoima. Päästöoikeuden hinta vaikuttaa merkittävästi hankkeella saavutettaviin säästöihin ja kulutusjouston vaihtoehtoiskustannukseen eli huipputehovoimaloiden kannattavuuteen.

#### 4.2.3 Sosiaaliset muutosvoimat

Viime vuosina ihmisten elämäntyyli on muuttunut kohti yhteisöllisempää ajattelua. Perinteinen kuluttamiseen ja omistamiseen keskittynyt kulttuuri on antanut sijaa kierrättämiselle ja yhteiskäytölle. Monet digitaaliset palvelut ovat tukeneet tätä kehitystä muun muassa helpottamalla käytettyjen tavaroiden kauppaa. Vertaiskauppapaikoilla kuten tori.fi ja huuto.net on helppo löytää itselle tarpeettomille tavaroille uusia käyttäjiä. Yhteiskäyttöiset autot ja muut kulkuvälineet ovat saavuttaneet suosiota samalla kun Airbnb:n kaltaiset palvelut ovat avanneet perinteistä majoitusliiketoimintaa laajoille joukoille.

Vastuullisuus on noussut tärkeäksi arvoksi, joka ohjaa entistä enemmän kulutusratkaisuja. Kuluttajat äänestävät valinnoillaan päivittäin ja yritykset pyrkivät vastaamaan kysyntään kilpailemalla yhä voimakkaammin myös vastuullisuudella ja vihreällä imagolla. Vielä muutamia vuosia sitten vain tuotteiden hinnoilla oli

merkitystä, mutta nykyään ratkaisee myös, miten ja millaisissa olosuhteissa tuotteet ja palvelut on tuotettu.

Virtuaalivoimalaitos on näiden sosiaalisten muutosten kannalta hyvässä asemassa, koska erityisesti kulutusjousto-ominaisuus tukee vastuullista ajattelua. On vastuullista vähentää kulutusta ennemmin kuin käynnistää uusia voimalaitteita. Ympäristöhaasteena on voimaloissa käytettävien akustojen vastuullisuus ja kierretettävyyden puute. Alustavien laskelmien mukaan tilanne ei akkujen ympäristövaikutusten osalta ole kuitenkaan huolestuttava, koska virtuaalivoimalaitoskäytössä akun tuotannosta aiheutuvat ympäristökuormat on kompensoitu varsin lyhyellä käyttöajalla. Vastuullisuudesta voidaan pitää huolta myös käyttämällä Suomessa tuotettuja materiaaleja. Pohjanmaalla sijaitseva kaivoyhtiö Keliber aikoo nimittäin tuottaa noin kolme prosenttia maailman litiumista, kun yhtiön toiminta alueella alkaa (Niemistö, 2019).

Myös tavat tehdä työtä ovat muuttuneet. Monilla toimistotyöntekijöillä ei enää ole omia työpisteitä, saati sitten työhuoneita. Muutos on vaikuttanut merkittävästi toimistokiinteistöjen käytettävyyteen. Joustavuus ja muunneltavuus ovat tulleet entistä merkittävimiksi kriteereiksi, kun vuokralaiset valitsevat sopivia tiloja. Myös näihin haasteisiin digitaalisuus pystyy tuomaan helpotusta. Tilojen muuntelu ja olosuhteiden optimointi voidaan jo ennen muutostöitä testata digitaalisen kaksosen avulla ja näin välttyä yllätyksiltä itse rakennusvaiheessa.

#### 4.2.4 Teknologiset muutosvoimat

Digitalisaatio tukee voimakkaasti virtuaalivoimalaitospalvelun kehitystä. Uudet innovaatiot datan hyödyntämisessä ja alustataloudessa mahdollistavat palvelun kehittämisen entistä laaja-alaisemmaksi kokonaisuudeksi. Tekoälyn avulla rakennuksen käyttöä on mahdollista ohjata entistä tehokkaammin ja ottaa käyttäjien tarpeet paremmin huomioon. Haasteeksi saattaa muodostua teknologian nopea vanheneminen ja palvelun tarjoajien suuri määrä. Kuinka valitaan juuri oikeat kumppanit ja miten varmistetaan laitteistojen yhteensopivuus myös tulevaisuudessa? Miten estetään toimittajalukkojen syntyminen?

Virtuaalivoimalaitos on mahdollista toteuttaa elinkaaripalveluna, jolloin palveluntarjoaja huolehtii kaikesta teknologian ylläpidosta ja päivittämisestä. Palveluntarjoajaa valittaessa kannattaa kiinnittää huomiota, että palvelutoiminta on riippumaton laiteomistajasta. Näin voidaan jatkossakin valita aina paras laitteisto oman kiinteistön tarpeeseen.

#### 4.2.5 Ekologiset muutosvoimat

Ympäristönsuojelu ja ilmastomuutoksen torjuminen voidaan nähdä tämän aikakauden merkittävimpinä muutosvoimina. Viimeisten vuosien aikana on tapahtunut voimakas asennemuutos kohti vihreämpää ajattelua. Taistelu ilmastomuutosta vastaa vaikuttaa jo kokonaisvaltaisesti monien ihmisten arkeen ja ku-

lutuspäätöksiin. Hiilineutraalius mainitaan yritysten strategioissa ja jopa maitopurkkien kyljistä on mahdollista lukea, miten paljon hiilidioksidia tuotteen valmistaminen on ilmakehään vapauttanut.

Ekologiset muutosvoimat ohjaavat energian tuotantoa kiihtyvällä vauhdilla kohti uusiutuvia energialähteitä. Tuuli- ja aurinkovoiman rakentamisen odotetaan esimerkiksi Pohjoismaissa kasvavan voimakkaasti. Energian tuotanto ja kulutus ovat merkittävimmät hiilidioksidipäästöjen lähteet. Suomen kaltaisissa kylmissä olosuhteissa rakennusten osuus energiankulutuksesta on merkittävä, joten muospaineet ja odotukset kohdistuvatkin juuri kiinteistöjen energiatehokkuuteen.

Virtuaalivoimalaitospalvelu on erinomaisessa asemassa ekologisten muutosvoimien osalta. Koko palvelu perustuu laaja-alaiseen energiankäytön optimointiin, jossa huomioidaan valtakunnalliset tavoitteet. Kyseessä ei siis ole vain kiinteistökohtainen osiooptimointi, vaan yksittäinen kiinteistö on osana suurempaa kokonaisuutta. Kiinteistö voi kasvattaa mahdollisuutta vaikuttaa kokonaisuuteen kiinteistötekniikan kuormien lisäksi omalla energiantuotannolla, esimerkiksi aurinkovoimalan tai tuuliturbiinien avulla, varastoimalla energiaa akustoihin tai hyödyntämällä varavoimageneraattoreita.

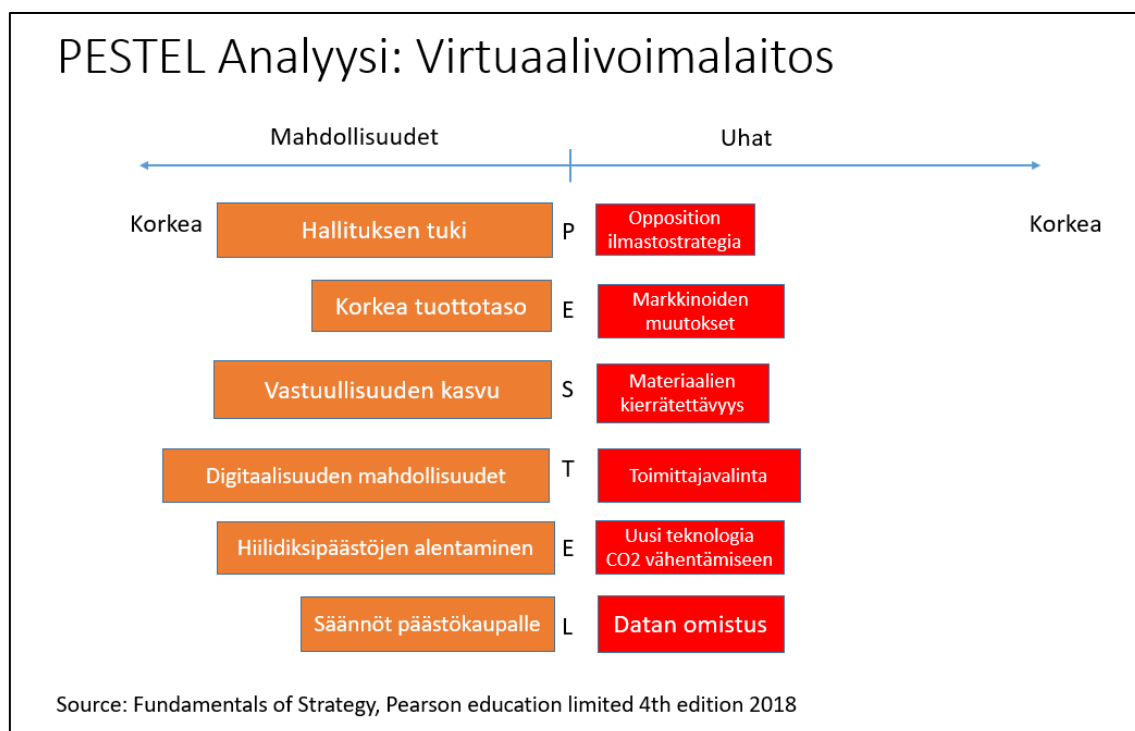
#### 4.2.6 Lainsäädännölliset muutosvoimat

Euroopan unionin puhtaan energian paketin sähkömarkkinadirektiivi ja -asetus ovat tuoneet tullessaan selkeyttä itsenäisten aggregaattoreiden toimintaan. Virtuaalivoimalaitoksen voidaan katsoa olevan juuri tällainen toimija, jonka tehtävänä on koota pieniä sähkökuormia markkinoiden vaatimusten mukaisiksi kokonaisuuksiksi. Direktiivin edellyttämä kansallinen lainsäädäntö tulee olla voimassa viimeistään 31.12.2020. (Fingrid, 2019)

Datan omistajuuteen liittyvät haasteet ja palvelusopimusten laatu ovat avainasemassa, kun mietitään virtuaalivoimalaitokseen vaikuttavia lainsäädännöllisiä muutosvoimia. Koska lainsäädäntö vielä toistaiseksi laahaa perässä, on asioista sovittava mahdollisimman tarkasti. Pitkät sopimukset ovat riskialttiita, koska toimintaympäristön muutokset pitkällä aikavälillä ovat aina todennäköisempiä. Sopimusten avulla pitäisikin pystyä turvaamaan kaikkien osapuolten asema tasavertaisesti. Erityisesti pitää sopia millä ehdoilla sopimus voidaan päättää ennenaikaisesti ja miten palveluntarjoaja raportoi toimistaan ja suorittaa omavalvontaa.

Merkittäviä tekijöitä lainsäädännössä ovat päästökauppaa ja päästöjen kompensointia koskevat määräykset. Niiden soveltamisella on keskeinen merkitys virtuaalivoimalaitoksen ympäristöhyötyjen laskennassa ja raportoinnissa. Laske taanko virtuaalivoimalaitoksen hyödyt energiantuotannon keskimääräisten päästöjen perusteella vai käytetäänkö laskennassa huipputeholaitosten päästöjä? Virtuaalivoimalaitosten tavoitteena on juuri huipputehon leikkaaminen, joten tämä voisi olla yhtenä perusteena suurempiin arvioihin hyötyjenkin osalta.

Oheisessa kuvassa 7 havainnollistetaan ja suhteutetaan pylväiden avulla muutosvoimien tuottamien mahdollisuuksien ja uhkien tasapainoa virtuaalivoimailaitospalvelun toimintaympäristössä. Analyysin perusteella mahdollisuudet ylittävät uhkatekijät kaikkien kuuden muutosvoiman osalta.



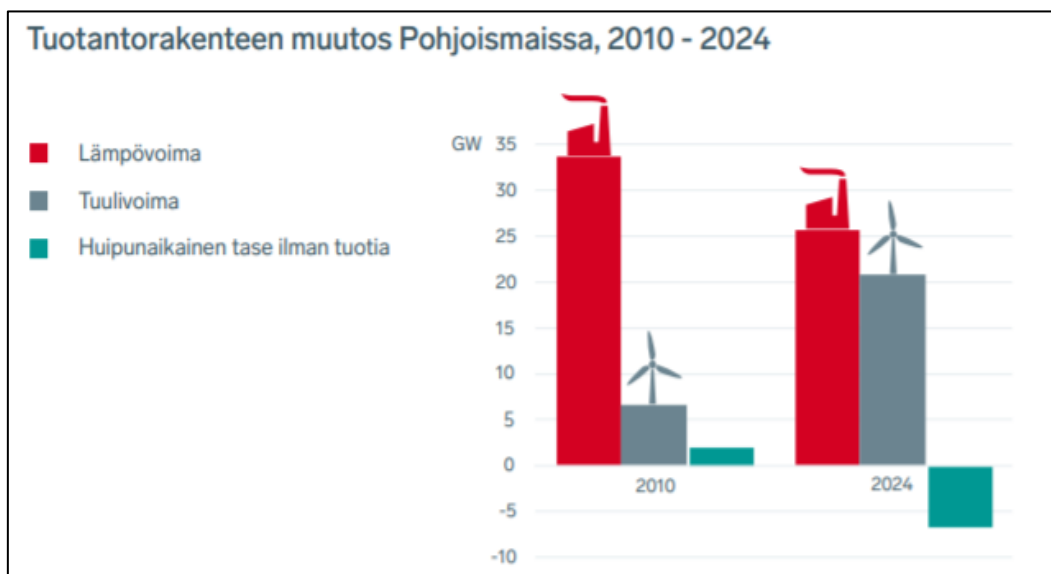
Kuva 7 Virtuaalivoimailaitoksen toimintaympäristön PESTEL-analyysi

#### 4.3 Skenaarioanalyysi

Skenaarioiden avulla pyritään hahmottamaan tulevaisuuden kehitystä ja kuvaamaan mahdollisia tapahtumaketjuja. Skenaariot soveltuvat myös uskomusten ja vakiintuneiden ajatusmallien kyseenalaistamiseen. Kuvaukset tulevaisuudesta auttavat organisaatiota strategisissa valinnoissa ja lisäävät mahdollisuuksia ennakoida samanaikaisesti useita mahdollisia lopputulemia. (Vuorinen, 2013)

Tässä luvussa pyritään skenaarioanalyysin avulla hahmottamaan kulutusjousto-markkinan kehitystä seuraavan kymmenen vuoden aikana. Huomiota kiinnitetään erityisesti jouston kysynnän kehitykseen ja siihen vaikuttaviin kehityskulkuihin. Keskeisinä muuttujina PESTEL-analyysin perusteella nostetaan esiin tuulivoiman rakentamisen lisääntyminen ja energian varastointitapojen kustannusten kehitys. Näiden muuttujien osalta pohditaan kahta erilaista skenaariota. Matalan kasvun skenaariossa uusiutuvan energian rakentaminen ei kasva odotellulla tavalla eivätkä energian varastointikustannukset laske ennusteiden mukaisesti. Korkean kasvun skenaariossa uusiutuvan energian rakentaminen kiihtyy voimakkaasti ja samanaikaisesti energian varastointi tulee merkittävästi nykyistä edullisemmaksi.

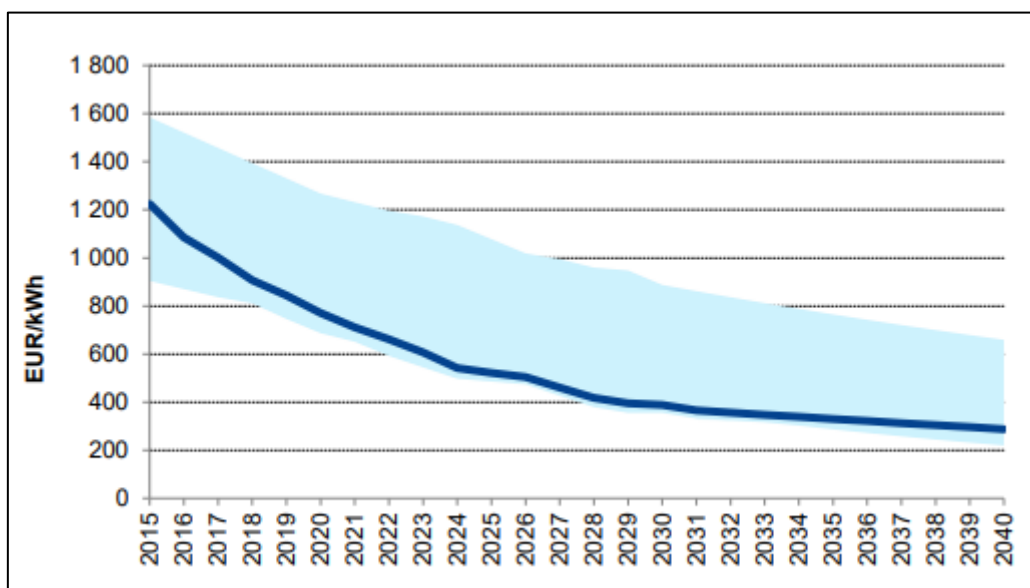
Tuulivoiman määrän oletetaan tämän analyysin korkean kasvun skenaariossa lisääntyvän Pohjoismaissa 2500 MW vuodessa, jolloin se vähintään kaksinkertaisuiksi vuoteen 2030 mennessä. Matalan kasvun skenaariossa tuulivoima lisääntyy noin 1400 MW vuodessa. (Nappari, 2019) Korkean kasvun skenaarion toteutuessa kulutusjoustop kysyntä nousee merkittävästi, koska perinteisiä fossiilisia polttoaineita käyttäviä laitoksia poistuu markkinoilta ja samalla järjestelmän jousto vähenee. Suomen olosuhteissa tuulivoiman merkitys korostuu, mutta samaa ajatusmallia voidaan soveltaa myös aurinkovoimaloiden osalta. Kuvassa 8 on nähtävissä miten voimakkaana Fingrid näkee energian tuotantorakenteen tulevan muutoksen vuosina 2010–2024.



Kuva 8 Energian tuotantorakenteen muutos Pohjoismaissa 2010–2024 (Lähde: Fingrid)

Tuulivoimaloille on sähköntuotannon tasaamiseksi asetettu tietyt tuotantokiintiöt, joiden rajoissa ne voivat toimia. Tarkoilla sääennusteilla on mahdollista reagoida tuotannon vaihteluihin, mutta esimerkiksi ylituotantotilanteessa tämä käytännössä tarkoittaa voimalaitoksen tehon rajoittamista ja hyötysuhteen alenemista. Ylituotannon ohjaaminen energiavarastoon nostaisi tuulivoimalan hyötysuhdetta ja mahdollistaisi uusia liiketoimintamalleja. Uusiutuvien energiamuotojen ylijäämäsähköä on mahdollista käyttää lämmön tuotantoon tai sen avulla voidaan valmistaa polttoaineita kuten vetyä tai synteettistä metaania myöhempää käyttöä varten. Muutosta tähän suuntaan kiihdyttää energian varastointiteknologioiden kehitys ja tuotantomäärien kasvaessa hintojen lasku.

Akkujärjestelmän valmistuskustannuksista materiaalit ja komponentit muodostavat yli 50 prosenttia. Kulutusjoustolle suotuisan kustannuskehityksen skenario perustuu analyysissä akuissa käytettävien raaka-aineiden ja komponenttien hintojen merkittävään laskuun. Lisäksi tulevaisuudessa oletetaan akkukennojen kapasiteetin paranevan ja valmistusprosessien tehostuvan. Oheisessa kuvassa 9 akustojen hintakehitystä arvioidaan usean alaa seuraavan organisaation ennusteiden sekä toteutuneiden hintojen yhteenvetona. (Pöyry, 2017, s.18)



Kuva 9 Akkujen ennustettu hintakehitys 2015-2040 (lähde: Pöyry)

Energian varastointimenetelmät kehittyvät jatkuvasti ja esimerkiksi sähköautojen hyödyntämistä sähköverkon tuotannon ja kulutuksen tasapainottamisessa suunnitellaan. Suomen ensimmäinen kaksisuuntainen latauspiste avattiin yleisölle Helsingin Suvilahdessa jo vuonna 2017. (Kortelainen, 2017) Sähköautot ovat kulutusjouston kannalta kiinnostavia kohteita, koska esimerkiksi jo 1 kW lataustehon muutos tuhannen sähköauton latauksessa mahdollistaa verkolle 1 MW välittömän säätötehon. Tulevaisuudessa sähköautojen omistajat voivat todennäköisesti hyödyntää autojensa akustoja verkon tasapainottamiseen ja saada siitä taloudellista hyötyä. (Teknologiategollisuus, 2017)

Nopean kasvun skenaario on kulutusjoustomarkkinalle suotuisa, koska siinä tuotannon heilahtelut voimistuvat ja niiden tasaamiseen tarvitaan suurempi määrä joustoa. Skenaariossa sähköautojen voimakas yleistyminen on kiihdyttänyt akkujen kehitystä ja mittavat valmistusmäärät ovat laskeneet valmistuskustannuksia. Energiavarastojen hinnat ovat erittäin kustannustehokkaalla tasolla, mikä kannustaa rakentamaan akustoja ja muita varastoja. Autojen kaksisuuntaista latausta hyödynnetään yhteiskunnassa laajasti. Nopean kasvun skenaariossa energian hajatuotanto niin sanotuissa saarekkeissa on merkittävä tuotantomenetelmä. Säiden vaihteluista johtuva sähkön ylituotanto saadaan varastoitua akustoihin tai syntetisoitua polttoaineeksi. Tämä skenaario on analyysissä nimetty uusiutuvan energian vallankumoukseksi.

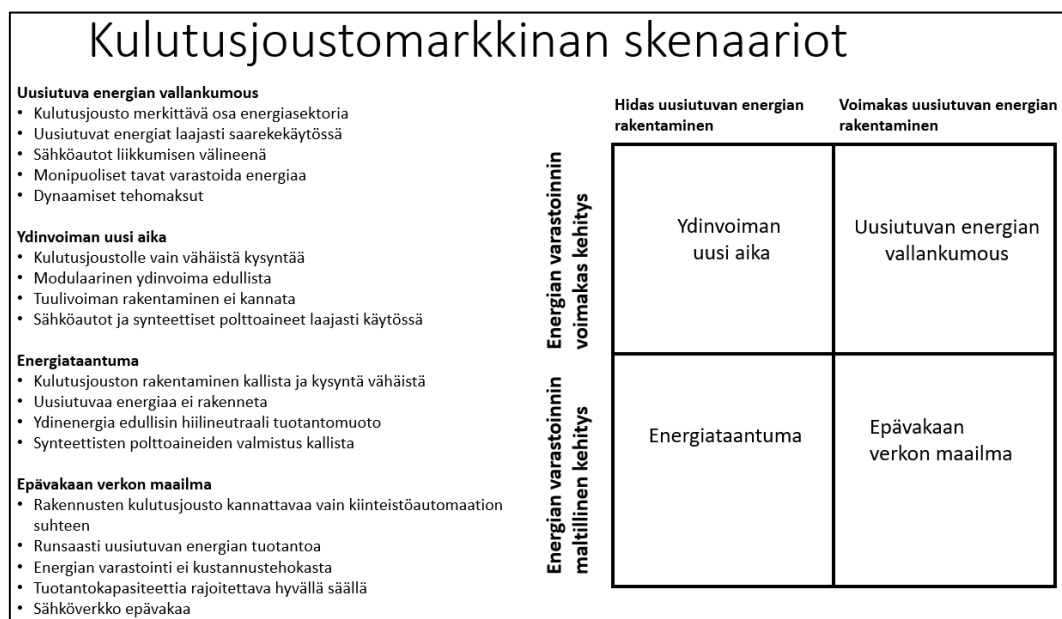
Hitaan kasvun skenaariossa kulutusjouston kysynnän kasvukin on hidasta, koska heilahtelevaa energiantuotantoa on hyvin vähän. Suomalaisten mielipiteet ovat kääntyneet suosimaan hiilineutraalia ydinvoimaa. Ydinvoimateknologiassa on siirrytty pienempiin ja turvallisempiin modulaarisiin voimaloihin. Näiden voimaloiden käyttö on kuitenkin vielä suhteellisen kallista, mutta uusiutuvat energiat eivät pysty kustannustehokkaasti kilpailemaan uuden ydinteknologian kanssa. Akkujen kehitys sähköautoteollisuudelle on jatkunut, mutta sähkövarastoja rakennetaan vain vähän. Ydinvoimalla tuotettu vety on noussut yhdeksi liikenteen polttoaineeksi, mutta sen valmistuskustannukset ovat korkeat ja varastointi edelleen hankalaa. Energiantuotanto on keskitetty maakuntien omiin

ydinvoimaloihin ja saareketuotantoa on vain vähän. Korkean energian hinnan ja säästötoimien vuoksi tätä vaihtoehtoa kutsutaan analyysissä energiataantumaksi.

Edellä mainittujen skenaarioiden lisäksi tässä kahden muuttujan analyysissä syntyy tilanteita, joissa toinen muuttuja kasvaa voimakkaasti ja toinen kehittyy hyvin hitaasti. Toisessa näistä skenaariossa uusiutuvan energian rakentaminen kehittyy voimakkaasti ja Suomessa tuotettaisiin lähes kaikki energia tuuli- ja aurinkoenergian avulla. Energian varastointiin ei kuitenkaan olisi löydetty kustannustehokkaita tapoja, joten tuotantokapasiteettia täytyisi suotuisissa tuotanto-olosuhteissa laskea ja huonolla säällä olisi turvauduttava ostoenergiaan tai hetkellisesti fossiiliseen varavoimaan. Inertian määrä verkossa olisi vähäinen ja synteettisen inertian tuottamisessa pyrittäisiin vastustamaan taajuuden heilahtelujen vaikutuksia. Tässä tilanteessa kulutusjoustolle olisi suuri tarve, mutta sen rakentaminen olisi kannattavaa vain ilman akustoja. Tämä johtaisi monesti rakennusten osalta vain kiinteistöautomaatiokuormien liittämiseen osaksi joustomarkkinaa. Tätä vaihtoehtoa kuvataan otsikolla epävakaa verkon maailma.

Käänteisessä tilanteessa energian varastointi kehittyisi voimakkaasti ja varastojen hinnat olisivat erittäin kustannustehokkaalla tasolla. Tuuli- ja aurinkovoima eivät kuitenkaan kykenisi kilpailemaan uuden ydinvoiman kanssa. Modulaariset ydinvoimalat muodostaisivat Suomen energiantuotannon kustannustehokkaan ytimen. Liikenne olisi sähköistynyt kokonaisuudessaan ja edullista hiilineutraalia energiaa olisi tarjolla runsaasti. Ydinvoimaloita olisi mahdollista ajaa jatkuvasti korkealla käyttöasteella. Mikäli energian kysyntä ei hetkellisesti olisi riittävän suurta, ylijäämäenergia varastoitaisiin synteettiseksi polttoaineeksi. Tätä synteettistä polttoainetta käytettäisiin tarvittaessa säätövoimaloiden polttoaineena ja muun muassa lentoliikenteessä. Kulutusjoustolle ei olisi juurikaan kysyntää, koska taajuussäätö kyettäisiin hoitamaan ylijäämäenergialla. Verkon inertia olisi erittäin korkealla tasolla. Tämä tilanne on analyysissä saanut nimen ydinvoiman uusi aika.

Edellä mainittuja kuvitteellisia tulevaisuuden näkymiä on kuvattu oheisessa kuvassa 10. Kaikissa skenaarioissa on lähdetty ajatuksesta, että ilmastovaikutusten minimoimiseksi tulevaisuuden energian tuotannossa pyritään hiilineutraaliuteen. Siksi fossiilisten polttoaineiden käyttö on rajattu lähes kokonaan tämän analyysin ulkopuolelle. Vain kahden muuttujan käyttäminen rajoittaa ja kärjistää analyysin näkökulmia, mutta tarpeen vaatiessa vastaavia kaavioita voi laatia useampia vaihtelevilla muuttujajyhdistelmillä.



Kuva 10 PESTEL-analyysin kautta tunnistettujen muuttujien avulla rakennetut skenaariot kulutusjoustomarkkinan kehityksestä.

## 5 KVALITATIIVINEN HAASTATTELUTUTKIMUS

### 5.1 Haastattelujen toteutus

Tutkimuksen tarkoituksena oli ensisijaisesti selvittää haastateltavien kiinteistöammattilaisten odotuksia ja epävarmuuksia virtuaalivoimalaitoshankkeeseen liittyen. Samalla pohdittiin kiinteistösijoittajan ajankohtaisia haasteita ja miten virtuaalivoimalaitoksen hyödyntäminen soveltuisi yrityksen strategiaan ja tavoitteisiin. Haastateltavien kanssa keskusteltiin muun muassa digitalisaation ja erilaisten elinkaaripalveluiden mielekkästä hyödyntämisestä. Lisäksi käytiin läpi haastateltavien näkemyksiä ympäristösertifikaateista ja kiinteistöjen arvostusmalleista.

Haastateltaviksi valittiin 14 merkittävää kotimaista kiinteistösijoittajaa tai kiinteistöalalla keskeisessä roolissa toimivaa yritystä. Otoksen kattavuutta kuvaa, että edustettuna oli markkina-arvolla mitattuna lähes 45 prosenttia Suomen ammattimaisesta kiinteistösijoituskannasta. Haastateltavat voidaan karkeasti luokitella eläkesijoittajiin, kiinteistösijoitusyhtiöihin, rakennusliikkeisiin ja käyttäjäomistajiin ja kiinteistöasiantuntijoihin. Yhteenveto haastateltavista edellä mainittuihin kategorioihin jaoteltuna löytyy oheisesta taulukosta 1.



Yritys	Kategoria	Haastateltava	Kiinteistösijoitukset eur	Henkilöstöä
1	Eläkesijoittaja	Kiinteistöjohtaja	3,3 MRD	540
2	Eläkesijoittaja	Kehitysjohtaja	2,8 MRD	515
3	Eläkesijoittaja	Kiinteistöjohtaja	6,2 MRD	710
4	Eläkesijoittaja	Toimitilajohtaja	4,0 MRD	530
5	Kiinteistöasiantuntija	Tekninen johtaja	N/A	17
6	Kiinteistöasiantuntija	Toimitusjohtaja	N/A	30*
7	Kiinteistöasiantuntija	Toimitusjohtaja	N/A	15
8	Kiinteistösijoittaja	Kiinteistöjohtaja	3,5 MRD	14
9	Kiinteistösijoittaja	Partneri	2,5 MRD	35
10	Kiinteistösijoittaja	Kiinteistöpäällikkö	4,1 MRD	35*
11	Käyttäjääomistaja	Operatiivinen johtaja	4,2 MRD	350
12	Käyttäjääomistaja	Kiinteistöjohtaja	N/A	1045
13	Rakennusliike	Johtaja	N/A	2200*
14	Rakennusliike	Johtaja	N/A	5000*
			* Henkilöstö Suomessa	

Taulukko 1 Yhteenvedo haastatelluista yrityksistä

Virtuaalivoimalaitos oli kohderyhmälle selvästi ajankohtainen ja mielenkiintoinen aihe, joten haastattelujen varaaminen onnistui sujuvasti. Haastattelut varattiin pääosin jo ennen lomakauden alkua kesäkuussa 2019 ja ne toteutettiin elo-syyskuun 2019 aikana. Haastattelujen esimateriaaliksi valmisteltiin virtuaalivoimalaitosteemaa ja taustoja käsittelevä White Paper. Kaikille haastateltaville lähetettiin esimateriaali sekä haastattelun kysymysrunko etukäteen sähköpostilla.

Haastateltavat olivat tutustuneet esimateriaaliin hyvin tai heillä oli jo ennestään kokemuksia virtuaalivoimalaitoksesta esimerkiksi kiinteistösalkkunsu kautta. Itse haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina teemahaastatteluina, joissa noudatettiin kaikille samaa haastattelurunkoa. Tarpeen mukaan kysymyksiä ja painotuksia tarkennettiin paremmin haastateltavan yrityksen liiketoimintaan soveltuviksi. Haastattelut kestivät keskimäärin 1,5 tuntia ja ne suoritettiin haastateltavien yritysten tiloissa.

Haastateltavat kokivat kiinnostavaksi ymmärtää logiikkaa kulutusjouston takana ja näkivät sen laajamittaisen hyödyntämisen tärkeänä haasteena. Lähes kaikissa keskusteluissa nousi esille sähköautojen lataus ja siihen liittyvä kiinteistöjen tehonhallinta. Ainoastaan uusiutuvaa energiaa toiminnassaan käyttävien RE100 yritysten toiminnan mittakaava oli osalle haastateltavista yllätys. Myös esimateriaalissa esitetyt laskelmat kauppakeskus Sellon säästöistä ja ansainnasta herättivät keskustelua. Lappeenrannan kaupungin esimerkki nosti esille mahdollisuudet hyödyntää virtuaalivoimalaitosta laajemmin myös kuntasektorilla. Smart Readiness Indicator osoittautui vielä tuoreutensa takia monille tuntemattomaksi ja sen tarpeellisuudesta sekä mahdollista kustannuksista virisi keskustelua. Seuraavassa poimintoja haastateltavien ajatuksista:

Haastateltava A:

*”Aikaisemmin ajateltiin, että ympäristösertifikaatin avulla saa korkeampaa vuokratuottoa, mutta nykyisin se on jo edellytyksenä, jotta saa tilat vuokratua. Vaatimustaso kasvaa jatkuvasti. Entinen neljän tähden luokitus saattaa-kin olla vain kaksi tähteä tänään.”*

*”Palveluntarjoajien omavalvonta täytyy saada paremmalle tasolle. Se ei kuitenkaan poista omistajan vastuuta seurata toimintaa ja saada säännölliset raportit”*

*”Kehittäjä valitsee usein hyvämaineisista toimittajista sen halvimman – optimoi omaa tulostaan ei niinkään kohteen elinkaarikustannusta.”*

Haastateltava B:

*”Tavoitteena uusi strategia, jossa kaikki uudet kohteet ovat hiilineutraaleja käytönaikaisen energian osalta. Jatkossa kaikkien omistusten muuttaminen hiilineutraaleiksi.”*

*”Virtuaalivoimalaitos on mielenkiintoinen, mutta tuotteistaminen on vielä haaste. Markkinaa pitää saada kysyntää, jotta uskalletaan panostaa. Tarvit-taisiin yhtiö, jossa kotimaiset kiinteistöomistajat osakkaina ja osaaminen kes-kittyisi tänne.”*

Haastateltava C:

*”Esteitä virtuaalivoimalaitoksille on vaikea löytää, ehkä akustojen sijoitus-mahdollisuudet.”*

Haastateltava D:

*”Tavoitteena on tuottaa asiakkaillemme yhteistyössä vastuullisen kumppani-verkostomme kanssa työympäristöjä, joiden avulla työn suorituskyky paranee ja toimitilakustannukset alenevat.”*

*”Ilmastokuormitusta vähentävät fikset rakennukset ja fikset ihmiset”*

Haastateltava E:

*”Projektit todella pitkiä, laskelmat muuttuu ja teknologia kehittyy. Älykohteet ovat monesti vanhentuneita jo valmistuessaan. Uudiskohteiden osalta palvelumalli on ehdoton.”*

Haastateltava F:

*”Yritys on jo kokonaisuudessaan hiilineutraali. Jatkokehitys vaatii jo rahaa. Nyt on vielä järkeistäminen riittänyt.”*

Haastateltava G:

*”Vastuullisuus ja ilmasto näkyy hankkeissa. Energiaoperaattorin kilpailutus –sijoittajat haluaa uusiutuvaa, vaikka maksaisi vähän enemmän.”*

*”Huipputehojen säätö on virtuaalivoimalaitoksessa tärkeä ominaisuus.”*

Haastateltava H:

*”Helpot asiat on tehty – nyt tarvitaan jo investointeja, mutta teknologia mahdollistaa. Energiaprojekteissa IRR on parempi kuin vuokrauksessa...”*

## 5.2 Lähtötilanne

Ilmastokysymykset ja toimenpiteet ilmastonmuutoksen hidastamiseksi synnyttävät entistä enemmän sijoitusmahdollisuuksia ilmastomyönteiseen teknologiaan ja vastuulliseen rakentamiseen. Toisaalta uusiutuvan energian tuotannon sekä hiilijalanjäljen pienentämisen huomioimatta jättäminen kiinteistöjen rakentamisessa ja niihin sijoittamisessa voi olla merkittävä taloudellinen riski. Tämä riski realisoituu, jos vaatimukset kiinteistöjen energiatehokkuudelle kasvavat ja sijoittajat alkavat karttaa kohteita, jotka eivät täytä vaadittuja normeja. Ennakointi ja investointi laadukkaisiin järjestelmiin niin uudisrakentamisessa kuin saneerauskohteissakin pienentää sääntelyyn liittyviä riskejä. Vastuullinen rakentaminen on myös edullisempaa kuin yleisesti kuvitellaan, joten ympäristöystävällisen investoinnin vaikutus kohteen myyntihintaan on suhteellisesti luultua suurempi (WGBC, 2013, s. 8).

Kiinteistösijoittajan haasteet liittyvät yhä tiiviimmin rakennusten älykkyyteen, energiatehokkuuteen ja ympäristöystävällisyyteen. Korkean käyttöasteen saavuttaminen ja ylläpitäminen vaatii usein etukäteen tehtäviä investointeja ja panostusta vastuullisuuteen, mutta näihin investointeihin käytetty raha kompensoituu tuottotasossa pitkällä aikavälillä. Valistuneet vuokralaiset arvostavat entistä enemmän joustavia tilaratkaisuja, vakaita terveellisiä työskentelyolosuhteita sekä mahdollisimman pientä hiilijalanjälkeä. Kohteen helppo saavutettavuus sekä virtuaalivoimalaitosjärjestelmään integroidun sähköautojen latausjärjestelmän palvelut nousevat yhä merkittävämmäksi kiinteistön vetovoimatekijäksi.

Virtuaalivoimalaitoksen älykkyyden avulla kiinteistö voi hyödyntää dataa aikaisempaa tehokkaammin. Huolto- ja ylläpitotoiminnot voidaan toteuttaa suunnitellusti ja oikea-aikaisesti. Kiinteistön sähkönkäyttöprofiilista saadaan tarkat tiedot, jolloin kiinteistölle on mahdollista neuvotella aikaisempaa edullisemmat sähkö sopimukset. Myös kiinteistön ulkopuolelta voidaan tuoda tietoa – kuten sääennusteita – joiden perusteella voidaan sopeuttaa toimintaa vallitseviin olosuhteisiin jo etukäteen.

Optimaalisissa lämpö-, valaistus- ja sisäilmaolosuhteissa työteho ja jaksaminen on parhaimmillaan. Älykäs talotekniikka mahdollistaa tilojen joustavan käytön olosuhteita heikentämättä tai ympäristöä kuormittamatta. Kiinteistön olosuhteiden optimointi virtuaalivoimalaitoksen kautta vaatii rakennuksen talotekniikan keskitettyä ohjaamista mikroverkon avulla. Käyttäjien tyytyväisyys kohteen työolosuhteisiin voidaan teknologian avulla varmistaa jo suunnitteluvaiheessa. Tämä edesauttaa pidempien vuokrasopimusten, paremman käyttöasteen ja korkeamman vuokratason saavuttamisessa.

Työskentelyolosuhteiden parantaminen talotekniikan avulla on tärkeässä roolissa myös yritysten omissa ympäristöohjelmissa, sillä useat yritykset ovat määritelleet toimitiloilleen tietyt vastuullisuuskriteerit. Kriteerit perustuvat usein ympäristösertifikaatteihin, joista suosituimpia ovat Yhdysvalloissa kehitetty LEED ja U.K taustainen BREEAM. Molemmat sertifikaatit arvioivat rakennusten maan-, energian- ja vedenkäyttöä, materiaalivalintoja, sisätiloja, kuljetuksia, innovaatioastetta sekä jätehuoltoa. (GBCF, 2019) Ympäristösertifikaattien käytön vakiintuminen luo kiinteistöille uuden vaatimustason, jolloin vihreä rakentaminen valtaa nopeasti alaa. Kiinteistösijoittajan portfolion arvon kasvun varmistamiseksi on tärkeää panostaa sertifioituihin kohteisiin ja toisaalta päivittää saaneerausten yhteydessä vanhojen kohteiden tekniikka kilpailukykyiselle tasolle.

Rakennusten älykkyyden lisäämisessä ja energiatehokkuuden kasvattamisessa rahoitus on keskeinen haaste. Kiinteistösijoittajat haluavat saada pääomansa tuottamaan ja investoinnin takaisinmaksuajan kohtuulliseksi. Erityisesti akustot ovat muuhun kiinteistöteknologiaan verrattuna arvokas hankinta. Sähkön varastointikyky on kuitenkin keskeinen osatekijä, kun kiinteistö alkaa hyödyntää kulutusjoustoa tehokkaasti. Akuston avulla pystytään myös turvaamaan kriittisten liiketoimintaprosessien jatkuvuus häiriötilanteessa.

Virtuaalivoimalaitospalvelu mahdollistaa energiankäytön optimointihankkeiden toteuttamisen täysin hankkeen oman positiivisen kassavirran avulla. Tuotot kulutusjoustomarkkinoilta sekä säästöt energiatehokkuudessa ja ylläpidossa maksavat palvelun ja tuovat lisäksi kiinteistölle uutta ansaintaa. Kiinteistösijoittajan ei siis enää tarvitse investoida etupainotteisesti teknologiaan, vaan hän voi osata arvoa palveluna kiinteään kuukausihintaan.

Erityisesti akustojen hankintaan liittyvien epävarmuuksien minimointiin on myös kehitetty erityinen investointimalli. Tässä mallissa sijoittaja tai useamman sijoittajan muodostama ryhmä kantaa hankkeen markkinariskit ja kiinteistö tai yritys pääsee liiketoiminnassaan hyödyntämään sähkövaraston etuja ilman riskiä kulutusjoustomarkkinan muutoksista.

Liikkeelle on mahdollista lähteä myös vaiheittain ja nostaa palvelutasoa kokemusten karttuessa. Usein jo nyt käytössä olevaa kiinteistöautomaatiikkaa voidaan pienin päivityksin hyödyntää ja varata optio esimerkiksi akuston asentamiselle myöhemmässä vaiheessa. Tärkeintä on lisätä kiinteistön älykkyyttä sekä liitettävyyttä uusiin digitaalisiin palveluihin, jolloin rakennuksen toiminta ja käyttäjien olosuhteet saadaan optimoitua. Samalla mahdollistetaan kiinteistön omistajalle uusi ansaintamalli kulutusjoustomarkkinoiden kautta ja hankkeelle lyhyempi takaisinmaksuaika.

Ilmaston sijoittamisen ei enää tarvitse olla vain ideologista vaan se on myös taloudellisesti kannattavaa. Vastuullisella sijoittamisella on todellisuudessa suurempi ympäristövaikutus kuin saman summan vastuullisella kuluttamisella. Osetusta tuotteesta yritys on nimittäin maksanut erilaisia kuluja kuten raaka-aineita ja veroja. Sijoitettu summa sen sijaan tulee kokonaisuudessaan yrityksen käyttöön ja sen liiketoiminnan kehittämiseen. (Thurén, 2019)

### 5.3 Haastateltavien odotukset

Kiinteistösijoittajien ensisijaisena tavoitteena virtuaalivoimalaitokselle oli hankkeen taloudellinen tuotto. Odotukset takaisinmaksuajan suhteen vaihtelivat 5-15 vuoden välillä. Yleinen näkemys myös oli, että kiinnostuksen herättämiseksi hankkeen mittakaavan tulee olla riittävän suuri. Toki myös pilotoinnista oltiin jossain määrin kiinnostuneita. Työ- ja elinkeinoministeriön tuki nousi myös esille keskeisenä kannustimena ja projektin takaisinmaksuaikaa lyhentävänä tekijänä. Joissain tilanteissa tuen ehdot saattavat myös rajoittaa hankkeita. Esimerkiksi aurinkovoimalaa voidaan joutua alkuperäisistä suunnitelmista pienentämään, jotta koko hankkeelle saadaan tukirahaa ja sijoituksen kokonaistuotto pidettyä korkeammalla tasolla.

Energian hinnan ja verotuksen odotetaan nousevan tulevaisuudessa, joten osatoenergian käytön vähentäminen on kiinteistösijoittajalle yhä tärkeämpi säästökohde. Tuuli- ja aurinkoenergian hyödyntäminen virtuaalivoimalaitoksen ohjaamana ja energian varastointi akkuihin, kaukolämpöön tai muulla tavoin kiinnostivat haastateltavia. Monet kohdekiinteistöt sijaitsevat kaupunkien tiiviisti rakennetuilla alueilla, joten vain harvalla olisi mahdollisuus oman tuulivoimalan rakentamiseen, mutta aurinkovoimaloille löytyy vielä hyviä sijoituspaikkoja.

Muutamien haastateltavien yritysten strategiat oli jo viety vastuullisuusnäkökulmasta varsin pitkälle. Hiilineutraalius koettiin näiden haastateltavien osalta jopa tuottotavoitetta tärkeämmäksi mittariksi. Ajatuksena olikin, että energiaprojekti toteutetaan vaikka nollatuotoilla, mikäli hiilitavoitteita kyetään riittävästi edistämään. Osa toimijoista näki yrityksensä myös yhteiskunnallisena suunnanäyttäjänä ilmastoasioissa. Oman portfolion heikostikaan suoriutuvia kiinteistöjä ei haluttu välttämättä myydä ja jättää muiden huoleksi, vaan niistä haluttiin kantaa vastuuta ja kehittää mahdollisuuksien mukaan energiatehokkaammiksi.

Sijoittajat toivovat virtuaalivoimalaitoksen tuovan kokonaisratkaisun kiinteistöjen energiahaasteisiin. Konseptilta odotetaan selkeyttä ja aitoa ansaintamahdollisuutta, joka pystytään riippumattomilla laskelmilla ja esimerkeillä todistamaan. Päätöksenteon pohjaksi tarvitaan toteutuneeseen dataan perustuvaa informaatiota, jolla ansaintalogiikat voidaan luotettavasti perustella.

Virtuaalivoimalaitos nähdään erittäin teknisenä palveluna, jonka tuottaminen ja ylläpito vaatii luotettavan palveluntarjoajan. Suurilla ja asemansa vakiinnuttaneilla yrityksillä on tässä selvästi etulyöntiasema, koska niiden odotetaan olevan markkinoilla vielä vuosienkin päästä. Niillä on myös parempi kyky kokonaisratkaisun toimittamiseen ja myös näyttöjä toimitetuista projekteista. Elinkaaripalvelulta odotetaan erityisesti vaivattomuutta ja ennustettavia ylläpitokuluja. Haastateltavat odottivat, että markkinoille syntyisi virtuaalivoimalaitosyhtiö, jonne osaaminen ja resurssit keskittyisivät. Tällaisen yhtiön tulisi tarjota kiinteistöille selkeä konsepti päästä mukaan uuteen liiketoimintaan ja tarvittaessa irtottautua siitä hallitulla tavalla.

Energiansäästön lisäksi sijoittajien odotukset kohdistuvat sähköautojen lataamisen mahdollistamiseen paremman tehonhallinnan kautta. Virtuaalivoimalaitosteknologian toivotaan mahdollistavan säästöjä, kun kiinteistöjen sähköjärjestelmiä kohennetaan laajamittaisemmin sähköautojen latauksen mahdollistamiseksi. Sähköautojen lataus nähtiinkin lyhyillä latausväleillä toimivien hybridi-autojen määrän kasvaessa merkittäväksi kiinteistön vetovoimatekijäksi lähivuosina. Ajatukset myös kaksisuuntaisen latauksen mahdollisuudesta eli sähköautojen toimimisesta väliaikaisena sähkövarastona kiinteistölle tulivat muutamissa haastatteluissa esille.

Kiinteistön vuokrattavuuden parantaminen ja käyttöasteen nosto olivat toiveissa, vaikka monet eivät vielä nähneet suoraa yhteyttä virtuaalivoimalaitospalvelun ja vuokrattavuuden välillä. Kansainvälisten vuokralaisten ja tiettyjen kotimaisten kauppaketjujen osalta tunnistettiin kasvaneet vaatimukset rakennusten sertifikaattien ja vihreyden osalta. Virtuaalivoimalaitoksen odotettiin kuitenkin tuovan kiinteistölle imagohyötyä ja olosuhteiden optimointia.

Vastuullisuus, hiilineutraaliuden tavoittelu ja hiilijalanjälki nousivat esille useissa haastatteluissa. Useat haastateltavat totesivat, että helpot keinot energian säästämiseksi on nyt käytetty. Energian käytön tehostaminen, uusiutuvan energian tuottaminen tai ostaminen ja hiilijalanjäljen kompensatio oli jo huomioitu. Seuraava askel kohti hiilineutraaliutta vaatii jo aikaisempaa suurempia investointeja.

Kun kehitystä halutaan viedä tästä seuraavalle tasolle, odotukset kohdistuvat muun muassa kulutusjoustoon ja virtuaalivoimalaitospalveluun. Hiilijalanjäljen sijaan viime aikoina on alettu puhua myös hiilikädenjäljestä. Tuotteella tai palvelulla on hiilikädenjälki, kun asiakas voi sen avulla pienentää omaa hiilijalanjälkeään. (Krabbe, 2019) Virtuaalivoimalaitos on hyvä esimerkki tällaisesta palvelusta kiinteistölle.

Digitaalisen palveluna virtuaalivoimalaitokselta odotetaan myös laadukasta raportointia kiinteistön toiminnasta ja palvelun tuotoista räätälöitynä sekä johdon että operatiivisten henkilöiden tarpeisiin. Haastatteluissa kävi myös ilmi, että kiinteistösijoittajat käyttävät monesti konsultteja tai energiamanagereita erilaisten raporttien toteuttamiseen. Virtuaalivoimalaitoksen toivotaankin automatisoivan sisäisiin ja ulkoisiin tiedontarpeisiin vaadittavan raportoinnin.

#### 5.4 Epävarmuudet ja haasteet

Virtuaalivoimalaitos tunnetaan kiinteistösijoittajien parissa vielä melko pinta-puolisesti. Muutamit haastateltavat olivat tutustuneet aiheeseen tarkemmin kauppakeskus Sellon kautta, mutta osalle aihe oli selvästi vieraampi. Tiedon puute onkin yksi merkittävä epävarmuustekijä, kun virtuaalivoimalaitokseen liittymistä pohditaan. Monesti virtuaalivoimala ei edes suunnitteluvaiheessa nouse esille, koska listaukset projekteissa huomioon otettavista tai selvitetävistä seikoista eivät vielä sisällä siitä mainintaa. Vastaavanlaisessa tilanteessa elettiin esimerkiksi maalämmön osalta vielä 1990-luvulla, jolloin maalämpöteknologian

markkinaosuus pientalojen lämmityksessä oli alle yhden prosentin. Hyvien kokemusten ja ymmärryksen lisääntymisen kautta vastaava markkinaosuus vuonna 2015 oli jo lähes 40 prosenttia. (Tilastokeskus, 2016)

Kulutusjouston ansaintalogiikka saatetaan virheellisesti ymmärtää sähkön myymiseksi takaisin sähköverkkoon. Se, että joissakin tilanteissa kiinteistölle maksetaan korvausta sähkön kulutuksen lisäämisestä, voi tuntua erikoiselta ajatukselta. Myös virtuaalivoimalaitosyhtiön rooli ja eri toimijoiden väliset sopimussuhteet hämmentävät sijoittajia. Erityisesti pitkien elinkaaripalveluiden osalta sopimusten laatu ja tasapuolisuus muutostilanteissa koetaan tärkeäksi tekijäksi. Tähän vaikuttivat osaltaan aikaisemmat kokemukset energiatuetuista ESCO-hankkeista, joissa sopimusten muutokset olivat aiheuttaneet ongelmia.

Teknologian nopea vanheneminen nähtiin yhtenä epävarmuustekijänä. Monen älykiinteistön teknologia onkin valitettavasti vanhentunutta jo pitkän rakennusprojektin valmistuessa. Sijoittajat pohtivatkin kuumeisesti mitkä teknologiat tulevat säilymään ja mitkä taas katoavat nopeasti. Sijoittajien organisaatiot ovat usein niukasti resursoituja, joten teknologian syvällistä ymmärrystä on sisäisesti käytössä vähän. Virtuaalivoimalaitoksen hankkimista kokonaan palveluna puoltaisikin mahdollisuus samalla ulkoistaa teknologian ylläpito ja päivitykset palveluntarjoajalle.

Yksi epävarmuuden aiheuttaja on datan hallinnan ketju. Kuka omistaa antureiden tuottaman datan ja miten sitä voidaan käyttää ja luovuttaa eteenpäin? Suomen lainsäädännön mukaan tietoa ei voi omistaa, joten asiasta on sovittava aukottomasti toimijoiden kesken. Tiettyjen kiinteistöjen turvaluokitukset saattavat myös asettaa rajoituksia tietojen käsittelylle. Turvaluokituksen haasteita voidaan ainakin osittain ratkaista käyttämällä pilvipalveluiden sijaan vain kyseisen asiakkaan käyttöön omistettuja servereitä asiakkaan tiloissa.

Fingridin ylläpitämän kulutusjoustomarkkinan hyödyntäminen nosti haastateltavien mielissä esiin tähän markkinaan liittyvät hintariskit. Muuttuuko energian tuotannon rakenne tulevaisuudessa siten, että säätövoiman kysyntä edelleen kasvaa? Miten paljon virtuaalivoimalaitoksia mahtuu markkinoille ennen kuin tarjonta laskee kulutusjoustosta maksettavaa korvausta merkittävästi? Miten hyvin tuottoja voidaan ennustaa? Sähkömarkkinoilla toimiminen ja riskinotto tällaisesta toimialasta ei luonnollisesti ole kiinteistösijoittajan ydinliiketoimintaa. Markkinoilla toimii myös sijoittajia, jotka ovat erikoistuneet energiamurroksen rahoittamiseen ja ovat valmiita tuottoja vastaa ottamaan riskiä muun muassa kulutusjoustomarkkinasta. Yhteistyössä tällaisen toimijan kanssa on mahdollista löytää kumpaakin osapuolta hyödyttävä toimintamalli.

Myös virtuaalivoimalaitoksen hankkimiseen palveluna liittyy epävarmuuksia ja pohdintaa aiheuttavia seikkoja. Useilla kiinteistösijoittajilla ei ole tarvetta yhdistää virtuaalivoimalaitospalveluun rahoitusta, koska sopivista sijoituskohteista on markkinoilla ajoittain jopa puutetta ja sijoittajilla on joko hyvä likviditeettitilanne tai mahdollisuus hankkia rahoitusta edullisesti. Sijoittajat voisivatkin mieluummin valita toteutusmallin, jossa he sijoittavat alkuinvestoinnin laitteisiin ja

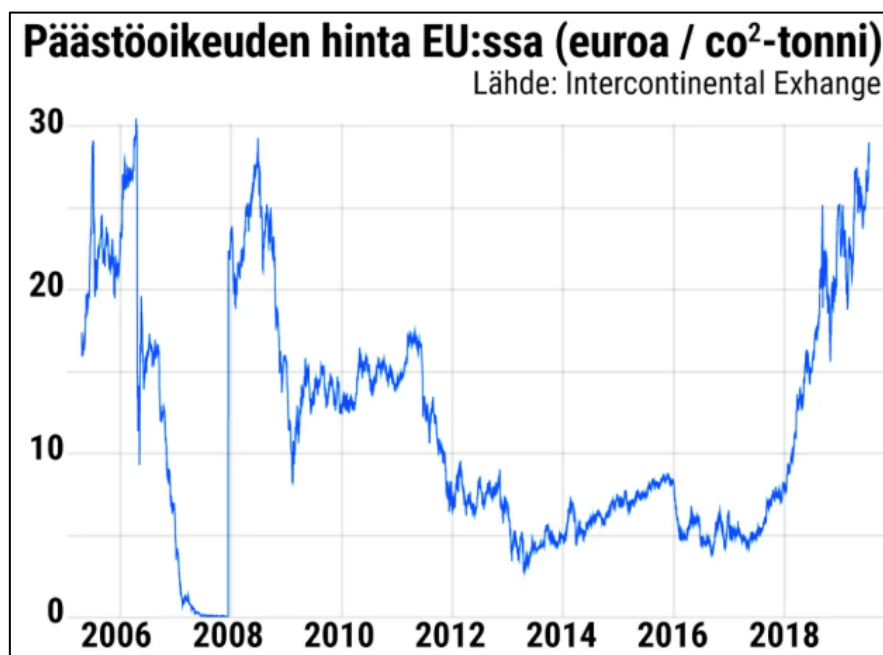
maksavat sopimuskaudella matalampaa palvelumaksua. Erään haastateltavan mukaan tällaisen investoinnin sisäinen korko nousee selvästi vuokratuottoa korkeammaksi. Mikäli yrityksen likviditeettitilanne ei ole niin hyvä tai rahoituksen hankkiminen on suhteessa kallista, ratkaisuksi soveltuu rahoituksen sisältävä kokonaispalvelu. Kuten edellä mainittiin, pitkiin sopimuksiin liittyy aina suurempi riski siitä, että toimintaympäristö ja tarpeet muuttuvat. Tätä riskiä voidaan oleellisesti pienentää laadukkailla sopimuksilla.

Palveluntuottajan valinta ja tarvittaessa sopimuksesta irtautuminen tai toimittajan vaihtaminen aiheuttavat suurta epävarmuutta. Erilaisia tuotteita ja palveluita on runsaasti. Haastateltavat totesivat, että ratkaisumyyjiä eri toimittajilta pyrkii heidän puheilleen jatkuvasti. Kaikki haluavat osansa energiamurroksen aikaansaamasta markkinasta ja jokainen vakuuttaa juuri heidän tuotteensa tai palvelunsa olevan oikea valinta kiinteistösijoittajan tarpeeseen. Luotettavan palveluntarjoajan pitää pystyä paitsi tarjoamaan myös toimittamaan myymänsä ratkaisu. Kyseessä on ostajan kannalta merkittävä hankinta, jonka tulee kestää aikaa. Etenkin aloittelevat yritykset eivät kuitenkaan välttämättä kykene vakuuttamaan ostajaa kyvyistään tarjota toimiva kokonaisratkaisu.

Haastateltavan näkevät uhkana myös toimittajalukot eli tilanteet, joissa heistä tulee riippuvaisia yhdestä palveluntuottajasta ja tämän teknologiasta. Projektin suunnittelussa kannattaakin varmistaa, että ratkaisu ei ole sidottu pelkästään yhden toimittajan tuotteisiin.

Virtuaalivoimalaitoshankinnan tuottoon vaikuttaa tulevaisuudessa merkittävästi myös päästöoikeuksien hinnan kehitys. Haastateltavat näkivät hinnan kehityksen suhteen epävarmuutta. Sillä nouseeko hiilidioksiditonni hinta jopa 115 euron tasolle vai jäädäänkö 25 euron tuntumaan, on voimalan vaihtoehtoiskustannusten kannalta suuri merkitys. Mikäli hintaa perustellaan hiilidioksidin yhteiskunnallisilla kustannuksilla, oikeuden arvon tulisi OECD:n laskelmien mukaan vuonna 2020 olla noin 30–60 euroa hiilidioksiditonnilta (Poussa, 2019). Päästöoikeuksien hinnat ovat vaihdelleet EU:ssa oheisen kuvan 11 mukaisesti.





Kuva 11 Päästöoikeuksien hinnan kehitys (lähde: Intercontinental Exchange)

## 6 VIRTUAALIVOIMALAITOS PALVELUNA – CASE SIEMENS

Siemens tarjoaa kiinteistölle alkuperäisen taloautomaatiikan toimittajasta riippumattoman virtuaalivoimalaitospalvelun, joka mahdollistaa muun muassa liittymisen valtakunnalliseen kulutusjoustomarkkinaan, liitettävyyden tulevaisuuden digitaalisiin palveluihin ja huipputehojen hallinnan. Ratkaisu toimitetaan asiakkaan haluamalla toimintamallilla joko puhtaasti palvelumaksuperusteisesti tai sisältäen alkuinvestoinnin. Ratkaisun avulla kiinteistön omistaja voi hallinnoida kiinteistön korjausvelkaa ja kehittää kiinteistöä kustannustehokkaasti.

Projektin alussa kartoitettujen lähtötietojen pohjalta simuloidaan kiinteistön joustopotentiaali. Simuloinnin tulosten pohjalta laaditaan tarjous palvelusopimuksesta ja projektin toteutuksesta. Projektin toteutukseen kuluu noin kaksi kuukautta ja mikäli mukaan sisällytetään sähkövarasto noin kuusi kuukautta. Valtio tukee uuden teknologian hankintaa 30 prosenttia investointituella, jota on saatavilla viimeistään 15.8.2020 mennessä toteutettuihin hankkeisiin.

Siemensin virtuaalivoimalaitospalvelu on kehitetty Suomessa ja se on jo toiminnassa kauppakeskus Sellossa Espoossa. Palvelu tuottaa kauppakeskukselle kulutusjoustomarkkinoilta 483.000 euroa vuodessa ja aurinkosähköjärjestelmällä 57.500 euroa vuodessa. Lisäksi Sello säästää palvelun tuomalla energiatehokkuudella 78.200 euroa ja ylläpitokuluissa 40.000 euroa vuodessa. Kauppakeskuksen hiilidioksidipäästöt ovat virtuaalivoimalaitoksen avulla vähentyneet 281 kilotonnia vuodessa. (Siemens, 2019b) Suuruusluokaltaan saman määrän hiilidioksidia saa aikaiseksi ajamalla uudella autolla 2,4 miljoonaa kilometriä eli 60 kertaa maapallon ympäri (Saarinen, 2019). Oheisessa kuvassa 12 on kaavio kauppakeskus Sellon älykkästä energiaratkaisusta.



Kuva 12 Kauppakeskus Sellon älykäs energianjärjestelmä perustuu Siemensin EnergyIP sovellusratkaisuun.

Virtuaalivoimalaitospalvelun ovat jo tilanneet myös VR ja Lappeenrannan kaupunki. VR:lle palvelu toimitetaan ensimmäisessä vaiheessa Helsingin päärautatieasemalle sekä Pieksämäen ja Oulun varikolle. Lappeenrannassa palvelu tarjotaan yhdeksään kiinteistöön ja tarkoituksena on lisätä palveluun myöhemmin 50 muuta kiinteistöä. Kittilässä suunnannäyttäjinä toimivat Hullu Poro Oy:n juuri valmistuneet Aurora Pyramidit, jotka muodostavat maailman pohjoisimman mikroverkon. Siemens vastaa Aurora Pyramidien älykkään talotekniikan kokonaisratkaisusta, johon kuuluu muun muassa 1,3 MW akusto ja 132 kWp aurinkovoimalan toimitus ja ylläpito. (Siemens, 2019a)

Digitaalisessa taloudessa uudet innovaatiot perustuvat yhä useammin datan hyödyntämiseen. Virtuaalivoimalaitospalvelu on esimerkki digitaalisen talouden liiketoimintamallista, jossa asiakas ostaa mitattavaa arvoa teknologian sijaan. Siemensin osaaminen talotekniikasta, IoT-ratkaisusta, data-analyseista, mikroverkkoista sekä kiinteistöille soveltuvista liiketoimintamalleista varmistaa projektin onnistumisen. Palvelun tuottamisessa hyödynnetään hyväksi havaittuja, jo käytössä olevia ratkaisuja ja teknologioita.

## 6.1 Palvelun kuvaus

Virtuaalivoimalaitospalvelu hallinnoi ja ohjaa palvelualustaan liitettyjen kiinteistöjen joustokuormia kulutusjoustomarkkinoilla. Voimalaitos on liitetty kulutusjoustomarkkinoilla käytettäviin kaupankäyntijärjestelmiin, joiden kautta käydään kauppaa kiinteistöjen sähkökuormista ja mahdollisesta omasta energiantuotannosta saatavilla joustoilla. Tuottojen maksimoimiseksi virtuaalivoimalaitoksessa yhdistellään eri asiakkailta ja eri kiinteistöistä tarjolla olevia joustoja.

Palveluun sisältyy kaupankäynti kulutusjoustomarkkinoilla. Palvelu voidaan käynnistää ottamalla mukaan parhaiten soveltuvia markkinoita kuten Fingrid Oyj:n taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) ja taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-

D). Palveluun voida liittää myös muita kulutusjoustomarkkinoita kuten vuoden 2020 alussa toimintansa aloittanut nopean taajuusreservin markkina.

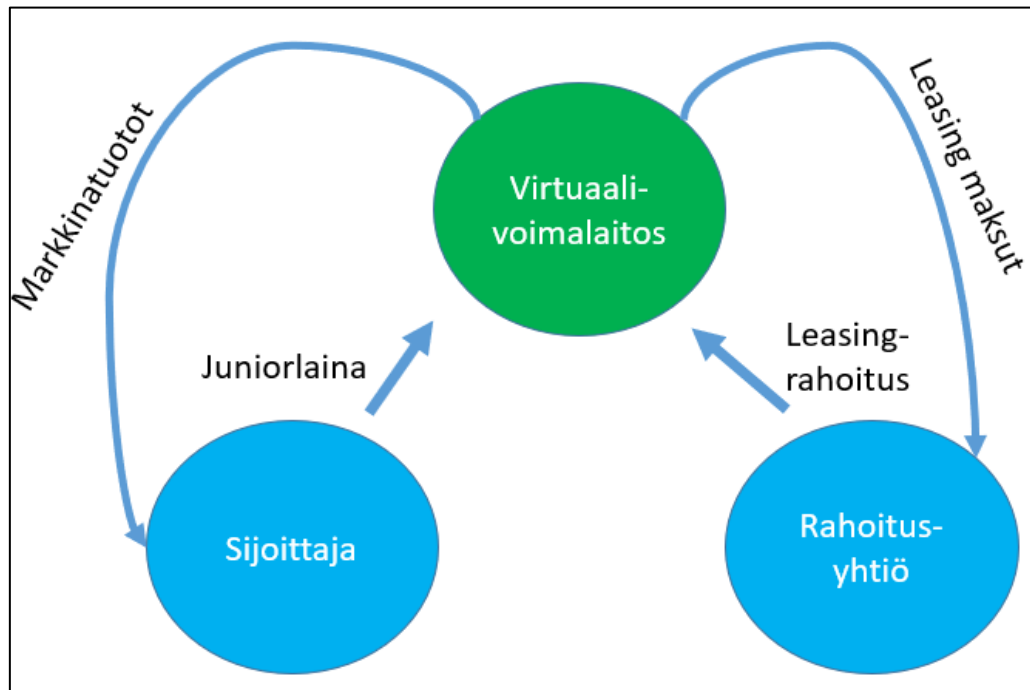
Fingrid maksaa korvauksen joustoista palveluntarjoajalle, joka tilittää nämä tuotot kiinteistöjen omistajille siinä suhteessa, kun heidän joustojaan on hyödynnetty. Virtuaalivoimalaitos kykenee optimoimaan myös kaukolämmön käyttöä. Kaukolämmön tuottajat ovatkin verkkoyhtiön tavoin kiinnostuneita ostamaan kiinteistöiltä joustoa kysyntähuippujen tasaamiseksi.

Palveluntarjoaja toimii kokonaisuudessa teknisenä palveluoperaattorina ja tarjoaa joustot kulutusjoustomarkkinoille. Se huolehtii joustojen kaupankäynnistä ja yhteistyöstä Fingridin sekä muiden sidosryhmien kanssa. Palveluntarjoaja raportoi joustokaupasta asiakkaalle kvartaaleittain. Raportit sisältävät tiedot tarjotuista joustoista, toteutuneista kaupoista ja markkinoilta saaduista tuotoista.

## 6.2 Sijoittajamalli akustojen rahoituksessa

Vaikka akustojen hinnat ovatkin tasaisesti laskeneet viime vuosien aikana, muodostaa sähkön varastointi silti merkittävän kustannuksen virtuaalivoimalaitoksen toteutuksessa. Yleisellä tasolla voidaan arvioida, että vuoden vaihteessa 2019–2020 akukapasiteetin hinta on 500.000–700.000 euroa megawatti. Rahoituksen helpottamiseksi on kuitenkin rakennettu malli, jossa vihreään energiaan investoivat sijoittajat kantavat kulutusjoustomarkkinan markkinariskin. Markkinariskillä tarkoitetaan kulutusjoustosta maksettavan hinnan vaihtelua. Mallissa akustosta syntyvän markkinatuoton saa sijoittaja ja kiinteistö ansaitsee oman taloteknisen kuormansa jouston avulla. Kiinteistö pääsee kuitenkin hyödyntämään alkustoa myös omassa toiminnassaan ja riskienhallinnassaan sopimalla käytöstä sijoittajan kanssa. Akusto pyritään sijoittamaan kiinteistön tiloihin tai tontille, mutta sen rahoituksesta ja kustannuksista vastaisi pääosin sijoittaja.

Tämän mallin mukaisista tai vastaavan tyyppisistä järjestelyistä on Euroopassa jo kokemusta. Myös Suomessa on jo aloitettu ensimmäiset projektit. Nykyisessä matalien tuottojen markkinaympäristössä tämä malli mahdollistaa riskinottoon kykeneville sijoittajille erittäin hyvän ansaintamahdollisuuden. Oheisessa kuvassa 13 esitellään esimerkki sijoittajamallin kassavirroista akustoinvestoinnin tapauksessa. Energiasijoittaja kotiuttaa markkinatuottoja juniorilainan avulla, kun akusto tuottaa sopimuksen mukaista ansaintaa joustomarkkinoilta. Mikäli markkinatuotot eivät yllä riittävälle tasolle, juniorilaillekaan ei makseta tuottoa. Kiinteistöisijoittaja ansaitsee normaaliin tapaan kiinteistöautomaatiikan joustoilla ja hyötyy myös akuston ominaisuuksista kuten tehonhallinnasta, sähkön laadusta ja prosessien jatkuvuuden turvaamisesta sopimustensa mukaisesti. Voidaan myös sopia, että osa akuston markkinatuotoista kuuluu kiinteistölle.



Kuva 13 Sijoittajamalli akustoinvestoinnissa

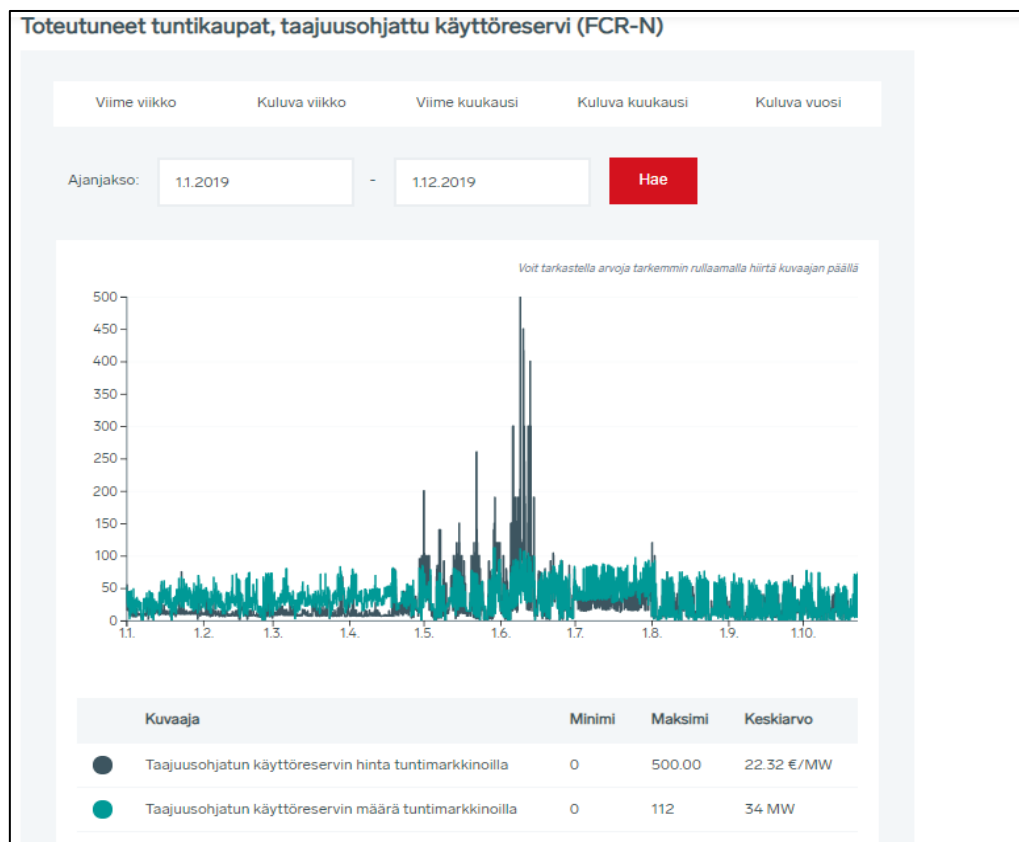
### 6.3 Ansainta

Virtuaalivoimalaitoksen kautta kiinteistölle avautuu pääsy uusille energiamaarkkinoille, joihin sen resurssit eivät yksinään riittäisi. Virtuaalivoimalaitos kerää yhteen useiden kiinteistöjen joustokuormat ja kykenee viemään ne kulutusjoustomarkkinoille riippumatta siitä missä kiinteistöt sijaitsevat. Kulutusjoustomarkkinat ovat tällä hetkellä pohjoismaiset ja niihin sisältyy useita eri markkinoita tai tuotteita.

Ansainta on riippuvainen kiinteistön automaatiotekniikan kuormasta ja myös kiinteistön käytöstä. Mikäli esimerkiksi teollisuusyrityksen tuotanto on käynnissä 24 tuntia seitsemänä päivänä viikossa, sen mahdollisuudet joustaa ovat suuremmat kuin toimiston, jossa työskennellään yhdeksästä viiteen viiteen päivänä viikossa ja esimerkiksi ilmanvaihto sammutetaan muina aikoina. Kiinteistön joustopotentiali kannattaakin selvittää jo aivan suunnittelun alussa.

Joustossa ei ole kyse sähkön myymisestä verkkoon, vaan markkinoiden hinnoittelu perustuu verkon tasapainottamisen aiheuttamiin kustannuksiin. Tasapainottamisessa on erilaisia tarpeita kuten jouston aktivoitumisnopeus ja jouston ajallinen kesto. Kaikki kuormat eivät kykene reagoimaan tarpeeseen riittävän nopeasti tai joustoa ei kyetä ylläpitämään riittävän pitkään. Esiselvityksen avulla on mahdollista kartoittaa ja optimoida mille markkinoille juuri kyseisen kiinteistön kuormat voivat osallistua. Lisäksi markkinat on jaettu vuosimarkkinoihin ja tuntimarkkinoihin. Vuosimarkkinoilla joustokuormista sovitaan vuodeksi etukäteen ja hinnat ovat yleensä alhaisemmat kuin päivittäisillä tuntimarkkinoilla.

Reservimarkkinoiden hintainformaatio ja tekniset vaatimukset ovat julkisesti saatavilla Fingridin verkkosivuilla. Oheinen kuva 14 esittää yhden joustotuotteen eli taajuusohjatun käyttöreservin (FCR-N) toteutuneet kaupat tuntimarkkinoilla 1.1.2019 – 1.12.2019.



Kuva 14 Taajuusohjatun käyttöreservin toteutuneet tuntikaupat 1.1.2019 – 1.12.2019 (lähde: Fingrid)

Mikäli oletetaan, että esimerkiksi kiinteistön 1 MW kuormat ovat käytössä 85 prosenttia ajasta ja joustosta maksettaisiin oheisessa kuvassa esitetty tuntimarkkinoiden keskihinta 22,32 euroa/MW voidaan teoreettinen vuosiansainta taajuusohjatun käyttöreservin osalta laskea seuraavasti:

$$22,32 \text{ eur/MW} \times 1 \text{ MW} \times 85\% \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ d} = 166.195 \text{ euroa/vuosi}$$

Kuten edellä on todettu, ansainta riippuu kiinteistön kyvykkyydestä joustaa, markkinoiden hyödyntämisen optimoinnista ja jouston hinnoittelusta. Koska akuston käyttöaste ja joustokuorma ovat korkeita, akuston ottaminen mukaan laskentaan nostaa koko hankkeen tehokkuutta. Markkinariskien hallinnassa voidaan tarpeen vaatiessa hyödyntää esimerkiksi luvussa 6.3 kerrottua sijoittajamallia.

#### 6.4 Säästöt

Virtuaalivoimalaitospalvelun avulla kiinteistö kykenee hankkimaan säästöjä useista lähteistä. Yksi keskeisistä säästöjen lähteistä on sähkön ostotoiminnan optimointi vuorokausimarkkinoilla (day ahead market). Tämä edellyttää sopimusta sähköpörssin ja tasevastuusta sopimista avoimen sähköntoimittajan

kanssa. Virtuaalivoimalaitoksen avulla vuorokausimarkkinan hinnoittelua on mahdollista hyödyntää ostamalla sähköä edulliseen aikaan varastoon. Mikroverkko voidaan laskenta-algoritmien avulla ohjelmoida hyödyntämään nämä spot-hintojen muutokset automaattisesti.

Toinen säästöjen lähde on kohdentaa kiinteistöautomaatiojärjestelmän kulutus niihin hetkiin, jolloin energian hinta on alhainen ja vähentää kulutusta hintapiikkien kohdilla. Vaikka nämä toimenpiteet eivät suoraa vähennä kulutettua kokonaisenergiaa, saadaan aikaan kuitenkin tuntuvia säästöjä.

Mikroverkon älykkyyden avulla voidaan myös optimoida eri energialähteiden kuten kaukolämmön, sähkön ja lämmön talteenoton käyttöä jatkuvasti. Uusien energialähteiden liittäminen virtuaalivoimalaitosalustaan on helppoa ja kaikkien järjestelmien ohjaaminen keskitetysti varmistaa kokonaisuuden optimaalisen toiminnan. Mikroverkon avulla kyetään toteuttamaan ennakoivaa huoltoa, koska verkon älykkyys tunnistaa nopeasti siihen kytkettyjen laitteiden poikkeavan toiminnan ja huolto saadaan tehtyä jo ennen kuin laitteen vikaantumista olisi muuten havaittu.

Akuston avulla voidaan myös kokonaan korvata tiettyjä sähköjärjestelmän arvokkaita komponentteja kuten kondensaattoreita ja säästää siten niiden hankinta ja huoltokustannukset. Akuston ja mikroverkon käyttö vaikuttaa myös sähköjärjestelmän mitoitukseen eli kehittyneemmän huipputehojen hallinnan ansiosta voidaan käyttää esimerkiksi pienempiä ja edullisempia sähkökeskuksia. Akuston mahdollistaman tasalaatuisen sähkön avulla kiinteistön tai yrityksen käyttämien sähkölaitteiden käyttöikä voidaan kasvattaa jopa 3–5 vuotta. Tämä tarjoaa yritykselle tai kiinteistölle huomattavia pitkän aikavälin säästöjä. Toisaalta kulutusjouston hyödyntäminen edellyttää laitteiden aktiivista tehonsäätöä, jolla voi myös olla vaikutusta niiden kulumiseen tai vikaantumiseen.

## 6.5 Kiinteistön arvo

Kiinteistön arvo muodostuu monen osatekijän summana, mutta yksi keskeisimmistä seikoista on kiinteistön vuokrattavuus ja sitä kautta muodostuva kassavirta. Vuokrattavuus puolestaan on riippuvainen muun muassa kiinteistön sijainnista ja saavutettavuudesta. Kiinteistön sijainnin arvostukseen voivat vaikuttaa myös muutokset ympäristössä. Esimerkiksi uuden metroaseman rakentaminen kiinteistön läheisyyteen voi olla merkittävä tekijä kiinteistön arvon kannalta, koska kiinteistön saavutettavuus paranee. Toinen merkittävä seikka on tilojen joustavuus ja soveltuvuus vuokralaisten tarpeisiin. Olosuhteet rakennuksessa kuten sisäilman laatu, valoisuus ja lämpötila ovat myös kiinteistön houkuttelevuuden kannalta merkittävässä roolissa. Sijainnista riippumattomiin tekijöihin on myös mahdollista vaikuttaa muun muassa kehittämällä digitalisaation avulla kiinteistön teknologiaa.

Vuokrattavuuden ja vuokrasta koostuvien kassavirtojen vastapainona ovat luonnollisesti kiinteistön ylläpitokustannukset. Kassavirtojen tuleekin sijoittajan nä-

kökulmasta pitkällä aikavälillä ylittää syntyvät kustannukset ja lisäksi korvata sijoittajalle riskinotosta koitunut epävarmuus. Yksinkertaistaen voidaankin todeta, että kiinteistön arvo muodostuu perinteisen kassavirtamenetelmän avulla laskukaavan 1 esittämällä tavalla. (Vimpari & Junnila, 2017):

$$\frac{\text{Vuokratuotto} - \text{Käyttökustannukset}}{\text{Tuottovaatimus}} = \text{Kiinteistön arvo}$$

*Laskukaava 1 Kiinteistön arvo kassavirtamenetelmällä laskettuna*

Virtuaalivoimalaitospalvelu tuo kiinteistön arvonmuodostukseen uusia näkökulmia ja mahdollisuuksia sekä vuokrattavuuden että kassavirtojen kannalta. Ensinnäkin ansainta kulutusjoustomarkkinoilta tuo kiinteistön ulottuville aivan uuden ansaintamallin ja kassavirtaa, joka nostaa suoraa kiinteistön arvoa. Kiinteistön vuokrattavuus kasvaa, koska yhä useammat vuokralaiset tiedostavat kiinteistöjen merkityksen ilmastotalkoissa ja pyrkivät vastuullisuuteen valinnoissaan. Virtuaalivoimalaitoksen tuoman myönteisen tunnettavuuden kautta voidaan olettaa vuokratyksen kasvavan ja tämän vaikuttavan vuokratasojen kautta rakennuksen arvoon. (Säynätjoki et al., 2018, s. 17) Kiinteistön älykkyyttä lisäämällä myös sijoitukseen liittyvät esimerkiksi lainsäädännön tiukkenemisen kautta syntyvät riskit pienenevät ja samalla tuottovaade pienenee. (Janhunen, 2018, s. 46-47)

Kiinteistöjen arvostus on perinteisesti pohjautunut edellä kuvattuun kassavirtamenetelmään, joka usein johtaa varsin konservatiiviseen arvioon kiinteistön arvosta. Kun tämän menetelmän tueksi otetaan reaalioptioanalyysi, voidaan havaita uusia kiinteistölle arvoa tuottavia elementtejä ja myös kiinteistön elinkaarisen tuottavuutta on mahdollista parantaa. Reaalioptioanalyysi voi tarjota myös perusteluja investointipäätöksille, jotka ovat välttämättömiä pidemmän aikavälisen kiinteistöstrategian onnistumiselle. Tutkimuksissa on optioiden avulla löydetty muun muassa 8,8 prosentin arvostuspreemio kiinteistön ympäristösertifikaatille. Reaalioptioanalyysillä voidaan siis täydentää kassavirtamenetelmää ja tuoda uutta informaatiota kiinteistön arvonmääritykseen. (Vimpari, 2014, s. 19, s. 27-28)

Monia kiinteistöjä rasittaa kasvava korjausvelka. Korjaussuunnitelmien mukaisia töitä saatetaan monesti lykätä ja keskittyä ainoastaan kriittisten korjausten tekemiseen. Virtuaalivoimalaitoksen käyttöönoton yhteydessä voidaan tehokkaasti karsia myös korjausvelkaa. Tämä onnistuu esimerkiksi siten, että elinkaarensa lopussa oleva valaisinjärjestelmä päivitetään projektin yhteydessä suoraa mikroverkon ohjaamaan älyvalaistukseen tai vanhat kondensaattorit korvataan akkuteknologian ominaisuuksilla. Ennen projektia onkin tärkeää suunnitella, miten korjausvelkaa voidaan mahdollisimman tehokkaasti hyödyntää. Ylläpitokustannusten kautta saavutetut säästöt näkyvät suoraan myös kassavirtaperusteissa kiinteistön arvonmäärityksessä.

## 6.6 Hyödyt yhteiskunnalle

Virtuaalivoimalaitospalvelu tuottaa yhteiskunnalle suuria hyötyjä. Palvelu tukee muun muassa yhteiskunnan ilmastotavoitteita vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä. Yksi tapa laskea virtuaalivoimalaitoksen aikaansaamaa hiilidioksidipäästöjen vähennystä on verrata sitä vaihtoehtoiseen tapaan tuottaa säätövoimaa. Käytännössä virtuaalivoimalaitoksen päästöt ovat nollassa, joten vaihtoehtoisen energiamuodon päästöjen voidaan katsoa muodostavan vertailuvun virtuaalivoimalaitoksen päästövähennykselle.

Suurimmat säästöt saadaan aikaan käyttämällä vertailussa esimerkiksi Meri-Porin hiililauhdevoimalaa, joka toimii aktiivisesti Fingridin tehoreservinä jopa 3.000 tuntia vuodessa. (Hammarberg, 2019) Meri-Porin voimalan hiilidioksidipäästöt ovat 820 kg/MWh. (Lounais-Suomen Ympäristökeskus, 2009, s. 2) Tämän perusteella voidaan laskea, että esimerkiksi 50 MWh virtuaalivoimalaitoksen säästöt 85 % käyttöasteella olisivat vuodessa:

$$820 \text{ kgCO}_2 \times 50 \text{ MW} \times 0,85 \times 8760 \text{ h} = 305\,000 \text{ tCO}_2$$

Mikäli vertailukohtana halutaan käyttää Suomen sähköntuotannon keskiarvoja, hiilidioksidipäästöjen vertailulukku olisi 164 kg/MWh. Tällä vertailuluvulla ja samalla 85 % käyttöasteella päästään lukemaan:

$$164 \text{ kgCO}_2 \times 50 \text{ MW} \times 0,85 \times 8760 = 61.000 \text{ tCO}_2$$

Mikäli Suomen koko tämänhetkinen 1.500 MW kulutusjoustomarkkina saataisiin hyötykäyttöön 50 % käyttöasteella olisi sähköntuotannon keskiarvoisillakin päästöarvoilla mahdollista vähentää hiilidioksidipäästöjä seuraavasti:

$$164 \text{ kgCO}_2 \times 1.500 \text{ MW} \times 0,5 \times 8760 = 1.077.480 \text{ tCO}_2$$

Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2018 kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt olivat Suomessa 56,5 miljoonaa hiilidioksiditonnia vastaava määrä. (Forsell, Lindh, Vertanen, 2019) Virtuaalivoimalaitoksilla olisi siis jopa 50 prosentin käyttöasteella mahdollista vähentää noin kaksi prosenttia kokonaispäästöistä ja täydellä käytöllä neljä prosenttia. Mikäli päästövähennys suhteutetaan Meri-Porin tyyppiseen energiantuotantolaitokseen, lähestytään 100 % käyttöasteella jo 20 % kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä. Tämä on kuitenkin käytännössä hyvin vaikeaa toteuttaa.

Yhtenä kehityksen pullonkaulana on edelleen virtuaalivoimalaitoksen aikaansaamien hiilidioksidihyötyjen virallisen laskentamenetelmän puuttuminen. Myöskään hyötyjen kohdentamisesta yritysten ja kiinteistöjen päästötaseisiin ei ole virallisia ohjeita. Kansallisen sääntelyn laatiminen näille asioille voisikin toimia Suomelle kilpailuetuna ja houkutella maahamme kansainvälisiä investointeja.



Virtuaalivoimalaitosten kasvattaminen tukee myös uusiutuvan energian käytön lisäämistä, koska muun muassa aurinko- ja tuulienergian tuotannosta syntyvää sähköverkon heilahtelua voidaan helposti ja ympäristöystävällisesti tasata. Virtuaalivoimalaitokset edistävät yhteiskunnan kestävä kehityksen tavoitteita. Kulutusjousto on yksi monista tekijöistä, joiden avulla yhteiskunnan toiminnot voidaan ylläpitää ilman, että aiheutetaan peruuttamattomia muutoksia ekosysteemeille. Virtuaalivoimaloiden rakentaminen parantaa Suomen kansainvälistä kilpailukykyä alustatalouden ja digitaalisten palveluiden kehityksessä. Virtuaalivoimalaitosten kiinteistöistä keräämän informaation avulla luodaan uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja samalla energialle kehitetään yhä avoimempaa sekä useita sektoreita yhdistävää markkinapaikkaa.

Huoltovarmuus ja energian saannin turvaaminen ovat nyky-yhteiskunnalle suuria haasteita. Virtuaalivoimalaitosten tarjoama jousto parantaa yhteiskunnan mahdollisuuksia selvittää esimerkiksi sähkön jakeluun kohdistuvasta häiriöstä. Jousto lisää yhteiskunnan omavaraista energiakapasiteettia, kun esimerkiksi energiantuonnissa on ongelmia. Tulevaisuudessa on hyvinkin mahdollista, että virtuaalivoimalaitokset myös ohjaavat vaikkapa tuuliturbiinien ylituotannon metanointilaitoksiin, joissa hiilidioksidia ja vettä muunnetaan metaaniksi. Metaanille puolestaan on jo valmis jakeluverkosto, joten sitä voidaan helposti hyödyntää polttoaineena.

Yksi suurimmista käytännön haasteista kiinteistöille ja samalla koko yhteiskunnalle on valmistautuminen sähköautojen määrän voimakkaaseen kasvuun tulevaisuudessa. Vanhoja kiinteistöjä rakennettaessa ei pystytty varautumaan siihen, että kiinteistöjä käytetään useiden sähköautojen samanaikaiseen lataamiseen. Kiinteistöjen sähköjärjestelmien nykyiset mitoitus ei riitä näiden latauskuormien käsittelyyn. Kun samassa yhteydessä myös lämmitys sähköistyy ja lämpöpumput lisääntyvät, nousevat kiinteistöjen sähkökuormat yhä suuremmiksi. Virtuaalivoimalaitoksen avulla voidaan huippukuormia leikata sekä akustoja hyödyntäen että kiinteistöautomaatiikan tehoa säätämällä. Tämä mahdollistaa pienemmät investoinnit kiinteistöjen sähköjärjestelmien vahvistamiseen, mikä laajemmin toteutettuna tarkoittaa myös merkittävää yhteiskunnallista hyötyä.

Uusiutuva energia myös työllistää suomalaisia yhä enemmän. Työllisyysvaikutukset liittyvät hankkeiden suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön sekä voimaloissa käytettävien komponenttien valmistamiseen. Nykyisin käytössä olevan tuulivoimakapasiteetin suoraksi työllisyysvaikutukseksi arvioidaan noin 2600 henkilötyövuotta ja kerrannaisvaikutuksiksi noin 53.200 henkilötyövuotta. Mikäli tuulivoima-ala saavuttaisi kasvutavoitteensa eli noin 6.000 MW voimalkapasiteetin vuoteen 2030 mennessä voisivat suorat työllisyysvaikutukset olla 7.600 henkilötyövuotta ja kerrannaisvaikutusten kautta 159.000 henkilötyövuotta. (Ramboll, 2019, s. 14)

## 6.7 Hyödyt vuokralaiselle

Vuokralaiselle virtuaalivoimalaitos tarjoaa optimoidut sisäolosuhteet, jolloin voidaan saavuttaa paras mahdollinen työteho ja viihtyvyys. Myös vuokralaisten asiakkaat viihtyvät tiloissa paremmin, kun tilojen olosuhteet lämpötilan, valaistuksen ja ilmanlaadun suhteen ovat kunnossa.

Monet vuokralaiset arvostavat kiinteistön ympäristöystävällisyyttä ja pientä hiilijalanjälkeä. Vastuullisuus ja vihreät arvot houkuttelevat myös valveutuneita asiakkaita käyttämään yrityksen palveluita. Virtuaalivoimalaitos helpottaa erilaisten ympäristösertifikaattien hankinnassa. Sertifikaatit ovat erityisesti monille kansainvälisille vuokralaisille merkittäviä kriteerejä, kun toimitiloja valitaan. Vastuullinen imago osaltaan houkuttelee yrityksille hyviä työntekijöitä ja vahvistaa sitoutumista yritykseen.

Ennakoivan huollon ja paremman energiatehokkuuden ansiosta kiinteistön käyttökustannukset ovat alhaisemmat. Tämä puolestaan mahdollistaa kilpailukykyisen vuokratason. Myös akuston ja mikroverkon mukanaan tuoma häiriötömyys sähkön toimituksessa varmistaa prosessien tasaisen laadun sekä paremman asiakaskokemuksen.

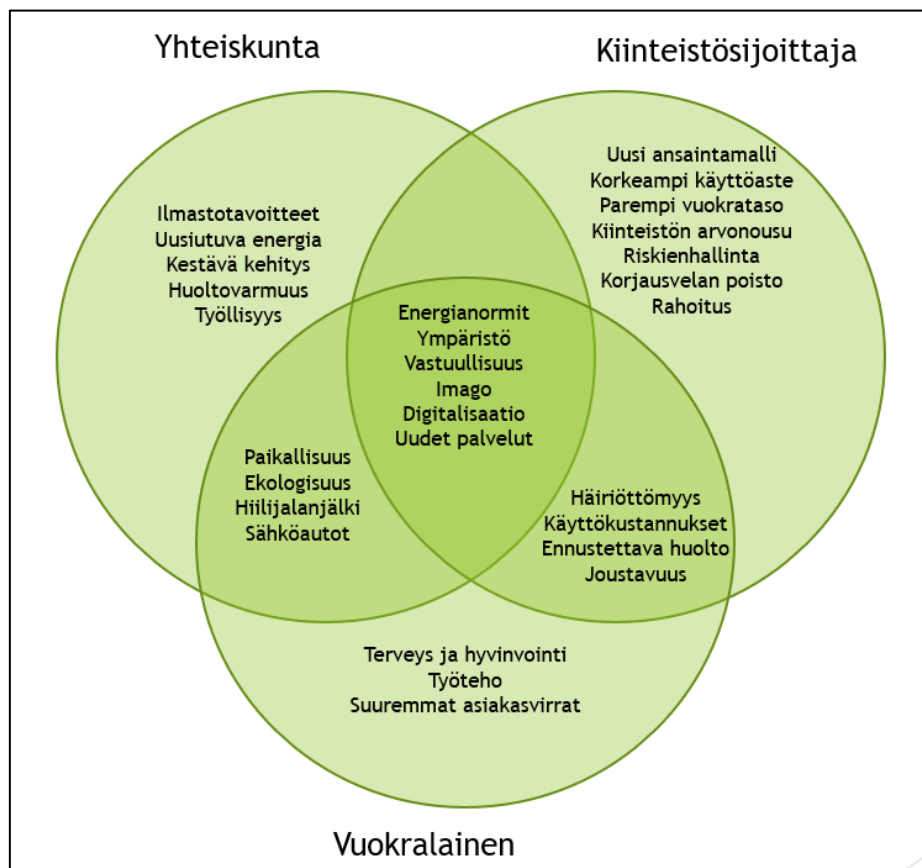
## 6.8 Muut hyödyt

Akustojen käytön avulla kiinteistön ja erityisesti kriittisiä prosesseja sisältävän tuotannon toimintavarmuus nousee uudelle tasolle. Akku varmistaa, ettei sähkökatko pääse yllättämään prosessin kriittisellä hetkellä tai joulumyynnin tärkeimmillä tunteilla. Monissa prosesseissa keskeytys voi tarkoittaa arvokkaiden raaka-aineiden päätymistä jätteeksi ja pitkän jalostuksen aloittamista uudelleen alusta. Näiden tilanteiden välttämiseksi saadaan aikaan todella tuntevia säästöjä.

Virtuaalivoimalaitoksen avulla kiinteistön omistaja pystyy varautumaan tulevaisuuden vaatimuksiin. Digitaalisen alustan avulla kiinteistöön voidaan liittää uusia palveluita, joiden avulla on mahdollista kehittää kiinteistöä muuttuvassa sääntely- ja kilpailuympäristössä.

Myöskään imagohyötyjen merkitystä ei kannata aliarvioida. Virtuaalivoimalaitos tarjoaa kiinteistölle runsaasti positiivista näkyvyyttä, jota voidaan hyödyntää kiinteistön lisäksi myös omistajien yrityskuvan brändäyksessä. Vihreän imagon ja esimerkiksi sähköautojen latauspalvelun yhdistelmällä voidaan saavuttaa tärkeää etua kiristyvässä kilpailussa asiakasvirroista.

Kuvasta 15 voidaan nähdä miten eri sidosryhmät hyötyvät virtuaalivoimalaitoksesta. Monilta osin näiden hyötyjen voidaan todeta olevan useammalle sidosryhmälle yhteisiä.



Kuva 15 Virtuaalivoimalaitos tuottaa sidosryhmilleen arvoa monesta eri näkökulmasta

## 6.9 Virtuaalivoimalaitoksen arvolutaus kiinteistösijoittajalle

Alexander Osterwalder, Yves Pigneur ja Tim Clark julkaisivat vuonna 2010 paljon julkisuutta saaneen kirjansa *Business Model Generation*. Kirjassa esitettiin systemaattinen menetelmä ja työkalut uusien liiketoimintamallien luomiseen ja vanhojen ideoiden kehittämiseen. Vuonna 2014 kirja sai jatkoa ja uudessa teoksessa *Value Proposition Design* tutustutaan tarkemmin yrityksen arvolutausen suunnitteluun arvolutauskanvaksen avulla. (Osterwalder, Smith, Bernarda, & Pigneur, 2014)

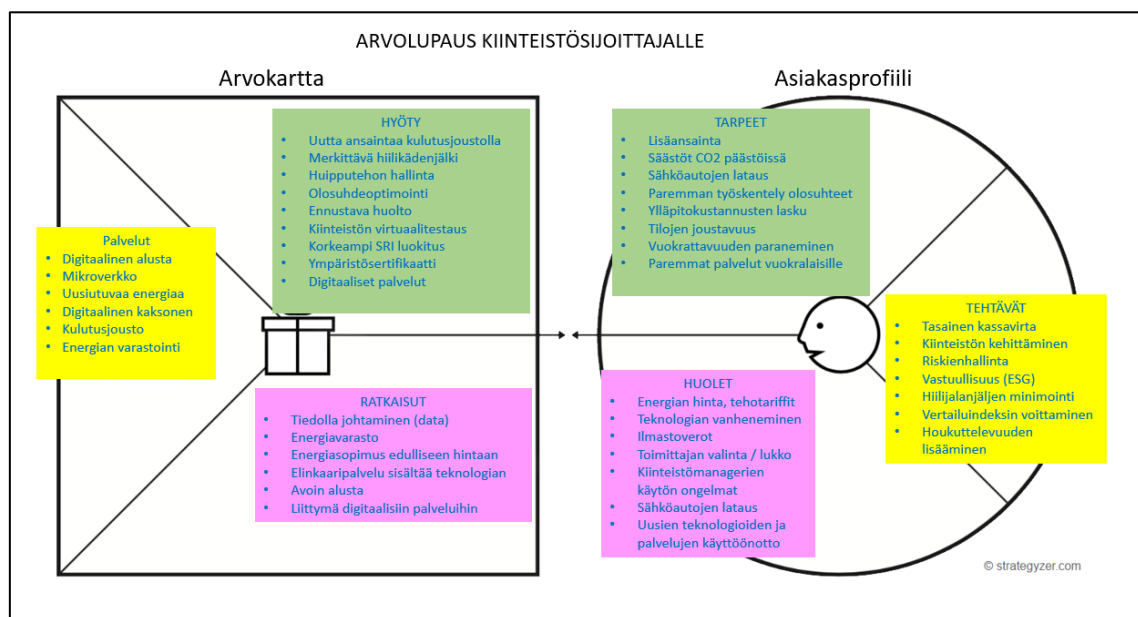
Alkuperäisen liiketoimintasuunnitelman yhdeksästä rakennuspalikasta arvolutausen suunnittelussa syvennyttään ratkaisemaan kahta tarkoitukseen keskeistä osiota eli asiakasprofiilia (*Customer Profile*) ja arvokarttaa (*Value Map*). Mikäli yrityksellä on useita asiakassegmenttejä, tulee jokaista segmenttiä varten laatia oma arvolutauskanvaksensa.

Asiakasprofiili jakaantuu kolmeen osioon. Näistä ensimmäisen tehtävät-osion (*Jobs*) on tarkoitus kuvastaa asioita, joita asiakas haluaa saada tehdyksi tai tavoitteita, joihin hän pyrkii. Huolet-osio (*Pains*) kuvaa niitä ongelmia ja riskejä, joita asiakas kohtaa yrittäessään suorittaa tehtäviään. Kolmas osio, tarpeet (*Gains*), nostaa esille ne odotukset ja tarpeet, joita asiakkaalla on.

Arvokartta on samalla tavoin jaettu kolmeen osioon. Palvelut-osio (*Products and Services*) on yksinkertaisesti listaus yrityksen tuotteen tai palvelun ominaisuuksista. Hyödyt osio (*Gain Creators*) kuvaa miten yrityksen tuote tai palvelu täyttää asiakkaan tarpeita ja odotuksia. Ratkaisut-osiossa (*Pain Relievers*) keskitytään kuvaamaan, miten hyvin tuotteella tai palvelulla onnistutaan ratkaisemaan asiakkaan ongelmia ja hallitsemaan riskejä.

Onnistuneen arvolupauksen kannalta on tärkeää, että asiakkaan kannalta keskeisiin huoliin ja tarpeisiin löytyy arvokartan puolelta vastinpari eli ratkaisu tai hyöty. Mitä tarkemmin ja tehokkaammin tämä yhtälö toteutuu, sitä varmemmalla pohjalla yrityksen arvolupaus asiakkaalle on.

Oheisessa kuvassa 16 on määritelty virtuaalivoimalaitospalvelun arvolupauksen keskeisiä elementtejä. Kaavion perusteella voidaan todeta, että virtuaalivoimalaitos kykenee hyvin vastaamaan asiakasprofiilista johdettuihin tarpeisiin ja huoliin. Käytännön haasteena on tiedon ja ymmärryksen jakaminen oikeille tahoille. Kiinteistöjen osalta virtuaalivoimalaitos ja kulutusjouston hyödyntäminen ovat vasta elinkaarensa alussa, joten viestinnällä on keskeinen merkitys tietoisuuden lisäämisessä. Tehtävää ei helpota erityyppisten energiatehokkuuteen liittyvien palvelujen laaja tarjonta. Kiinteistösijoittajan valintaa mutkistaa vielä parhaan palveluntarjoajan valinta lukuisten erilaisten kokonaisuuksien joukosta.



Kuva 16 Virtuaalivoimalaitoksen arvolupaus kiinteistösijoittajalle

Kiinteistösijoittajille on tärkeää oman sijoitusstrategiansa suunnitelmallinen toteuttaminen. Virtuaalivoimalaitoksen hyödyt saattavat toisen strategian näkökulmasta olla hyvinkin houkuttelevia, mutta joissain tapauksissa projektin hyödyt voidaan oman portfolion osalta kokea vähäisemmiksi. Tällaisessa tilanteessa saatetaan olla esimerkiksi silloin, kun kiinteistöt on vuokrattu pitkillä vuokrasopimuksilla ja vuokralainen on vastuussa energian hankinnasta. Tässä tilanteessa sopimuksen uudistamisen ajankohta voi olla oikea hetki suunnitella virtuaalivoimalaitosratkaisua ja etsiä molemmille osapuolille kannattavaa toimintamallia.

Useimmissa tapauksissa virtuaalivoimalaitoksen mahdollistamat hyödyt ja lisäansainta voidaan kuitenkin hyödyntää suoraviivaisemmin ja se palvelee sekä sijoittajan että vuokralaisen tarpeita.

## 7 CASE–ESIMERKIT JA LASKELMAT

### 7.1 Esimerkki 1 Teollisuusyritys

Kuvitteellisen teollisuusyrityksen kiinteistöautomaatiikka eli tässä tapauksessa valaistus, ilmanvaihto ja lämmitys mahdollistavat 700 kW kulutusjoustokapasiteetin sekä ylös- että alaspäin. Tämän kapasiteetin oletetaan olevan käytettävissä 85 prosenttia ajasta. Tässä esimerkissä teollisuusyritys hankkii kiinteistöautomaation jouston lisäksi palveluna käyttöönsä 5 MW akuston, jonka avulla se pääsee hyötymään Fingridin vakautusreservimarkkinoiden tuotoista ja saavuttaa muita merkittäviä hyötyjä ja säästöjä. Akuston käyttöasteeksi oletetaan 95 prosenttia.

Teollisuusyrityksen kiinteistöautomaatiikan avulla saatava vuosituotto Fingridin taajuuden vakautusreservien tuntimarkkinoilta on noin 180.000 euroa. Tässä esimerkkitapauksessa tuotto saadaan taajuusohjatusta käyttöreservistä (FCR-N) ja taajuusohjatusta häiriöreservistä (FCR-D). Tämän lisäksi 5 MW akustoa hyödyntämällä samoilta markkinoilta on mahdollista saada 840.000 euron vuosituotot.

Kahden edellä mainitun joustomarkkinan lisäksi yritys pystyy toimimaan myös muilla Fingridin markkinoilla kuten automaattisen taajuudenhallinnan markkinalla (aFFR), joka aktivoituu Fingridin tehopyyntösignaalin perusteella. Esimerkissä arvioidaan näiden markkinoiden tuottavan noin 90.000 euroa vuodessa.

Pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt valmistelevat uuden reservituotteen, nopean taajuusreservin (FFR) lanseeraamista vuoden 2020 alussa. Tämän markkinan mahdollisia tuottoja ei ole tässä huomioitu.

Koko järjestelmä eli akusto sekä kiinteistön laitteiden joustot tuottavat Fingridin kulutusjoustomarkkinoiden kautta yhteensä noin 1,1 miljoonaa euroa vuodessa.

Järjestelmällä saadaan myös muita merkittäviä hyötyjä, kuten sähkön hankinnan optimointi Nord Poolin spot-markkinoilta. Teollisuusyrityksen sähkönkulutuksen perusteella voidaan arvioida, että sähkön hankinnan oikealla ajoituksella ja akuston kapasiteettia hyödyntämällä voidaan säästää vuositasolla noin 125.000 euroa.

Kustannussäästöjä on mahdollista saavuttaa myös säätämällä kiinteistöautomaatiikan tehonkäyttöä sähkön spot-hinnan perusteella. Kun energia on edullista, voidaan käyttää suurempia tehoja ja hinnan noustessa vastaavasti vähennetään

kiinteistön laitteiden energian kulutusta. Akustolla voidaan myös korvata vanhoja kondensaattoreita ja säästää niiden ylläpidosta aiheutuneet kustannukset. Teollisuusyrityksen tapauksessa näillä toimilla ja järjestelmän jatkuvalla optimoinnilla kyettäisiin aikaansaamaan arviolta yhteensä 150.000 euron vuosittainen säästö.

Kokonaishyödyt projektista yhteensä / vuosi:

Fingridin markkinoilta	1.100.000 euroa
Kustannussäästöjä	275.000 euroa
Yhteensä	1.375.000 euroa

Esitetyn kaltaisen virtuaalivoimalaitoksen hankkiminen palveluna maksaisi teollisuusyritykselle noin 15.000 euroa/megawatin joustokuorma eli noin 90.000 euroa vuodessa. Akkujen valmistusmäärien kasvu on laskenut niiden hintoja merkittävästi. Vuonna 2019 akustojen kustannukset vaihtelevat skaalassa 500.000 – 700.000 euroa megawattitunnilta, joten esimerkissä käytetyn 5 MW akun hinta olisi noin 2,5–3,5 Meur.

Tämän lisäksi teollisuusyritykselle syntyy muita kustannuksia arviolta 1.200.000 euroa esimerkiksi mikroverkon ja kulutusjoustokyvykkyyden rakentamisesta sekä liittymisestä Fingridin kulutusjoustomarkkinaan.

Tällaisella rakenteella projektin takaisinmaksuaika olisi vain 3–4 vuotta, joten kyseessä olisi erittäin tuottava sijoitus. Kun vielä huomioidaan mahdollisuus hakea TEM tukea älykkääseen energianhallintaan, hankkeen houkuttelevuus kasvaa edelleen.

Teollisuusyrityksen virtuaalivoimalaitoksen avulla saavuttamat hiilidioksidipäästöjen vähennykset 85 prosentin käyttöasteella olisivat tässä esimerkissä kivihiilen käytön mukaan laskettuna 34.800 tCO<sub>2</sub> ja Suomen sähköntuotannon keskiarvoluvuilla 7.000 tCO<sub>2</sub>.

## 7.2 Esimerkki 2 Kauppakeskus

Kuvitteellisen kauppakeskuksen kiinteistöautomaatiojärjestelmä päivitetään uuteen innovatiiviseen ja älykkääseen energiahallintajärjestelmään. Samalla kauppakeskukseen toteutetaan kiinteistöautomaatiojärjestelmän mikroverkko. Mikroverkon avulla kiinteistön oman aurinkovoimalan tuotanto, kulutusjousto, varavoimageneraattorit sekä talotekniikan sähkökuorma voidaan optimoida kantaverkkoyhtiön tarpeiden mukaiseksi. Kokonaisuus rakennetaan siten, etteivät olosuhteet kauppakeskuksessa kuitenkaan havaittavasti heikkene.

Keskeiset uudistukset:

- Kauppakeskuksen taloteknisistä kuormista muodostetaan mikroverkko, jonka joustovara on noin 500 kW sekä ylös että alas.

- Kiinteistöön asennetaan 800 kWp tehoinen aurinkovoimala, joka liitetään osaksi kiinteistön sähköverkkoa.
- Kauppakeskukseen asennetaan 3 MW/3 MWh akkuvarasto, joka on liitetty Fingridin kulutusjoustomarkkinaan ja osaksi kiinteistön sähköverkkoa.
- Myös kiinteistön valaistus muutetaan älykkääksi LED valaistukseksi.

Uudistuksista muodostuu arviolta seuraavanlaiset tuotot:

- 1) Tuotot kulutusjoustomarkkinoilta 685.000 €/vuosi
- 2) Aurinkoenergiajärjestelmän ja valaistuksen säästöt 200.000 €/vuosi

Ansainta yhteensä noin 885.000 €/vuosi

Uudistusten laskennalliset kustannukset vuonna 2019 olisivat arviolta seuraavat:

- 1) 3 MW Sähkövarasto asennettuna ja liitettynä mikroverkkoon 3.000.000 €
- 2) Mikroverkon ja kulutusjoustokyvykkyyden rakentaminen sekä valaistusjärjestelmän uudistus 2.000.000€
- 3) Aurinkovoimala 800 kWp asennettuna 700.000 €
- 4) Palvelu ja ylläpito noin 60.000 €/vuosi

Kauppakeskuksen virtuaalivoimalaitoshankkeen takaisinmaksuajaksi muodostuu noin ilman TEM-tukea noin 7 vuotta. Mikäli oletetaan, että koko hakkeelle myönnettäisiin 30 prosentin tuki, takaisinmaksuaika tässä esimerkissä lyhenisi alle viiteen vuoteen.

Kauppakeskuksen hiilijalanjälki laskisi 85 prosentin käyttöasteella Suomen energiantuotannon keskipäästöjen mukaan laskettuna 4.300 tCO<sub>2</sub>.

## 8 LOPPUPÄÄTELMÄT JA KEHITTÄMISEHDOTUKSET

Virtuaalivoimalaitos on kaupallisena sovellutuksena elinkaarensa alkutaipaleella. Uuden teknologian käyttöönotto ja yleistyminen on aikaa vievä prosessi, joka vaatii muun muassa paljon laadukasta viestintää. Virtuaalivoimalaitoksen hankkiminen investointimallilla tai palveluna herättää kiinteistösijoittajissa monia kysymyksiä. Millaisia odotuksia ja epävarmuuksia kiinteistösijoittajilla on virtuaalivoimalaitoksen hankinnan suhteen?

Suurimmat kiinteistösijoittajien odotukset virtuaalivoimalaitoksen osalta liittyvät hankkeen taloudelliseen kannattavuuteen ja energian käytön optimointiin. Kannattavuuden lisäksi hankkeen odotettiin olevan riittävän suuri, jotta sillä olisi aitoa merkitystä liiketoimintaan. Kulutusjouston mahdollistama uusi ansaintamalli ja lisätynä TEM-tuella herättivät sijoittajien kiinnostusta.

Ilmastonmuutos ja muut megatrendit tuovat uusia haasteita ja mahdollisuuksia rakennuksille ja kiinteistösijoittamiseen. Taloudellisten tekijöiden jälkeen toiselle sijalle odotuksissa nousivatkin virtuaalivoimalaitoksen ympäristöarvot. Hankkeen odotettiin pienentävän kiinteistön hiilijalanjälkeä ja samalla nostavan kiinteistön sekä sen sidosryhmien vihreää imagoa. Ympäristösertifikaattien roolin nähtiin kasvavan tulevaisuudessa myös kotimaisten vuokralaisten ja näiden asiakkaiden parissa.

Kolmas keskeinen odotus on uuden teknologian parempi hyödyntäminen kiinteistössä. Virtuaalivoimalaitokselta toivottiin ratkaisua uusiutuvien energioiden käyttöönottoon, sähköautojen lataukseen ja kiinteistön tehonhallintaan. Myös digitalisaation hyödyntäminen kiinteistöraportoinnissa ja uusien palvelujen liitettävyyden kiinnostivat. Virtuaalivoimalaitoksen toivottiin olevan älykäs digitaalinen alusta, joka liittää kiinteistöt kulutusjoustomarkkinaan, optimoi kiinteistöjen toimintaa ja mahdollistaa liitettävyyden digitaalisiin palveluihin.

Epävarmuudeksi koettiin teknologian nopea vanheneminen ja valinta useiden erilaisten palveluiden sekä palveluntarjoajien välillä. Kiinteistösijoittajia mietitytti myös luvattujen hyötyjen toteutuminen käytännössä. Osa halusi odottaa teknologian vakiintumista ja oppia samalla muiden kokemuksista. Datan hallinnan ketju haluttiin varmistaa ja erityisesti avoimet alustat kiinnostivat sijoittajia. Itse kulutusjoustomarkkina sekä sen kehitys tulevaisuudessa nähtiin epävarmuustekijänä.

Tutkimustulokset ovat työn viitekehyksen suhteen loogisia. Taloudelliset mallit ja yritysten strategioiden pohjalta rakennetut sijoitussuunnitelmat ohjaavat sijoittajien toimintaa ensisijaisesti. Ilmastonmuutoksen ja vastuullisuuden voimakas korostuminen yhteiskunnan kaikilla sektoreilla on kuitenkin noussut toiseksi merkittäväksi ajuriksi myös kiinteistösijoittamisessa. Kiinteistöjen osalta ilmastonmuutoksen torjuminen ja energiamurros nivoutuvat tiukasti yhteen, koska rakennusten energiankulutus on hiilidioksidipäästöjen kannalta merkittävässä roolissa.

Haastatteluissa esille tulleille mielipiteille on selkeät perustelut, jotka voidaan johtaa yritysten strategisista linjauksista. Tietyt strategiat kannustavat johtoa uusien teknologioiden kuten virtuaalivoimalaitospalvelun varhaiseen omaksumiseen ja osa oli kiinnostunut lähtemään mukaan pilotoimaan projekteja jo innovaatiovaiheessa. Toisten yritysten strategia kannusti odottamaan teknologian kypsymistä ja konkreettisia näyttöjä hyödyistä pidemmältä jaksolta.

Varsinaisen läpimurron aikaansaamiseksi virtuaalivoimalaitoskonseptia tulee vielä kehittää selkeämmäksi. Konseptin ansaintalogiikat tulee kyetä kuvaamaan kiinteistösijoittajille läpinäkyvästi ja ymmärrettävästi. Luontevinta olisi, jos virtuaalivoimalaitospalvelu kykenisi yhden luukun periaatteella tarjoamaan kokonaisratkaisun sijoittajan keskeisiin haasteisiin. Saman palvelun ja palveluntarjoajan kautta olisi näin mahdollista saada kulutusjoustopalvelun lisäksi myös kiinteistön tehonhallinta, energian varastointi ja uusiutuvan energian tuotanto sekä



olosuhdeoptimointi. Teknisesti tämä on jo mahdollista, mutta laajempi kaupallinen hyödyntäminen vaatii vielä kehitystyötä.

Kiinteistön tietojen etäluettavuus ja käyttäjäystävällinen räätälöitävä raportointi, jonka voisi tarvittaessa liittää osaksi yrityksen nykyistä raportointijärjestelmää nostaisi virtuaalivoimalaitoksen käytettävyyttä. Uusien digitaalisten palvelujen tarjoaminen saman virtuaalivoimala-alustan kautta lisäisi myös konseptin kiinnostavuutta. Tulevaisuudessa olisikin tärkeää perustaa liiketoimintaa verkostoitumisen ja erityisosaamisen varaan ennemmin kuin pelkästään hinnalla kilpailemiseen. Parhaaseen lopputulokseen päästäisiin suunnittelutoimistojen, teknologian toimittajien, rakennusyhtiöiden ja kiinteistösijoittajien kiinteän yhteistoiminnan avulla jo projektien alusta lähtien.

Potentiaalisina kohteina virtuaalivoimalaitoksille voisivat olla muun muassa kiinteistökohteet, joita on rahoitettu Green Bondien avulla. Green Bond -sijoittajat odottavat kohteiltaan jatkuvasti ilmastoystävällisempää toimintaa. Kun helpoimmat energiaoptimoinnin keinot on käytetty, tarvitaan apuun uusinta teknologiaa ja tässä virtuaalivoimalaitos on kehityksen kärkeä.

Myös Fingridin ylläpitämää kulutusjoustomarkkinaa kehitetään jatkuvasti. Markkinan tunnettuus ja ymmärrys sijoittajien keskuudessa parantuisi, mikäli markkinoiden kaupallista potentiaalia korostettaisiin enemmän ja kuvaukset teknisistä vaatimuksista olisivat pienemmässä roolissa. Myös rahoitusmarkkinoilla vakiintuneet johdannaisinstrumentit olisivat tervetullut lisä hintariskin hallintaan. Mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe voisi tähän liittyen olla kulutusjoustomarkkinan hintojen muutokset erilaisilla tarjonnan kasvuskenaarioilla. Miten pohjoismainen kysyntä vastaisi tarjonnan muutoksiin ja mitkä olisivat suomalaisen kulutusjoustopon hyödyntämisen taloudelliset mahdollisuudet pohjoismaisen markkinan ulkopuolella? Virtuaalivoimalaitoksen avulla ja Fingridin tuella kulutusjoustomarkkinaa olisi mahdollista laajentaa myös energiayhtiöiden suuntaan. Tulevaisuudessa energiayhtiöt voisivat hallita omia energiataseitaan myös kulutusjoustomarkkinan kautta.

Ympäristöystävällisiin energiaratkaisuihin sijoittamiseen erikoistuneiden yhtiöiden etabloituminen Suomen markkinoille ja myös kotimaisten sijoittajien lähteminen mukaan virtuaalivoimalaitoshankkeisiin on kiinnostava aihepiiri. Erityisesti rahoituksen ammattilaisille tämä tarjoaa mahdollisuuden mielenkiintoisten rahoituskokonaisuuksien suunnitteluun. Virtuaalivoimalaitoksen toiminnan optimoimiseksi on tärkeää saada aikaiseksi riittävän suuret sähkövarastot. Akustojen rahoittaminen ja markkinariskin jakaminen yhteistyössä kiinteistön omistajan kanssa luo mahdollisuuden tehdä kaikkien osapuolten näkökulmasta riittävän suuria ja siten mielekkäitä hankkeita.

Päästöjen osalta tulisi virtuaalivoimalalle löytää selkeä standardi, jonka mukaan voimalaitoksen hyödyntämisellä aikaansaadut hiilidioksidisäästöt lasketaan ja voidaan myös jyvittää kiinteistön tai yrityksen päästötaseeseen. Virtuaalivoimalaitoksen avulla on jatkossa mahdollista suoraan osoittaa millaista energiantuo-

tantoa voimalan toiminta milläkin hetkellä korvaa eli millaisilta päästöiltä joustamalla vältytään. Loogista olisikin, että myös hiilidioksidisäästölaskelmat perustuisivat erilaisten keskiarvo- tai maksimipäästöoletusten sijaan virtuaalivoimailaitoksen laskemaan dataan ja kirjanpitoon.

Kiinteistöjen hinnoittelu on ymmärrettävästi hyvin konservatiivinen toimiala. Kassavirtaan perustuvat menetelmät on vahvasti juurrutettu arviomiesten menetelmiksi, mutta uusien ajatusten kuten reaalioptionalyysin nostamista vanhojen menetelmien rinnalle kannattaisi harkita. Uusien menetelmien tuottama informaatio esimerkiksi liitettävyyden ja joustavuuden lisäarvosta voisi edesauttaa sijoituspäätösten tekemistä ja vauhdittaa kiinteistökauppaa. Luultavasti tekoälyn ja laadukkaan datan avulla olisi mahdollista löytää aivan uusia tekijöitä kiinteistöjen arvostuksen tueksi.

## LÄHDELUETTELO

- Aarni, M. (Motiva). (2019). Uusiutuva energia Suomessa. Haettu 30.10.2019 osoitteesta: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/uusiutuva\\_energia\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa)
- Ailisto, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Collin, J., Halen, M., Juhanko, J., ... Uusitalo, T. (2015). Suomi – Teollisen Internetin Piilaakso, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 4/2015. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: [http://www.vttresearch.com/img/Media/News/2015/Suomi\\_Teollisen\\_Internetin\\_Piilaakso.pdf](http://www.vttresearch.com/img/Media/News/2015/Suomi_Teollisen_Internetin_Piilaakso.pdf)
- Alustatalous.fi. (2019). Alustatalous. Haettu 25.9.2019 osoitteesta: <https://www.alustatalous.fi/alustatalous.html>
- Blomqvist, K., Härkönen, J., & Makkonen, T. (2017a). Älykkäät sähköverkot. Haettu 28.1.2020 osoitteesta: <http://www.karelia.fi/mobiilisahkovarastot/wp-content/uploads/2018/04/Alykkaat-sahkoverkot.pdf>
- Blomqvist, K., Härkönen, J., & Makkonen, T. (2017b). Sähkön varastointekniikat- ja markkinat. Haettu 28.1.2020 osoitteesta: <http://www.karelia.fi/mobiilisahkovarastot/wp-content/uploads/2018/02/Sahkon-varastointekniikat-ja-markkinat.pdf>
- Carbon Disclosure Project. (2014). Are You Aligning Your Targets With Climate Science ? Caring for Climate Series. Haettu 28.1.2020 osoitteesta: [https://www.unglobalcompact.org/docs/issues\\_doc/Environment/climate/C4C\\_ClimateScience.pdf](https://www.unglobalcompact.org/docs/issues_doc/Environment/climate/C4C_ClimateScience.pdf)
- Dean, T. (2019). Kestävän kehityksen verouudistus: usein kysyttyjä kysymyksiä. Haettu 27.1.2020 osoitteesta: [https://www.sitra.fi/artikkelit/kestavan-kehitykset-verouudistus-  
usein-kysyttyja-kysymyksia/](https://www.sitra.fi/artikkelit/kestavan-kehitykset-verouudistus-usein-kysyttyja-kysymyksia/)
- Dickerson, Y. A., Drew, D., Joseph, N., Metzger, E., Meyer, A., Northrop, E., ... Geneviève. (2018). The Ambition loop. Haettu 28.1.2020 osoitteesta: <https://static1.squarespace.com/static/5bbe243651f4d40801af46d5/t/5c00266c0e2e728a28cee091/1543513751309/The-Ambition-Loop.pdf%0A>

- Energiateollisuus. (2019). *Vesivoiman merkitys Suomen energijärjestelmälle*. Haettu 28.1.2020 osoitteesta:  
[https://energia.fi/files/3427/Vesivoimaselvitys\\_FINALrev1\\_20190206.pdf](https://energia.fi/files/3427/Vesivoimaselvitys_FINALrev1_20190206.pdf)
- Fingrid. (n.d.). Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito. Haettu 17.1.2020 osoitteesta:  
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/>
- Fingrid. (2017). Olkiluoto 3:n järjestelmäsuoja. Haettu 10.12.2019 osoitteesta:  
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/olkiluoto-3n-jarjestelmasuoja/>
- Fingrid. (2019). Puhtaan energian paketti vahvistaa eurooppalaisten sähkömarkkinoiden toimintaa. Haettu 16.01.2020 osoitteesta:  
<https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2019/puhtaan-energian-paketti-vahvistaa-eurooppalaisten-sahkomarkkinoiden-toimintaa/>
- Forsell, P., Lindh, P., & Vertanen, V. (2019). Kasviuonekaasupäästöt kasvoivat, päästökauppiin ylittyi. Haettu 4.11.2019 osoitteesta:  
[http://tilastokeskus.fi/til/khki/2018/khki\\_2018\\_2019-05-23\\_tie\\_001\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_tie_001_fi.html)
- GBCF. (2019). Ympäristöluokitukset. Haettu 19.01.2020 osoitteesta:  
<https://figbc.fi/ymparistoluokitukset/>
- Hammarberg, V. (3.3.2019). Fortumin Meri-Porin suuren hiilivoimalan tulevaisuus esille kesällä 2020 – Suomen suurin hiilivoimala on vasta käyttökänsä puolivälissä. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: <https://www.satakunnankansa.fi/a/201482865>
- Huhtinen, H. (OP). (2019). Miten pääsen alkuun vastuullisessa sijoittamisessa? Haettu 4.12.2019 osoitteesta: <https://op.media/talous/sijoittaminen/miten-paasen-alkuun-vastuullisessa-sijoittamisessa-lue-asiantuntijan-vinkit-9f4ceef779644c5a95c9fdabe380aefa>
- Ilmasto.org. (2012). Ilmastotieteen kehitys. Haettu 17.01.2020 osoitteesta:  
<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/ilmastotiede/ilmastotieteen-kehitys>
- Jaakkola, H. (2016). Sähkön siirtohinnoittelu tehooperusteiseksi. Haettu 17.01.2020 osoitteesta:  
<https://www.energiauutiset.fi/uutiset/sahkon-siirtohinnoittelu-tehooperusteiseksi.html>
- Janhunen, E. (2018). *Real estate and construction sector investment logic on smart buildings, Master's Thesis*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/34222>
- Janhunen, E., Pulkka, L., Säynäjoki, A., & Junnila, S. (2019). Applicability of the smart readiness indicator for cold climate countries. *Buildings*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://doi.org/10.3390/buildings9040102>
- Kivimaa, P. (2016). Uusi energia- ja ilmastostrategia, energiamurros ja 'luova tuho.' Haettu 7.10.2019 osoitteesta: <http://smartenergytransition.fi/fi/uusi-energia-ja-ilmastostrategia-energiamurros-ja-luova-tuho/>
- Kortelainen, K. (Tekniikka&Talous). (2017). Suomen ensimmäinen kaksisuuntainen latauspiste Suvilahteen – auto voi toimia sähkövarastona. Haettu 1.12.2019 osoitteesta:

<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/suomen-ensimmainen-kaksisuuntainen-latauspiste-suvilahteen-auto-voi-toimia-sahkovarastona/3c73605b-091a-3594-937b-6975bc1b4668>

Krabbe, K. (2019). Mitä tarkoittaa hiilikädenjälki? Haettu 14.11.2019 osoitteesta: <http://www.jateplus.fi/jateplus-1-2019/mita-tarkoittaa-hiilikadenjalki/>

Laakso, S. (2017). *Microgrid as a Power Reserve*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28980/master\\_Laakso\\_Sami\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28980/master_Laakso_Sami_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Laclau, B. (2019). No As the countdown to a new energy world intensifies, who will beat the clock? Haettu 7.10.2019 osoitteesta: [https://www.ey.com/en\\_gl/power-utilities/as-the-countdown-to-a-new-energy-world-intensifies-who-will-beat-the-clock](https://www.ey.com/en_gl/power-utilities/as-the-countdown-to-a-new-energy-world-intensifies-who-will-beat-the-clock)

Leinonen, P. (2018). Mitä on inertia? Haettu 16.11.2020 osoitteesta: <https://www.fingridlehti.fi/mita-on-inertia/>

Lounais-Suomen Ympäristökeskus. (2009). Päätös 5/YVA : Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn soveltaminen. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BED52FB25-4077-4E7D-A0D4-14651CA02B37%7D/72795>

Majanne, Y., Tampereen yliopisto. (2019). Sähköjärjestelmä muutoksessa. Esitys: Teknologiamessut 2019

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal Of Finance, Vol. 7, No. 1. (Mar., 1952), Pp. 77-91., 7(1)*. <https://doi.org/10.1002/9781118267028.ch3>

Motiva.fi. (2019). Valmistaudu kulutusjousto. Haettu 23.09.2019 osoitteesta: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/valmistaudu\\_sahkon\\_kulutusjousto](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/valmistaudu_sahkon_kulutusjousto)

Nappari, A., ABB (2019). Mikroverkot ja akkuvarastoratkaisut tulevaisuuden energijärjestelmien tukena. Esitys: Teknologiamessut 2019

Niemistö, V. (Kaleva). (20.2.2019). Keski-Pohjanmaan litiumkaivos sai ympäristöluvan, kaivos voisi työllistää välillisesti koko maakunnan alueella jopa 500 henkeä. *Kaleva.Fi*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: <https://www.kaleva.fi/uutiset/talous/keski-pohjanmaan-litium-kaivos-sai-ymparistoluvan-kaivos-voisi-tyollistaa-valillisesti-koko-maakunnan-alueella-jopa-500-henkea/815630/>

Nuccitelli, D. (2015). Here's what happens when you try to replicate climate contrarian papers Haettu 17.01.2020 osoitteesta: <https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2015/aug/25/heres-what-happens-when-you-try-to-replicate-climate-contrarian-papers>

Osterwalder, A., Smith, A., Bernarda, G., & Pigneur, Y. (2014). *Value Proposition Design : How to Create Products and Services Customers Want*. John Wiley & Sons, Incorporated.

Pitkänen, M. (2011). Ilmastoneuvottelujen lyhyt historia. Haettu 17.01.2020 osoitteesta: <https://yle.fi/uutiset/3-5456328>

Poussa, L. (Sitra). (2019). Päästökauppa remontissa. Haettu 18.11.2019 osoitteesta:

<https://www.sitra.fi/artikkelit/paastokauppa-remontissa/>

Pöyry. (2017). Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali , kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
[https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/5\\_2017\\_Hajautetun+uusiutuvan+energiantuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+näkymät+Suomessa/f7fa0126-2880-452d-954b-f52ea5f0a9a0?version=1.0](https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/5_2017_Hajautetun+uusiutuvan+energiantuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+näkymät+Suomessa/f7fa0126-2880-452d-954b-f52ea5f0a9a0?version=1.0)

Ramboll. (2019). Tuulivoiman aluetalousvaikutukset. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
[https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/1377-Tuulivoiman\\_aluetalousvaikutukset\\_tyollisyys\\_final.pdf](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/1377-Tuulivoiman_aluetalousvaikutukset_tyollisyys_final.pdf)

Rouse, M. (2019). internet of things (IoT). Haettu 26.09.2019:  
<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>

Saarinen, J. (1/2019). Ensirekisteröinnit 2018: uusien autojen CO2-päästöt alentuneet, mutta tuontiautot nostavat päästökeskiarvoa. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/ensirekisteroinnit-2018-uusien-autojen-co2-paastot-alentuneet-mutta-tuontiautot-nostavat-paastokeskiarvoa/>

Särkilahti, T. (Tekniikka&Talous). (2015). Rakennetun ympäristön megatrendit: niukkenevat varat, tiukkenevat vaatimukset. Haettu 25.11.2019 osoitteesta:  
<https://www.tekniikkatalous.fi/blogit/rakennetun-ympariston-megatrendit-niukkenevat-varat-tiukkenevat-vaatimukset/4c2509b4-94d4-399e-9213-5bfe41061ba9>

Sarvaranta, A. (2010). Selvitys älykkäistä sähköverkoista ja niiden kehityksestä Euroopan unionissa ja Suomessa. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
[https://energia.fi/files/665/Alykkaat\\_sahkoverkot\\_Suomessa\\_ja\\_Euroopassa.pdf](https://energia.fi/files/665/Alykkaat_sahkoverkot_Suomessa_ja_Euroopassa.pdf)

Säynätjoki, A., Janhunen, E., Junnila, S., & Kosonen, R. (2018). RealGO -Voittavat liiketoimintamallit ja talotekniikka digitaalisuuden aikakaudella. Aalto-Yliopiston Julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA, 7/2018. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://aalto.doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/34552/isbn9789526082547.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Seppänen, O. (2018). Rakennusten älyratkaisuvalmiusindikaattori tulee – mikä se on? Haettu 31.08.2019 osoitteesta: <https://sulvi.fi/rakennusten-alyratkaisuvalmiusindikaattori-tulee-mika-se-on/%0A>

Siemens. (2019a). Levin uudet lasikattoiset pyramidit ovat uusimman talotekniikan suunnannäyttäjät - alueelle oma virtuaalivoimalaitos. Haettu 17.12.2020 osoitteesta:  
[https://studio.kauppalehti.fi/siemens/levin-uudet-lasikattoiset-pyramidit-ovat-uusimman-talotekniikan-suunnannayttaja-alueelle-oma-virtuaalivoimalaitos?utm\\_campaign=PostBeyond&utm\\_medium=%23312773&utm\\_source=LinkedIn&utm\\_term=KL+Studio%3A+Levin+uudet+lasi](https://studio.kauppalehti.fi/siemens/levin-uudet-lasikattoiset-pyramidit-ovat-uusimman-talotekniikan-suunnannayttaja-alueelle-oma-virtuaalivoimalaitos?utm_campaign=PostBeyond&utm_medium=%23312773&utm_source=LinkedIn&utm_term=KL+Studio%3A+Levin+uudet+lasi)

Siemens. (2019b). Sello – A shopping center as a virtual power plant. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1562248917.1db66b7c-4d70-4f71-90a8-cdf34ecc58ee.11-schnur-sello-final.pdf>

Siemens. (2019c). Virtuaalivoimalaitos – Kiinteistöt hyötymään sähkömarkkinoista. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: <https://new.siemens.com/fi/fi/yhtio/ajankohtaiset->

teemat/alykas-infrastruktuuri/kiinteistoejen-virtuaalivoimalaitoshanke-lisaae-omistajien-tuot.html

Stulz, R. M. (1995). American Finance Association, Report of the Managing Editor of the Journal of Finance for the Year 1994. *The Journal of Finance*, 50(3), 1013.  
<https://doi.org/10.2307/2329297>

Teknoliateollisuus. (2017). *Sähköautot ja energijärjestelmä*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://youtu.be/hWoNNdQbAo8>

Telia. (2019). KUINKA SUURI DATAN MÄÄRÄN KASVU TULEE OLEMAAN MAAILMASSA IOT:N MYÖTÄ? Haettu 24.09.2019 osoitteesta: [https://www.inmicsnebula.fi/fi/blogi/kuinka-suuri-datan-maaran-kasvu-tulee-olemaan-maailmassa-iotn-myota?language\\_content\\_entity=fi](https://www.inmicsnebula.fi/fi/blogi/kuinka-suuri-datan-maaran-kasvu-tulee-olemaan-maailmassa-iotn-myota?language_content_entity=fi)

Thurén, J. (3.5.2019). Uskoi ilmastonmuutokseen tai ei, siihen kannattaa sijoittaa, sanoo apulaisprofessori. *Helsingin Sanomat*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://www.hs.fi/elama/art-2000006091345.html>

Tieteentermipankki.fi. (2018). micro-grid. Haettu 16.01.2020 osoitteesta:  
[http://tieteentermipankki.fi/wiki/Clean\\_Energy\\_Research:micro-grid](http://tieteentermipankki.fi/wiki/Clean_Energy_Research:micro-grid)

Tilastokeskus. (2016). Maalämmön osuus lämmönlähteenä kasvussa. Haettu 8.12.2019 osoitteesta: [https://www.stat.fi/til/ras/2016/09/ras\\_2016\\_09\\_2016-11-25\\_kat\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/ras/2016/09/ras_2016_09_2016-11-25_kat_001_fi.html)

UusiTeknologia. (2018). Tärkeä opas teollisuuden IoT-tietoturvaan. Haettu 25.09.2019 osoitteesta: <https://www.uusiteknologia.fi/2018/04/04/tarkea-opas-teollisuuden-iot-tietoturvaan/>

Varho, E., & Tebest, T. (2014). Maailma kaupungistuu: Joka vuosi rakennetaan kahdeksan uutta New Yorkia. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: <https://yle.fi/uutiset/3-7226925>

Verbeke, S., Waide, P., Bettgenhäuser, K., Uslar, M., & Bogaert, S. (2018). *Support for setting up a Smart Readiness Indicator for buildings and related impact assessment - executive summary for the final report (study 1)*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
<https://ec.europa.eu/info/news/commission-welcomes-council-adoption-new-energy->

Viestintävirasto. (2017). Vuoden 2016 läpimurto: IoT. Haettu 25.09.2019 osoitteesta:  
<https://legacy.viestintavirasto.fi/kyberturvallisuus/tietoturvanyt/2017/01/ttn201701241501.html>

Vihmo, J. (2019). *Suhdanekatsaus*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
[https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/suhdanekatsaukset/2019/syksy/rt\\_suhdanekatsaus\\_syksy\\_2019\\_net.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/suhdanekatsaukset/2019/syksy/rt_suhdanekatsaus_syksy_2019_net.pdf)

Viitanen, J., Paajanen, R., Loikkanen, V., & Aki, K. (2017). Digitaalisen Alustatalouden Tiekartasto. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:  
[https://www.businessfinland.fi/globalassets/julkaisut/alustatalouden\\_tiekartasto\\_web\\_x.pdf](https://www.businessfinland.fi/globalassets/julkaisut/alustatalouden_tiekartasto_web_x.pdf)

Vimpari, J. (2014). *Is There Hidden Value in Real Estate Investment? Real Options Analysis Provides Rationale to Contingent Investment Decisions*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta:

<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/14716/isbn9789526060088.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Vimpari, J., & Junnila, S. (2017). Evaluating decentralized energy investments: Spatial value of on-site PV electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(November 2016), 1217–1222. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.023>
- Virta.fi. (2018). Termit haltuun: Kaksisuuntainen lataus ja Vehicle-to-Grid. Retrieved December 1, 2019, Haettu 28.01.2020 osoitteesta: <https://www.virta.global/fi/blogi/kaksisuuntainen-lataus-ja-v2g>
- Virtanen, M. J. (2019). Smart Readiness Indicator ( SRI ) kiinteistön älykkyyden mittarina. *Sähköisen Talotekniikan Rakennuttajaseminaari 2019*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: [http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/fi\\_FI/rakennuttajaseminaari/](http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/fi_FI/rakennuttajaseminaari/)
- Vuorinen, T. (2013). *Strategiakirja - 20 työkalua*. Haettu 17.12.2019 osoitteesta: <https://www.ellibslibrary.com/book/978-952-14-2061-0>
- WGBC. (2013). *The Business Case for Green Building: A Review of the Costs and Benefits for Developers, Investors and Occupants*. 124. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/Business\\_Case\\_For\\_Green\\_Building\\_Report\\_WEB\\_2013-04-11-2.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/Business_Case_For_Green_Building_Report_WEB_2013-04-11-2.pdf)
- Williams, J. B. (2014). *The Theory of Investment Value*. [www.bnpublishing.com](http://www.bnpublishing.com).
- Ympäristöministeriö. (2018). IPCC: Ilmasto lämpenee hälyttävällä vauhdilla. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: [https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/ipcc-ilmasto-lampenee-halyttavalla-vauhdilla](https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/ipcc-ilmasto-lampenee-halyttavalla-vauhdilla)
- Zaitsev, A. (2018). Älykäs rakennus nyt ja tulevaisuudessa. *Seskon Kevätseminaari 2018*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: [https://www.sesko.fi/files/902/Alykkaat\\_rakennukset\\_nyt\\_ja\\_tulevaisuudessa\\_-\\_KNX.pdf](https://www.sesko.fi/files/902/Alykkaat_rakennukset_nyt_ja_tulevaisuudessa_-_KNX.pdf)
- Zivot, E. (2011). Factor Models for Asset Returns and Interest Rate Models. *Modeling Financial Time Series with S-PLUS®*. Haettu 28.01.2020 osoitteesta: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-32348-0\\_15](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-32348-0_15)