



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

AKI KORTETMÄKI  
HAJAUTETTUJEN ENERGIARESURSSIEN VAIKUTUS PIENKIIN-  
TEISTÖN SÄHKÖSUUNNITTELUUN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pertti Järven-  
tausta  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
5. joulukuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**Aki Kortetmäki:** Hajautettujen energiaressurssien vaikutus pienkiinteistön sähkösuunnitteluun

Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 90 sivua, 10 liitesivua  
Joulukuu 2018

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Uusiutuvat sähköenergiateknologiat

Tarkastaja: professori Pertti Järventausta

Avainsanat: energiamurros, energianhallinta, HEMS, omatuotanto, sähköauto, kotiakku, kysyntäjousto, smart grid, smart home

Meneillään oleva energiamurros tuo muutoksia koko energiajärjestelmään tuotantolaitoksista loppukäyttäjiiin. Pienkiinteistöjen kohdalla tämä tarkoittaa kokonaan uusia tai muutuneita järjestelmiä ja aiempaa älykkäämpää kuormien hallintaa. Kodin energian- ja tehonhallinta, sähköauton latauslaitteet, sähkön omatuotanto, sähkön varastointi ja erilaiset älykkäät laitteet tuovat mukanaan uusia haasteita niin talotekniikan ammattilaisille, kuin käyttäjille. Tämän työn tarkoitus on tuoda esiin muutokset, joita nämä uudet järjestelmät tuovat kiinteistön talotekniikan suunnitteluun ja sähkökeskusten vaatimuksiin.

Työssä on koostettu alan materiaaleista, messuilta ja haastatteluista kerätty tieto yhteen, sekä havainnollistettu tätä kuvien ja esimerkkien avulla. Moni työssä käsitelty aihe on vielä melko uusi Suomessa, joten tuoreinta tietoa on haettu Saksan vuoden 2018 messuilta, sekä haastatteleamalla eri osa-alueiden kärkeijöitä Suomessa. Näiden oppien pohjalta on koostettu konkreettisia esimerkkejä siitä, mitä eri järjestelmien liittäminen kiinteistöön vaatii.

Työn tärkeimpänä tuloksena on esitetty, miten perinteinen pienkiinteistön sähköverkon suunnittelu on muuttumassa jatkossa. Käyttäjän rooli kasvaa lähivuosina pelkästä kuluttajasta entistä enemmän aktiivisen sähkömarkkinaosapuolen suuntaan. Tämän myötä kiinteistön kuormien hallintaan vaaditaan entistä älykkäämpää ohjausta. Samalla kiinteistön sähköverkkoon liitetään uusia järjestelmiä esimerkiksi sähkön omatuotannon ja varastoinnin myötä. Kaiken tämän hallitseminen vaatii suunnittelijoilta aiempaa enemmän alan osaamista, sekä yhteistyötä eri osapuolien välillä, jotta lopputuloksena syntyy käyttäjää parhaalla tavalla palveleva kokonaisuus. Nämä kokonaisuudet ovat myös aiempaa enemmän riippuvaisia internet-yhteyden ja langattomien tiedonsiirtotapojen toimivuudesta, jonka myötä tietoturvaan ja tiedonsiirtoyhteyksien laatuun on jatkossa panostettava entistä enemmän osana talotekniikan suunnittelua. Lisäksi Suomessa ollaan edelläkävijöitä esimerkiksi seuraavan sukupolven etäluettavien sähkömittareiden ja verkkoyhtiöiden tehomaksupohjaisessa laskutuksessa. Valmiita ratkaisuja ja toimintamalleja ei näiden toteuttamiseen ulkomailla ole tarjolla. Nämä muutokset tarjoavat paljon uutta tutkimus- ja kehitystyötä, sekä erilaisia liiketoimintamahdollisuuksia alan uusille ja vanhoille toimijoille.

## ABSTRACT

**Aki Kortetmäki:** The impact of distributed energy resources on the design of a domestic house electrical engineering

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 90 pages, 10 Appendix pages

December 2018

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

Major: Renewable Electrical Energy Technologies

Examiner: Professor Pertti Järventausta

**Keywords:** energy transition, energy management, HEMS, own production, electric vehicles, home battery, demand response, smart grid, smart home

The ongoing transition in the field of energy affects the entire field from factories to the consumer. When it comes to domestic house, it means entirely new or modified systems and smarter load management than before. Energy- and power management at home, chargers for electric vehicles, self-produced energy, electric storage and smart devices create new challenges not only to the consumers but also to the building services professionals. The aim of this study is to disclose the changes that these new systems bring in to the domestic house electrical engineering and demand in electrical distribution.

The data in this work has been collected from written material, exhibitions and interviews and then demonstrated by pictures and examples. Many of the subjects in this work are still quite new in Finland so most of the latest information is from an exhibition in German 2018 but top Finnish professionals were also interviewed. Based on this information, concrete examples of what is required in order to link different systems to domestic houses have been created.

One of the most important outcomes of this study displays how the planning of electricity network in traditional domestic house will be changing. In the next few years, the role of consumer will grow more into the direction of an active electric market participant. For this reason, there will be a need for smarter home energy management. At the same time, new systems must be connected to the household in the form of self-produced energy and electricity storages.

Previous knowledge and collaboration between different parties is needed so that the result will be the best possible for the user of this ensemble. These ensembles are also more dependent of internet connection and wireless communication, so information security and quality of communication lines must be in part of the building service designing.

In addition, Finland is a forerunner for example in the next generation's AMR-meters and power-based distribution tariffs in households. There are no ready solutions and operating models to implement on abroad. These changes offer a lot of new research- and development work and many business opportunities for different fields in the industry.

## ALKUSANAT

Tämä työ sai alkunsa alan eri tahojen yhteisestä tarpeesta saada tarkempi tieto muuttuneen toimiympäristön käytännön toteutustavoista ja siitä, miten tätä voitaisiin vakioiduilla ratkaisuilla edistää. Työ on ohjannut viimeisen vuoden aikana useille alan tapahtumille, yritysvierailuille, puhelinpalavereille ja sähköpostien vaihtoon. Tämän myötä on ollut ilo tutustua ja vaihtaa ajatuksia monien alan toimijoiden kanssa, jonka seurauksena ymmärrys alasta on kehittynyt huomattavasti. Toivon näiden ajatusten siirtyneen myös paperille mahdollisimman luettavaan muotoon, jotta nämä arvokkaat opit olisi mahdollista siirtää koostetusti eteenpäin lukijalle.

Kiitos professori Pertti Järventaustalle erittäin hyvin hoidetusta työn ohjaamisesta ja tarkastamisesta. Kiitos myös koko TAMK:n talotekniikan henkilökunta, joka on ollut työn aikana aina tarvittaessa ohjaamassa ja tukemassa. Lisäksi iso kiitos kaikille työssä toimineille yhteistyökumppaneille. Tämä työ on vaatinut kymmeniä henkilötyötunteja alan ammattilaisilta, jotka ovat uhranneet omaa työaikaansa jakaakseen osaamistaan allekirjoittaneelle. Ja lopuksi vielä iso kiitos perheelleni ja lähipiirilleni, jotka ovat kannustaneet ja tukeneet minua koko opintojeni ajan tähän pisteeseen.

Tampereella, 04.11.2018

Aki Kortetmäki

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Älykäs sähköverkko eli smart grid.....	2
1.2	Työn tavoitteet.....	6
2.	ENERGIAJÄRJESTELMÄN NYKYTILANNE .....	8
2.1	Kysyntäjousto.....	8
2.2	Pienkiinteistön sähköverkon rakenne.....	14
2.3	AMR-mittari ja sen ominaisuudet.....	16
2.4	SLY-kytkentä .....	20
2.5	Kodin varaavat järjestelmät.....	22
2.5.1	Varaavat rakenteet ja lämminvesivaraaja .....	23
2.5.2	Kotiakku.....	24
2.5.3	Sähköauton hyödyntäminen.....	27
2.6	Home Energy Management System .....	30
2.7	Yhteenveto nykytilanteen haasteista .....	32
3.	JÄRJESTELMIEN TOIMINNALLISUUDET JA KYTKENTÄ .....	34
3.1	Ohjattavat kuormat.....	34
3.1.1	Tiedonsiirto eri järjestelmien välillä .....	34
3.1.2	Lämminvesivaraaja .....	36
3.1.3	Varaavat ja suorat lämmitysjärjestelmät .....	38
3.1.4	Maalämpöpumput .....	39
3.1.5	Ilmalämpöpumput .....	41
3.1.6	Kiuas .....	42
3.1.7	Muut ohjattavat laitteet ja kuormat .....	42
3.2	Aurinkopaneelit.....	43
3.2.1	Invertterin toiminta ja mahdollisuudet.....	44
3.2.2	Mittaus ja rajapinnat.....	47
3.2.3	Invertterin asennus .....	48
3.3	Sähköautojen lataus.....	49
3.3.1	Latauslaitteet ja niiden kytkentä .....	52
3.3.2	Mittaus ja rajapinnat.....	53
3.3.3	Smart charging .....	55
3.4	Kotiakut.....	57
3.4.1	Invertterin ominaisuudet .....	58
3.4.2	Akkujen turvallisuus .....	59
4.	SÄHKÖKESKUKSIEN VAATIMUKSET JATKOSSA .....	62
4.1	Uusien mittauskeskusten varustelu .....	63
4.1.1	Mittauskeskuksen tilavaraukset .....	63
4.1.2	Mittauskeskuksen liitännät.....	64
4.2	Uusien ryhmäkeskusten varustelu.....	65
4.2.1	Ryhmäkeskusten tilavaraukset.....	65

4.2.2	Ryhmäkeskusten kuormien ryhmittely ja ohjaus .....	66
4.2.3	Ryhmäkeskusten liitännät .....	66
4.3	Kaapelointi keskusten välillä .....	67
4.4	Muutostyöt vanhoissa kohteissa.....	68
4.4.1	Aurinkopaneelin ja kotiakun lisääminen.....	68
4.4.2	Latauslaitteen lisääminen .....	69
4.4.3	HEMS-järjestelmä ja mittaus .....	69
4.4.4	Lämmityskuormien ohjaaminen .....	70
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	72
5.1	Energiamurroksen vaikutus pienkiinteistöön .....	72
5.2	Muutokset kiinteistön sähköverkon suunnitteluun.....	74
5.3	Kiinteistön energianhallinta .....	75
5.4	Kiinteistön ohjausratkaisut osana talotekniikan suunnittelua .....	77
5.5	Dokumentointi.....	78
5.6	Uusimmat julkaisut energiamurroksen kiihdyttäjinä .....	79
5.7	Työn tavoitteiden toteutuminen ja tarpeet jatkotutkimuksille.....	81
	LÄHTEET.....	85

LIITE A: CASE OPTIWATTI (TEHTY HAASTATTELUIJEN POHJALTA)

LIITE B: CASE THERE CORPORATION (TEHTY HAASTATTELUIJEN POHJALTA)

LIITE C: CASE GREEN ENERGY FINLAND (TEHTY HAASTATTELUIJEN POHJALTA)

LIITE D: LATAUSLAITTEEN KONTAKTORIOHJAUS KIUASRISTEILYLLÄ

LIITE E: LATAUSLAITTEEN OHJAUS KÄRKITIEDOLLA

LIITE F: LATAUSLAITTEEN OHJAUS VALVONTARELEELLÄ

LIITE G: AURINKOPANEELIN INVERTTERIN KYTKENTÄ MITTAUSKESKUKSEEN JA OHJAUS ASETELTAVALLA KÄRKITIEDOLLA

LIITE H: AURINKOPANEELIN INVERTTERIN KYTKENTÄ RYHMÄKESKUKSEEN JA OHJAUS ASETELTAVALLA KÄRKITIEDOLLA

LIITE I: KOTIAKUN INVERTTERIN KYTKENTÄ SAAREKEKÄYTTÖMAHDOLLISUUDELLA

LIITE J: LÄMMINVESIVARAAN OHJAUS FRONIUS OHMPILOT-LAITTEELLA

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Sähköverkko ennen, nyt ja tulevaisuudessa (IEA 2011).....</i>	<i>3</i>
<b>Kuva 2.</b>	<i>Älyverkkojen tulevaisuus Suomessa (Älyverkkotyöryhmä 2016).....</i>	<i>4</i>
<b>Kuva 3.</b>	<i>Home energy management system (Zhou et al. 2016).....</i>	<i>5</i>
<b>Kuva 4.</b>	<i>Tuotantomuotojen ajojärjestys, hinnan muodostuminen ja kysyntäjousto (Honkapuro &amp; Auvinen). ....</i>	<i>9</i>
<b>Kuva 5.</b>	<i>Omakotitalojen kuormapotentiaalit (Palola et al. 2016). ....</i>	<i>10</i>
<b>Kuva 6.</b>	<i>Eri markkinaosapuolien näkemykset kysynnän joustoon ja hajautettuun tuotantoon (Järventausta et al. 2015). ....</i>	<i>11</i>
<b>Kuva 7.</b>	<i>Aggregaattori yhdistää useamman asiakkaan kulutuksen, tuotannon ja varastoinnin ohjauksen isommaksi kokonaisuudeksi (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018). ....</i>	<i>12</i>
<b>Kuva 8.</b>	<i>Kysyntäjoustop eri markkinapaikat (Fingrid). ....</i>	<i>13</i>
<b>Kuva 9.</b>	<i>Esimerkit seinälle ja pihalle asennettavista mittauskeskuksista. ....</i>	<i>14</i>
<b>Kuva 10.</b>	<i>Sähköverkon rakenneosat. ....</i>	<i>15</i>
<b>Kuva 11.</b>	<i>Energiamittareiden eri tiedonsiirtotavat (Energiateollisuus 2016). ....</i>	<i>17</i>
<b>Kuva 12.</b>	<i>Mittausmenetelmien vertailu. ....</i>	<i>19</i>
<b>Kuva 13.</b>	<i>Esimerkki omakotitalon sähkölämmityksen vakiokytkennästä (SLY 1.2) (Järventausta et al. 2015). ....</i>	<i>21</i>
<b>Kuva 14.</b>	<i>SLY1.3 kytkentäyksikkö (ABB).....</i>	<i>22</i>
<b>Kuva 15.</b>	<i>Litiumioniakun ennustettu hintakehitys (Lazard 2017).....</i>	<i>25</i>
<b>Kuva 16.</b>	<i>Kotiakun nettohyötyarvo yhdessä aurinkopaneelien kanssa Suomessa (Kuleshov et al. 28.09.2018).....</i>	<i>26</i>
<b>Kuva 17.</b>	<i>Kotiakun mahdollistama säästöpotentiaali yhdessä tehopohjaisen siirtomaksun ja spot-hintaan perustuvan sähköenergian hinnan kanssa (Koskela et al. 2018).....</i>	<i>27</i>
<b>Kuva 18.</b>	<i>Sähköautojen ja ladattavien hybridien määrä Suomessa 2012-2017 (Trafi 2018). ....</i>	<i>28</i>
<b>Kuva 19.</b>	<i>Esimerkkimallinnus miljoonan ladattavan hybridin vaikutuksesta Suomen sähkötehoon vuorokauden eri tunneilla (Rautiainen 2015). ....</i>	<i>29</i>
<b>Kuva 20.</b>	<i>Verkon syöttöön kykenevän PHEV:n toiminta osana Green Campus-projektin älyverkkoa (Makkonen et al. 2014). ....</i>	<i>30</i>
<b>Kuva 21.</b>	<i>Ohjaustiedon välityspeiraatteet kiinteistön kuormien ohjauksessa (Järventausta et al. 2015).....</i>	<i>32</i>
<b>Kuva 22.</b>	<i>Järjestelmien välisen tiedonsiirron eri toteutustavat. ....</i>	<i>35</i>
<b>Kuva 23.</b>	<i>EEBusin kanssa yhteistyössä toimivat yritykset (SMA).....</i>	<i>36</i>
<b>Kuva 24.</b>	<i>Suomessa myytyjen lämpöpumppujen määrä (SULPU 2017).....</i>	<i>39</i>
<b>Kuva 25.</b>	<i>Maalämpöpumpun vaihekohtainen kuormanhallinta virtamuuntajilla (Nibe 2018).....</i>	<i>41</i>
<b>Kuva 26.</b>	<i>Kodin tekniikan ohjaaminen olemassa olevaa sähköverkkoa hyödyntäen PLC-tekniikalla (Smartechno). ....</i>	<i>43</i>

<b>Kuva 27.</b>	<i>Maksimitehopisteen sijainti virta-jännite-käyrässä eri säteilyvoimakkuuksilla (Mayfield 2012).....</i>	<i>45</i>
<b>Kuva 28.</b>	<i>10 paneelin järjestelmän teho-jännite-käyrät maksimitehopisteineen, kun osa paneeleista altistuu varjostukselle (300 W/m<sup>2</sup>).....</i>	<i>46</i>
<b>Kuva 29.</b>	<i>Lataustavat ja osien määrittely (Phoenix contact).....</i>	<i>50</i>
<b>Kuva 30.</b>	<i>Euroopassa käytössä oleva tyyppin 2 pistoke (Mennekes).....</i>	<i>51</i>
<b>Kuva 31.</b>	<i>Lataustavat eri maissa (Phoenix contact).....</i>	<i>52</i>
<b>Kuva 32.</b>	<i>Yksinkertainen periaatekuva huipputehon hallinnasta kotiautomaation avulla (Rautiainen 2015).....</i>	<i>55</i>
<b>Kuva 33.</b>	<i>Latausvirran dynaaminen säätö.....</i>	<i>56</i>
<b>Kuva 34.</b>	<i>Keskusten mahdolliset tilavaraukset ja kaapelointitarpeet.....</i>	<i>63</i>
<b>Kuva 35.</b>	<i>Jakelumuuntajien suhteellinen kuormitusaste eri ohjaustavoilla (Honkapuro et al. 2017).....</i>	<i>73</i>
<b>Kuva 36.</b>	<i>Informaation kulku energianhallintajärjestelmään liitetyssä ympäristössä.....</i>	<i>76</i>
<b>Kuva 37.</b>	<i>IPCC:n raportin tulokset ohjaavat nopeisiin ja radikaaleihin muutoksiin maapallon lämpenemisen rajoittamiseksi 1,5 asteeseen (Ilmasto-opas).....</i>	<i>79</i>
<b>Kuva 38.</b>	<i>Kodin hallintajärjestelmä nyt ja tulevaisuudessa.....</i>	<i>81</i>
<b>Kuva 39.</b>	<i>Älyverkkotyöryhmän ehdotuksien toteutusjärjestys.....</i>	<i>81</i>
<b>Kuva 40.</b>	<i>Kuluttajalle syntyvät säästöt kustannuksissa energian- ja tehonhallinnan avulla.....</i>	<i>83</i>



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AMR	engl. Automatic Meter Reading, etäluettava sähkömittari
AMR 2.0	uuden sukupolven etäluettava sähkömittari
BACS	engl. Building Automation and Control System, kiinteistöautomaatiojärjestelmä
DR	engl. Demand Response, kysyntäjousto
DALI	engl. Digital Addressable Lighting Interface, valaistuksen digitaalinen ohjausväylä
EEBus	avoin tiedonsiirtoprotokolla
EV	engl. Electric Vehicle, sähköauto
HBES	engl. Home and Building Electronic System, kotiautomaatiojärjestelmä
HEMS	engl. Home Energy Management System, kodin energianhallintajärjestelmä
ILP	ilmalämpöpumppu
IPCC	engl. Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitusten välinen ilmastopaneeli
IEA	engl. International Energy Agency, kansainvälinen energiajärjestö
KNX	kansainvälinen väyläpohjainen kiinteistöautomaatiostandardi
LUT	Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Modbus	sarjaliikenneprotokolla
MLP	maalämpöpumppu
PILP	poistoilmalämpöpumppu
PHEV	engl. Plug-in Hybrid Electric Vehicle, ladattava hybridisähköauto
PV	engl. Photovoltaic, aurinkosähkö
RCD	engl. Residual-current device, vikavirtasuojaja
SG	engl. Smart Grid, älykäs sähköverkko
SLY	Sähkölaitosyhdistys
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto
VILP	vesi-ilmalämpöpumppu
WLAN	engl. Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
ZigBee	lyhyen kantaman langaton tietoliikenneverkko

# 1. JOHDANTO

Maailman päättäjät ovat selvien faktojen edessä heränneet fossiilisten polttoaineiden ja ilmastonmuutoksen tuomiin ongelmiin. Tämän seurauksena Yhdistyneiden Kansakuntien alaisuudessa syntyi vuonna 1992 voimaan tullut puitesopimus (UNFCCC), johon lisättiin Kioton pöytäkirja myöhemmin vuonna 1997. Tämän pöytäkirjan allekirjoitti yhteensä 184 maata. Vuonna 2015 syntyi tälle jatkoa, kun Pariisissa pidetyssä YK:n 21. ilmasto-kokouksessa sovittiin uusimmasta ilmastopimuksesta. Tämä sopimus linjaa uudet tavoitteet vuodesta 2020 eteenpäin. Sopimuksen myötä lähes kaikki maailman maat ovat sitoutuneet toimiin ilmastonmuutoksen torjumiseksi (Ympäristöministeriö 2016).

Ilmastopimusten myötä alueelliset tahot ovat alkaneet toteuttaa osaansa asettamalla omia energia- ja ilmastotavoitteita. Suomen näkökulmasta merkittävimmät ovat EU:n energiatavoitteet, joiden pohjalta on luotu omat kansalliset tavoitteet seuraaville vuosikymmenille. EU:n tavoitteet vuodelle 2020 ovat vähentää kasvihuonepäästöjä 1990 tasosta ainakin 20 prosenttia, nostaa uusiutuvien energialähteiden osuutta 20 prosenttiin, sekä parantaa energiatehokkuutta 20 prosenttia (Euroopan komissio 2014). Suomen tasolla tästä vastaa Työ- ja elinkeinoministeriö, joka julkaisi uusimman energia- ja ilmastostrategiansa 2016. Tällä strategialla linjataan toimet, joilla EU:n ja Suomen omat tavoitteet saavutetaan vuoteen 2030 saakka. Tavoitteeksi on asetettu 250 000 sähkökäyttöistä ja 50 000 kaasukäyttöistä autoa. Lisäksi kivihiilen käytöstä energiantuotannossa pyritään pääsemään muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta eroon. Biopolttoaineen osuutta liikennekäytössä taas pyritään nostamaan 30 prosenttiin kokonaiskulutuksesta. Myös joustavuutta sähkön kysynnän ja tarjonnan välillä pyritään lisäämään. Näiden lisäksi vuoteen 2020 mennessä järjestetään tarjouskilpailu uusiutuville sähkön tuotantomuodoille, joiden perusteella seuraavia tukia myönnetään (M Laihanen et al. 2016; TEM 2017).

Kun uusiutuvan ja hiilidioksidivapaan tuotannon osuus kasvaa, se tuo mukanaan uusia vaatimuksia myös koko sähköverkon toiminnalle. Tähän mennessä sähkön tuotannosta ovat vastanneet pääosin turbiinin välityksellä generaattoria pyörittävät voimalaitokset. Sähköverkon taajuus heijastaa tällöin näiden turbiinien ja generaattoreiden pyörimisnopeutta. Kulutuksen lisääntyessä turbiinien pyörintänopeus hidastuu ja tämä toimii signaalina sille, että tuotantoa tulee lisätä. Perinteisesti sähköverkon tasapaino on perustunut taajuuden muutoksen perusteella tehtävään tuotannon joustoon. Isojen ja suuren massan omaavien turbiinien pyöriessä voimalaitoksissa suurella nopeudella, syntyy taustalle merkittävästi niin sanottua inertiaa, eli hitausmomenttia. Inertia toimii verkossa tietynlaisena puskurina, jolloin verkon kuormituksen pienet muutokset eivät juurikaan vaikuta näiden

pyörivien turbiinien nopeuteen. Tällä verkossa olevalla inertialla pystytään siis vastaamaan tuotannon ja kysynnän välisen tasapainon hienosäädöstä, jolloin tarve hyvin nopeasti reagoivalle säätövoimalle on vähäisempää.

Uusiutuvan energian lisääntyessä, myös sääriippuvaiset tuotantomenetelmät, kuten tuuli- ja aurinkovoima alkavat näyttäytyä entistä suuremmassa roolissa. Suomessa tuulivoiman kapasiteetti on viime vuosina kasvanut noin kolmanneksen vuodessa. Samaan aikaan aurinkovoimaan perustuva sähköntuotanto on kaksinkertaistunut vuosittain (TEM 2017). Työ- ja elinkeinoministeriön tekemän, eri lähteiden mallinnuksiin perustuvan tarkastelun mukaan sääriippuvaisilla tuotantomuodoilla on merkittävän iso rooli tulevaisuuden sähköntuotannossa (TEM 2016). Nämä sääriippuvaiset tuotantomuodot tuovat mukanaan haasteen sekä tuotannon jouston, että verkossa olevan inertian osalta. Tuuli- ja aurinkovoimaa on tarjolla silloin, kun sääolosuhteet sen sallivat. Tällöin nykyisestä poiketen kysynnän lisäksi myös tuotanto vaihtelee säästä riippuen. Näillä tuotantomuodoilla ei ole myöskään tarjota vastaavaa inertiaa kuin höyry- tai kaasuturbiineilla, jolloin tuotannon ja kulutuksen tulee täsmätä joka hetki entistä tarkemmin. Tulevaisuuden sähköntuotanto vaatii osakseen joustavampaa tuotantoa, kuluttajien tarjoamaa kysyntäjoustoa, energian varastointia sekä toimivia sähkömarkkinoita (TEM 2016). Jotta tämä kaikki pystyisi toimimaan integroidusti yhdessä, tulee sähköverkon kommunikoida nykyistä tehokkaammin eri suuntiin. Tarvitaan siis älykäs sähköverkko.

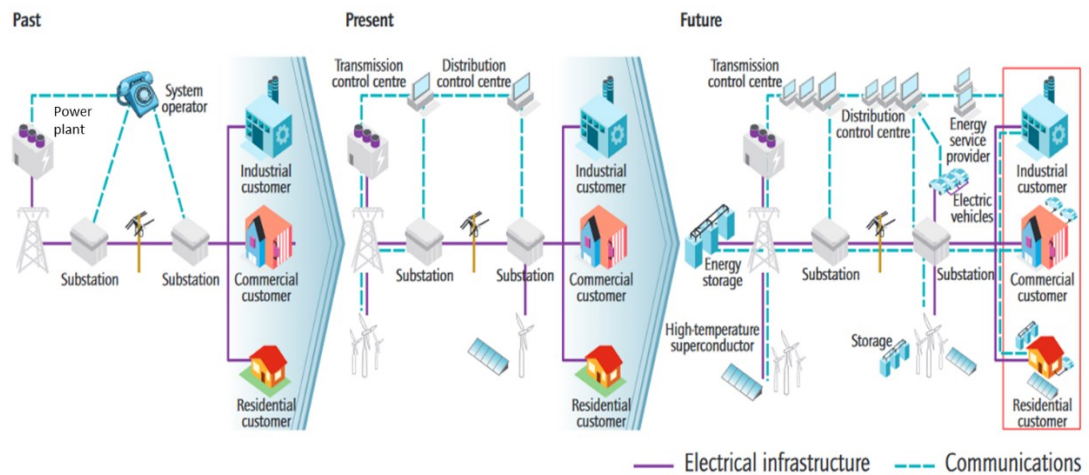
## 1.1 Älykäs sähköverkko eli smart grid

Energiajärjestelmä kokee tällä hetkellä isoa murrosvaihetta. Tämän myötä alalla tulee vastaan monenlaisia älykkäitä versioita perinteisistä sähkölaitteista ja -järjestelmistä. Eniten näistä näkyvillä on ollut älykäs sähköverkko eli smart grid. Tämän lisäksi vastaan saattaa tulla käsitteinä esimerkiksi älykkäät kodit, älykkäät yksittäiset kodin laitteet tai sähköautojen yhteydessä käytetty älykäs lataus.

Smart grid, kuten muutkin älykkäät ratkaisut, saattaa kuulostaa tietyltä standardilta tai tuotteelta. Todellisuudessa erilaiset älykkäät järjestelmät ovat enemmän visioita siitä, miten kyseisen järjestelmän tulisi toimia. Näille on tahosta riippuen hieman erilaisia tulkin-toja. Kaikissa järjestelmissä älykkyyden voidaan kuitenkin nähdä tarkoittavan sitä, että eri osapuolet ovat fyysisen liitännän lisäksi yhteydessä myös kahteen suuntaan tapahtuvalla tiedonsiirrolla. Kokonaisuuden eri osapuolet vaihtavat informaatiota omasta tilastaan muille, jolloin osapuolet pystyvät optimoimaan oman toimintansa osana isompaa kokonaisuutta.

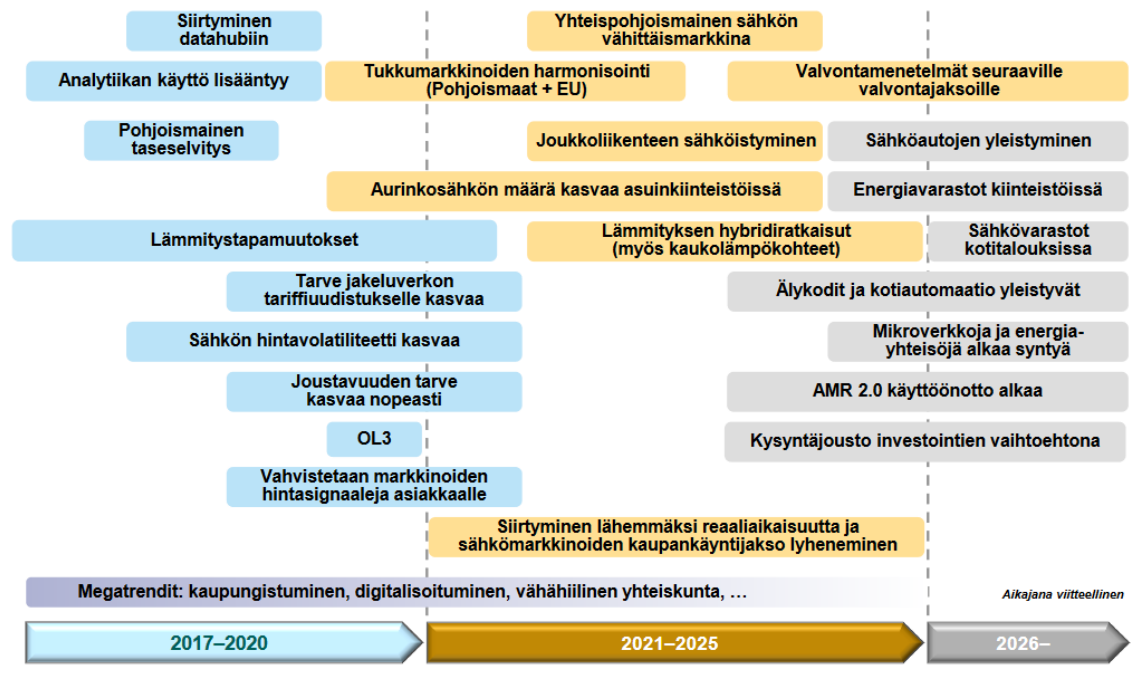
Smart grid eli älykäs sähköverkko on kokonaisuus, jonka visiona on yhdistää sähköverkkojen kaikki osapuolet fyysisen yhteyden lisäksi myös tiedonsiirron tasolla. The International Energy Agency (IEA) määrittelee älykkään sähköverkon verkoksi, joka käyttää digitaalisia ja muita edistyksellisiä teknologioita seurataksaan ja hallinnoidakseen tuotantoa

ja siirtoa eri lähteistä loppukäyttäjien vaihteleviin tarpeisiin. Tällaisen älykkään verkon tulisi koordinoita kaikkien tuotantolaitosten, verkko-operaattoreiden, loppukäyttäjien sekä sähkömarkkinoiden tarpeita mahdollisimman tehokkaasti. Samalla verkon tulisi minimoida kustannukset ja ympäristövaikutukset sekä maksimoida järjestelmän luotettavuus ja kestävyys (IEA 2011). Kuvassa 1 on havainnollistettu, miten sähköverkon rakenne on muuttunut tähän mennessä ja miten Smart Grid muuttaa sitä tulevaisuudessa.



**Kuva 1.** Sähköverkko ennen, nyt ja tulevaisuudessa (IEA 2011).

Suomessa työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) asetti vuonna 2016 erillisen työryhmän selvittämään älyverkkojen mahdollisuuksia Suomessa. Työryhmän loppuraportti ”Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä” julkaistiin lokakuussa 2018. Työryhmän tavoitteena on esittää älyverkkovisio vuodelle 2025 ja ehdottaa konkreettisia toimia siihen, miten älyverkkoympäristö mahdollistetaan. Kuvassa 2 on havainnollistettu älyverkkotyöryhmän näkemys siitä, miten lähitulevaisuudessa verkon tulee palvella eri osapuolia (Älyverkkotyöryhmä 2016).



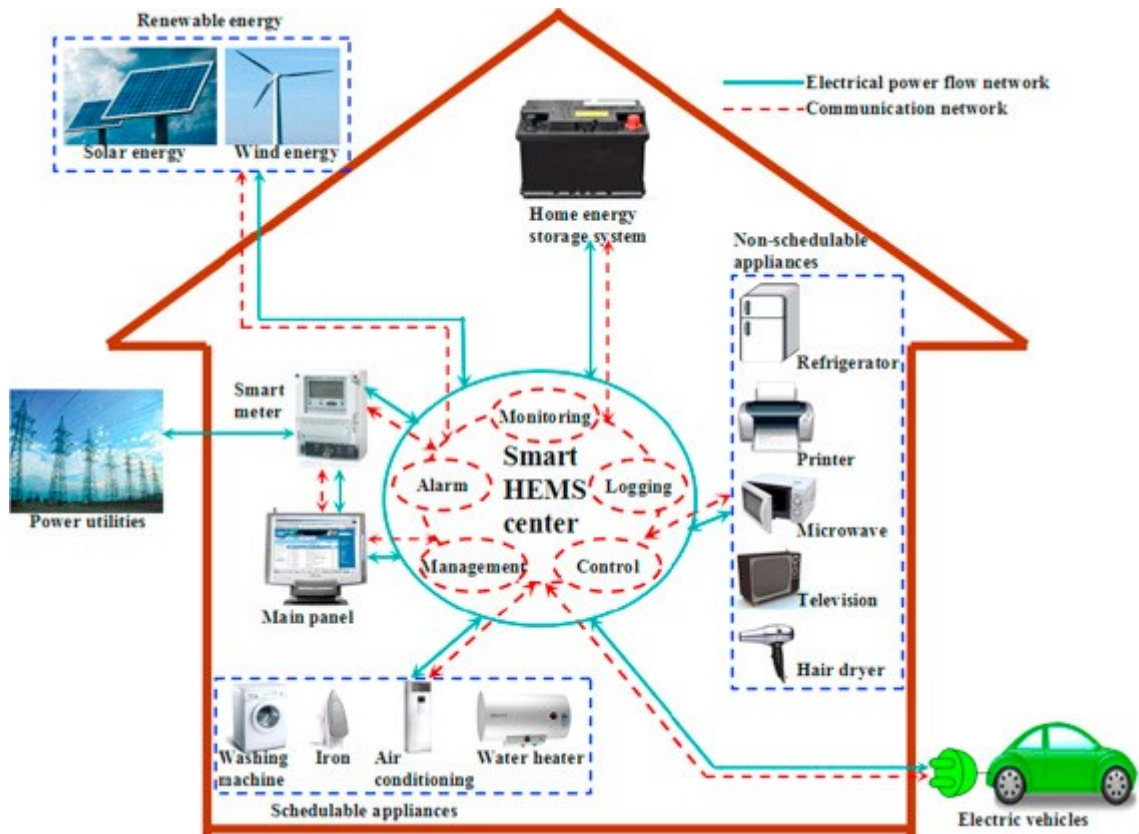
**Kuva 2.** Älyverkkojen tulevaisuus Suomessa (Älyverkkotyöryhmä 2016).

Kuva havainnollistaa, miten moni eri osapuoli energiatoimialalla on tällä hetkellä tai lähitulevaisuudessa ison muutoksen edessä. Yhtenä osana tulevaa älykästä sähköverkkoa on entistä älykkäämmät rakennukset. Tällä hetkellä tavallinen kuluttaja on asunnossaan nimensä mukaisesti pääasiassa kuluttaja. Esimerkiksi sähkölämmitteisen asunnon ainoa älykkyys saattaa olla, että verkkopalvelumaksu perustuu yö- ja päivätariffin hintaan, jolloin varaavat lämmitykset ja lämminvesivaraaja ohjataan päälle halvemmilla yön tunneilla. Lisäksi kiinteistön maksimitehoa on saatettu rajoittaa ns. kiuasristeilyllä, jolloin osa lämmityksestä kytkeytyy pois päältä kiukaan lämmitessä. Muuten käyttäjällä on monesti kiinteä vähittäismyyjän sähköenergian hinta ja kulutus tapahtuu pääosin manuaalisesti ohjattuna tarpeen mukaan (DR pooli 2015).

Älykkään sähköverkon myötä avautuu mahdollisuuksia myös tavalliselle kuluttajalle. Sääriippuvaisen tuotannon lisääntyessä mukaan tarvitaan entistä enemmän sähkön varastointia, hajautettua tuotantoa sekä kulutuksen joustoa. Jo nykyisin tavallisella kuluttajalla voi olla kiinteistöstään omaa tuotantoa aurinkovoiman tai pientuulivoimalan muodossa. Tätä on saatettu tukea erillisen kotiakun avulla. Käyttäjällä voi olla myös sähköauto (EV) tai ladattava hybridi (PHEV), jonka lataus on merkittävä uusi kuorma pienkiinteistön tasolla. Kohteessa saattaa myös olla erillinen ohjausjärjestelmä, joka pyrkii kolmannen osapuolen ohjaamana optimoimaan isoimpia kulutuksia halvimmille ajankohdille sähkön tuntihintaan perustuen. Tällaisten ratkaisujen lisääntyessä tulevaisuuden älykkäät sähköverkot saavat reservikseen kuluttajien taholta todella ison joustovaran sääriippuvaisen tuotannon rinnalle. Samalla aukeaa uusia ansainta- ja säästämahdollisuuksia tavallisille kuluttajille tai ohjausratkaisuja tarjoaville kolmansille osapuolille.

Älyverkkotyöryhmän tekemän selvityksen mukaan etäluettavan sähkömittarin (AMR) kautta on ohjattavissa kysyntäjousto on kuormaa noin 1000 MW. Lisäksi älykkäiden toiminnallisten ratkaisujen myötä tämä kapasiteetti saattaisi olla huomattavasti suurempi. Vertailun vuoksi vuonna 2016 kysyntäjousto määrä eri sähkömarkkinapaikoilla oli yhteensä noin 400-1200 MW (TEM 2016). Näin ollen olemassa olevassa asuntokannassa on tarjolla merkittävä potentiaali kysyntäjousto tarpeisiin.

Tavalliset kodit ovat muuttumassa jatkuvasti älykkäämpään suuntaan. Tällöin tarvitaan tiedonsiirron lisäksi kykyä ohjata sähkökuormiaan keskitetysti ja aiempaa monipuolisemmin. Tällöin kodin energianhallinnasta saattaa vastata esimerkiksi kolmannen osapuolen tarjoama kodin energianhallintajärjestelmä (HEMS). Järjestelmän tarkoitus on hallita kiinteistön sähköenergian kulutusta, omatuotantoa ja mahdollista varastointia mahdollisimman optimimaallisella tavalla käyttäjän näkökulmasta niin, että asetetut olosuhdevaativuudet samalla toteutuvat (kuva 3).



**Kuva 3.** Home energy management system (Zhou et al. 2016).

Kuva 3 havainnollistaa, miten monipuoliseksi normaalin asuinkiinteistön talotekniikka on muuttumassa. Tämä luo monelle alan toimijalle paineen muuttaa tuotteitaan vastaamaan uutta toimiympäristöä. Yksi muutospaineen alla olevista elementeistä ovat kiinteistön sähkökeskukset. Näiden keskusten kehittäminen vastaamaan nykyaikaisia vaatimuksia toimi pohjana myös tämän työn kirjoittamiselle.

## 1.2 Työn tavoitteet

Muutokset asuinkiinteistöjen sähköverkossa tuovat mukanaan uusia vaatimuksia myös sähkökeskusten osalta. Nykyisten sähkölämmitteisten asuntojen sähkökeskukset ja näiden toiminnallisuudet pohjautuvat pitkälti Sähkölaitosyhdistyksen vuonna 1986 julkaisemaan ja vuonna 1992 päivitettyyn kytkentäsuositukseen (SLY 7/92). Tällä suosituksella vakioitiin erityyppisten sähkölämmityskohteiden kytkentöjen periaatteet ja merkinnät. Keskusvalmistajat ovat tämän jälkeen jalostaneet omia muunnoksiaan tästä versiosta, mutta peruseriaate näissä vakiokeskuksissa on edelleen sama (Sähköinfo Oy 2016).

Kytkentäsuosituksella mahdollistettiin vakiokeskusten valmistaminen, joka helpotti keskusvalmistajien toimintaa ja samalla selkeytti osaltaan toimikenttää. Tätä ennen paikalliset energiayhtiöt olivat pitkälti määritelleet suunnitteluohjeet sille, miten tehojen ja kuormien ohjaus toteutettiin (Sähköinfo Oy 2016). Tällaiset alueelliset toteutustavat luonnollisesti synnyttivät monia erilaisia ratkaisuja, jolloin sähkökeskukset suunniteltiin piti tehdä tapauskohtaisesti.

Tällä hetkellä talotekniikassa eletään uutta murrosvaihetta, kun kiinteistön tulisi jatkossa toimia entistä älykkäämmin. Samalla asennetun omatuotannon määrä lisääntyy nopeasti ja asukkaalla saattaa olla pihassa sähköauto tai ladattava hybridi, jonka lataus on huomattava kuorma kiinteistössä. Vaikka asiakkaalla ei edellä mainittuja vielä olisikaan, niin uudiskohteessa näihin varautuminen on joka tapauksessa otettava huomioon suunnitteluvaiheessa.

Muuttunut toimintaympäristö on luonut uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja tämän seurauksena monia erilaisia valmistajakohtaisia toteutuksia. Nämä ulkoiset toimijat pyrkivät kukin omilla ratkaisuillaan tarjoamaan asiakkaan toivomaa kokonaisuutta. Tämä toteutetaan yleensä olemassa oleviin kohteisiin tekemällä keskuksiin järjestelmän omiin tarpeisiin soveltuvia muutoksia. Uudessa kohteessa taas sähkökeskusten ominaisuudet räätälöidään vastaamaan valittujen järjestelmätoimittajien vaatimuksia.

Tämä tuo mukanaan vastaavan haasteen, kuin mitä sähköyhtiöiden paikalliset ohjausratkaisut toivat 80-luvulla. Tällä hetkellä uusien sähkökeskusten ominaisuudet tai vanhan muutokset suunnitellaan tapauskohtaisesti sen sijaan, että löytyisi uusi SLY-kytkentäsuosituksen kaltainen ratkaisu, joka palvelisi sellaisenaan mahdollisimman hyvin eri osapuolten vaatimuksia. Järjestelmäkohtaiset ratkaisut ovat myös monesti suljettuja järjestelmiä, jolloin niihin liitetyt komponentit tulee olla järjestelmän kanssa yhteensopivia. Järjestelmäkohtaiset ratkaisut tuovat mukanaan haasteen pidemmällä ajanjaksolla käytön ja ylläpidon kannalta. Järjestelmän toimittaja on saattanut lopettaa toimintansa kiinteistön elinkaaren aikana, jolloin varaosien, laajennuskomponenttien tai tukipalveluiden saaminen voi olla mahdotonta.

Tämän työn tavoitteena on selvittää, miten pienkiinteistön sähkösuunnittelu on muuttumassa, kun kiinteistön sähköverkkoon liitetään uudenlaisia järjestelmiä ja kuormien ohjattavuudelta vaaditaan aiempaa enemmän. Kokonaiskuvan saamiseksi työssä tarkastellaan mahdollisimman kattavasti, mitä vaatimuksia erilaiset ratkaisut asettavat esimerkiksi sähkökeskuksille, kaapelointireiteille, tilavarauksille ja tiedonsiirtoyhteyksille. Tavoitteena on myös tuoda esiin, minkälaisilla vakioituilla ratkaisuilla sähkösuunnittelussa voitaisiin palvella mahdollisimman kattavasti kiinteistön eri tarpeita laitetoimittajista riippumatta. Lisäksi työn tavoitteena on tuoda esiin, mitä erilaisten uusien järjestelmien liittäminen vaatii, kun kohteena on jo olemassa oleva rakennus.



## 2. ENERGIAJÄRJESTELMÄN NYKYTILANNE

### 2.1 Kysyntäjousto

Kysyntäjouston, sekä sen kasvavan tarpeen ymmärtämiseksi, on hyvä sisäistää Suomen energiantuotannon kokonaiskuva periaatetasolla. Perinteisesti sähkön kysynnän ja tarjonnan tasapaino on hallittu isossa mittakaavassa sillä, että tuotanto on joutanut kysynnän mukaan.

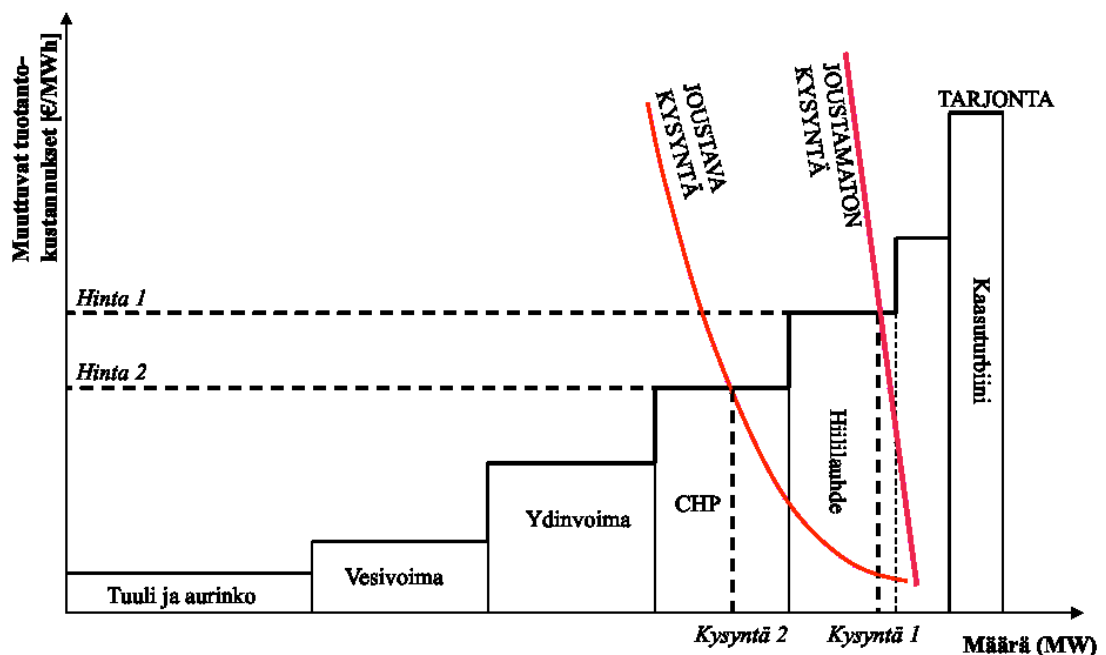
Eri tuotantomuodoilla on ajojärjestys, joka määrittelee missä järjestyksessä tuotantolaitoksia käynnistetään kulutuksen kasvaessa. Tämä pohjautuu siihen, että osa tuotantolaitoksista on hankintahinnaltaan kalliita, mutta energiantuotanto prosessina on halpaa. Tällaisia tuotantomuotoja ovat esimerkiksi tuuli-, aurinko-, vesi- ja ydinvoima. Koska näiden tuotantomuotojen primäärienergian lähde on hyvin halpaa tai ilmaista, on tavoitteena mahdollistaa näiden laitosten ajo täydellä teholla aina kun mahdollista.

Mikäli sähkön kulutus ja sääolosuhteet olisivat vakioituja, tulisi halvimaksi tuottaa suurin osa tuotannosta edellä mainituilta tuotantolaitoksilla. Todellisuudessa sähkön kulutus vaihtelee jatkuvasti ja tuotannon pitää pystyä vastaamaan tähän. Tämän vuoksi osa tuotannosta pitää rakentaa helpommin ja halvemmin säädettävän tuotannon varaan. Tällaisia tuotantomuotoja ovat esimerkiksi lämmön ja sähkön yhteistuotantoon (CHP), hiililauhteeseen, säädettävään vesivoimaan ja kaasuturbiiniin perustuvat tuotantolaitokset. Nämä tuotantomuodot ovat investointikustannuksiltaan halvempia ratkaisuja aikaisemmin mainittuihin nähden, mutta vastaavasti muuttuvat kustannukset ovat vesivoimaa lukuun ottamatta suuremmat. Näillä tuotantolaitoksilla sähkön tuottaminen on taloudellisesti kannattavaa ainoastaan sen jälkeen, kun halvemmat tuotantomuodot ajavat jo täydellä teholla ja sähköstä ollaan valmiita maksamaan korkeampi hinta.

Sähkön hinta perustuu Pohjoismaisen Nord Poolin ylläpitämään sähköpörssiin, jossa hinta muodostuu kysynnän ja tarjonnan perusteella. Tähän pörssiin eri tuotantolaitokset asettava myyntiin seuraavan vuorokauden arvioidun tuotantonsa joka tunnille. Vastaavasti sähkön vähittäismyyjät ja isot teollisuuslaitokset ostavat seuraavan vuorokauden arvioidun tarpeen mukaan energiansa jokaiselle tunnille. Tämän mukaan sähkön hinta muodostuu seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille erikseen niin sanotuilla day ahead-markkinoilla. Luonnollisesti nämä tulevan vuorokauden ennusteet pitävät harvoin täysin paikkaansa, jonka takia tätä tasetta tasapainotetaan tarkemmin vielä vuorokauden sisällä tapahtuvilla intra day-markkinoilla.

Kun kysyntä on vähäistä, niin tuotanto pystytään kattamaan halvimilla tuotantomuodoilla, jolloin myös sähkön hinta kyseisille tunneille laskee. Vastaavasti kulutushuippujen aikana saavat myös kalleimmat tuotantomuodot sähkölle ostajan, jolloin näiden tuntien

sähkön hinta asettuu korkeammalle. Sähkön tuntikohtaisesta hinnasta käytetään myös nimitystä spot-hinta. Tavallisella kuluttajalla sähkön hinta on monesti kiinteä ja tämä on sovittu määräaikaisella tai toistaiseksi voimassa olevalla sopimuksella. Lisäksi loppukäyttäjän kulutuskäyttäytymistä on pyritty ohjaamaan tariffisopimuksilla, jolloin sähkön käyttö on halvempaa aikana, jolloin kulutus on normaalisti vähäisempää. Nykyisin myös tavalliselle kuluttajalle on mahdollista tehdä sähkön spot-hintaan perustuva sähkösopimus, jolloin kiinteän hinnan sijaan sähkömarkkinat määrittelevät hinnan jokaiselle tunnille. Tällaisia pörssisähkö-sopimuksia on kaikista Suomen sähkösopimuksista noin 10 prosenttia, mutta Ruotsissa ja Norjassa vastaavat sopimusmuodot ovat jo huomattavasti yleisempiä (Vattenfall). Pörssisähkön avulla valvutuneen kuluttajan on mahdollista hyötyä halvimmista tunneista ohjaamalla suurimmat kuormansa näille ajankohdille. Tällainen toiminta on yksi tapa suorittaa kysyntäjoustoa, joka samaan aikaan osaltaan tasapainottaa verkon kuormaa sekä tuo rahallista arvoa loppukäyttäjälle. Luonnollisesti sähkökuormien ohjaaminen halvoille tunneille tulisi tapahtua automaattisesti ilman, että käyttäjän tarvitsee jatkuvasti tarkkailla sähkön hintoja. Kuvassa 4 on esitetty, miten sähkön hinta muodostuu ajojärjestyksen mukaisesti sekä miten kysyntäjoustolla voidaan tähän vaikuttaa.



**Kuva 4.** Tuotantomuotojen ajojärjestys, hinnan muodostuminen ja kysyntäjousto (Honkapuro & Auvinen).

Sääriippuvaisen tuotannon määrä lisääntyy voimakkaasti, jonka myötä tämän osuus kokonaistuotannosta kasvaa jo merkittävälle tasolle. Tuotannon jouston kannalta tärkeiden helposti säädettävien voimalaitosten kannattavuus perustuu siihen, että käyttötunteja tulee vuoden aikana riittävästi. Olkiluoto 3 valmistuessa, sekä erityisesti halvemman tuuli-voiman merkittävästi lisääntyessä, näiden säädettävien voimalaitosten huipunkäyttöajat

pienenenevät nykyisestä. Moni näistä tuotantolaitoksista joudutaan sulkemaan kannattamattomana, jolloin valtakunnan tasolla sähkön tuotannon joustavuus heikkenee. Säätöpuvaiset tuotantomuodot ovat luonteeltaan joustamattomia, joten suurten kulutuksen ja heikkojen sääolosuhteiden hetkille pitää löytyä korvaava tapa täyttää kysynnän ja tarjonnan välinen ero. Tämän eron tasoittamiseen tarvitaan kysyntäjoustoa osana älykästä sähköverkkoa. Lisäksi tuotantorakenteen muuttuessa pyörivien massojen sisältämä inertia vähenee suljettujen voimalaitosten myötä, jolloin myös nopeasti reagoivan häiriöreservin määrää joudutaan lisäämään.

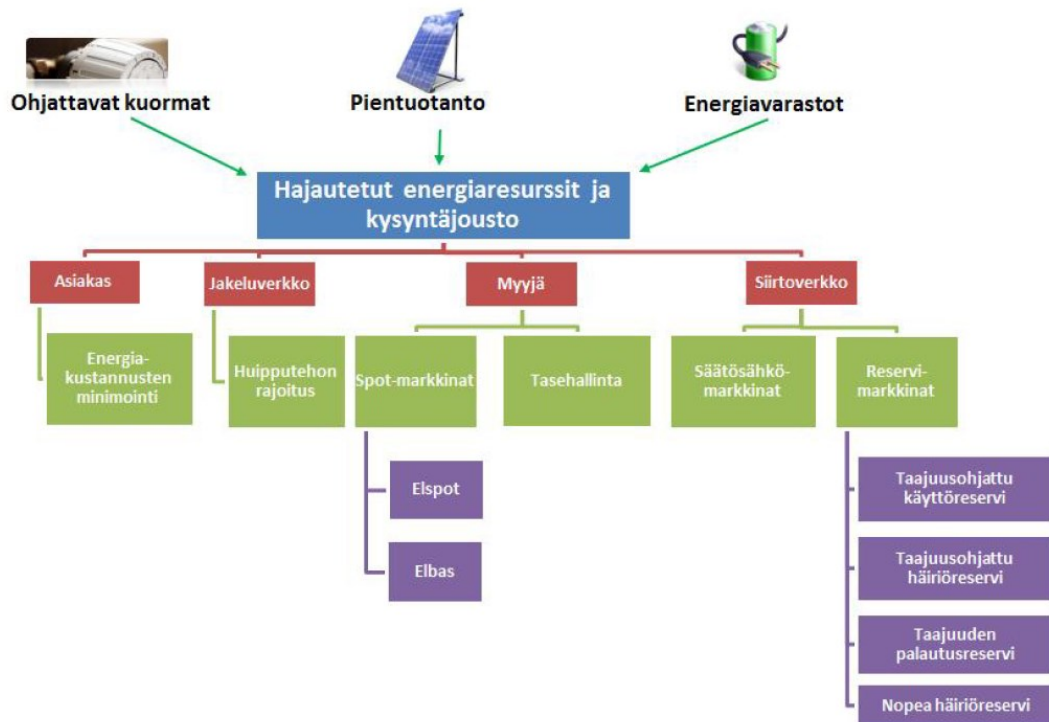
Lauhdevoimalaitosten vähentyessä tuotannon osalta joustoa pitää rakentaa investoinnillaan halvoilla ja nopeasti säädettävillä tuotantolaitoksilla, kuten kaasuturbiineilla (Raiko & Honkasalo 2012; Lazard 2017). Toinen vaihtoehto on luoda joustoa kysynnän puolelle, jolloin vähemmän kriittistä kulutusta siirretään tunneille, joilla kulutusta on vähemmän. Kulutuksen puolella tapahtuva jousto voi olla myös kulutuksen lisäämistä silloin, kun heikosti säädettävää tuotantoa on tarjolla kysyntää enemmän. Suomessa omakotitalot tarjoavat erityisesti erilaisten sähkölämmitysten muodossa merkittävän potentiaalın ohjattavaksi kuormaksi osana kysyntäjoustoa. Kuvassa 5 on There Corporation tekemä arvio omakotitalojen kuormanohjauspotentiaalista, joiden ohjaamista yhtiö testasi yhteistyössä Fingridin kanssa kysyntäjoustopilottihankkeessa 2016 (Palola et al. 2016).

Ohjattavissa oleva kuorma	Kuorma	Arvio määrästä
Suora sähkölämmitys	3-6 kW	380.000-400.000
Varaava lattialämmitys	3-6 kW	120.000-150.000
Käyttövesivaraaja (sähkölämmityskodit)	3 kW	430.000-480.000
Varaava sähkölämmitys (isot vesivaraajat)	9-30kW	50.000-60.000
Öljylämmitys (sähkövastus öljykattilassa)	6 kW	140.000-180.000

**Kuva 5.** Omakotitalojen kuormapotentiaalit (Palola et al. 2016).

Sähkötutkimuspooli (ST-pooli) käynnisti vuonna 2013 Energiategollisuus ry:n koordinoiman hankkeen selvittämään kysyntäjoustopotentiaaleja Suomessa. Tämä DR-Pooliksi nimetty projekti koostui TTY:n, LUT:n ja TAMKin tutkimusryhmistä. Loppuraportti ”Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkko-yhtiöille (DR-pooli)” valmistui 2015 ja on vapaasti ladattavissa Energiategollisuuden sivuilla.

Kysyntäjoustopotentiaaleja hyödyntäviä osapuolia ovat ainakin kantaverkkoyhtiöt, jakeluverkkoyhtiöt, sähkön vähittäismyyjät, sähkön loppukäyttäjät sekä erilaiset järjestelmätoimittajat ja palvelun tarjoajat (Järventausta et al. 2015). Eri toimijoiden näkökulma kysynnän joustoon on esitetty kuvassa 6. Tämän työn aiheen kannalta oleellisinta on ymmärtää loppukäyttäjien sekä käyttäjille erilaisia ohjauspalveluja tarjoavien tahojen mahdolliset ansaintamallit.



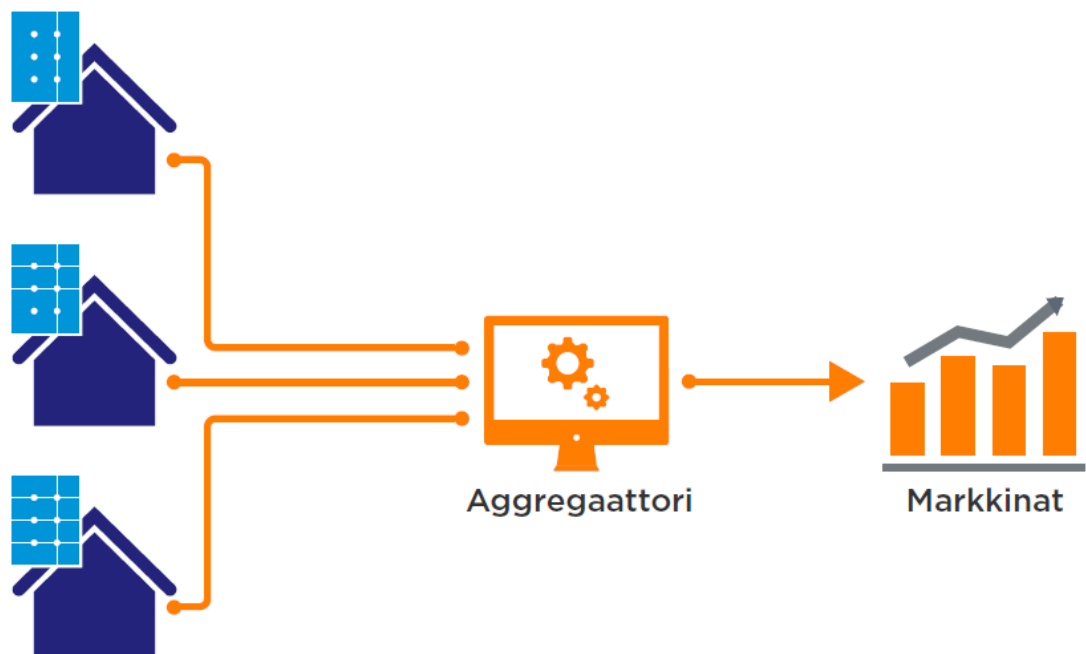
**Kuva 6.** Eri markkinaosapuolien näkemykset kysynnän joustoan ja hajautettuun tuotantoon (Järventausta et al. 2015).

Sähkölämmitteisessä asuinkiinteistössä kysynnän joustoa pystytään käyttäjän omien valintojen lisäksi toteuttamaan etäluettavaan mittariin (AMR) tulevan ohjaustiedon avulla, kodin automaatiojärjestelmällä tai kolmannen osapuolen tarjoaman erillisen energianhallintajärjestelmän (HEMS) avulla. Lisäksi erilliset älykkäät laitteet, kuten älylämminvivaraaja voi toimia kysyntäjoustopaikoilla omana yksikkönään.

Markkinoille tulleet kolmannen osapuolen tarjoamat kodin energianhallintajärjestelmät ja älykkäät kodin laitteet, tarjoavat mahdollisuuden aiempaa tarkempaan kysyntäjoustopaikoille toteuttamiseen. Tällöin yhteys muiden tahojen tarjoamiin palveluihin, kuten spot-hintatietoihin ja sääennusteisiin, toteutetaan internet-yhteyden kautta. Loppukäyttäjälle tarjotaan näin ansaintamahdollisuus spot-hintaan perustuvan sähkösopimuksen kautta sekä älykkäämpien lämmitysten ohjausten avulla. Tällöin järjestelmä optimoi isoimmat varauvat kulutukset, kuten lämminvesivaraajat ja varauvat lämmitykset sähkön halvimmille tunneille. Lisäksi esimerkiksi lämmitystä voidaan ohjata tilakohtaisesti asetellun kalenterin perusteella, jolloin käyttäjä saavuttaa säästöä myös pienentyneen kulutuksen myötä. Mikäli kohteessa on installoitu sähkön omatuotantoa tai varastointikapasiteettia, niin näiden tarjoamia hyötyjä voidaan pyrkiä optimoimaan samalla ohjausjärjestelmällä (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

Ohjausjärjestelmän toimittaneen ulkoisen palveluntarjoajan ansaintamekanismi voi asiakkaan maksujen lisäksi perustua niin sanotun aggregaattorin toimintaan. Aggregaattori on taho, jonka tehtävänä on tarjota kysyntäjoustopaikoille ohjaamalla

keskitetysti useamman asiakkaiden kulutusta, tuotantoa ja varastointia (kuva 7). Tällöin aggregaattorin ohjattavissa on esimerkiksi iso määrä kiinteistöjen lämmityskuormia kohtien energianhallintajärjestelmien välityksellä. Näissä kohteissa voidaan esimerkiksi pudottaa lämmitys määritellyksi ajaksi pois päältä ilman, että käyttäjän sallimat lämpötilan vaihteluvälit ylittyvät. Kun tällaisia kohteita on paljon ja älykäs ohjausjärjestelmä on opinnut, miten paljon kiinteistön rakenteet pystyvät luovuttamaan varastoitunutta lämpöä lämmityksen katketessa, saadaan koottua yhteen isompi ja suuruudeltaan tiedossa oleva kysyntäjoustopotentiaali (There Corporation 2018). Tällä hetkellä aggregaattorina toimivat pääasiassa asiakkaan sähkönmyyjät, mutta älyverkkotyöryhmän esityksen perusteella markkinat on tarkoitus jatkossa avata myös niin sanotuille itsenäisille aggregaattoreille, kuten energianhallintajärjestelmää hallinnoivalle ulkoiselle palveluntarjoajalle (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018).



**Kuva 7.** Aggregaattori yhdistää useamman asiakkaan kulutuksen, tuotannon ja varastoinnin ohjauksen isommaksi kokonaisuudeksi (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018).

Aggregaattorina toimiva taho voi myydä ohjauksessa olevien kiinteistöjen joustomahdollisuutta esimerkiksi Fingridin ylläpitämille säätö- ja häiriömarkkinoille. Tällöin aggregaattorin ansainta perustuu kiinteään, ohjattavan tehon suuruuteen perustuvaan maksuun, sekä jokaisesta jouston aktivoimisesta maksettuaan erillismaksuun. Kuvassa 8 on esitetty eri tavat, joilla sähkömarkkinoilla on mahdollisuus ansaita sähkön tuotannon tai kulutuksen joustoa tarjoamalla. Tämä havainnollistaa hyvin sen, että sähkömarkkinoilla toimiminen ei ole ainoastaan isojen tuotantolaitosten liiketoimintaa, vaan myös nopeasti jous-

tavan tuotannon ja kysynnän tarjoaminen voi olla kannattavaa liiketoimintaa omilla markkinoillaan. Sähkemarkkinoiden eri osapuolista ja näiden vaatimuksista on kerrottu tarkemmin Fingridin kotisivuilla (There Corporation, yritystapaaminen 2018; Fingrid).

Tuote	Sopimustyyppi	Minimitarjouskoko	Markkinapaikan sulkeutumisaikakohta	Aktivoituminen	Aktivoituu	Korvaustaso 2018 *)
Taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	0,1 MW	Vuosimarkkinat edellisvuoden syksyllä, tuntimarkkinat D-1 klo 18:30	Lineaarisesti välillä 50,1 - 49,9 Hz, 0,1 Hz muutos 100 % 3 min	Useita kertoja tunnissa	14 €/MW,h (vuosimarkkinat)
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	Vuosi- ja tuntimarkkinat	1 MW	Vuosimarkkinat edellisvuoden syksyllä, tuntimarkkinat D-1 klo 18:30	Voimalaitokset: lineaarisesti välillä 49,9 - 49,5 Hz kun f alle 49,5 Hz 50% 5s ja 100% 30s	Useita kertoja vuorokaudessa	4,5 €/MW,h (vuosimarkkinat)
Automaattinen taajuudenhallintareservi (aFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	D-1 klo 17:00	Relekytketyt kuormat: vaihtoehtoisesti 49,7 Hz 5s TAI 49,6 Hz 3s TAI 49,5 Hz 1s	Muutaman kerran vuodessa	FG:n lähettämän tehopyyntisignaalin mukaisesti, 100% 2 min
Säätösähkösäätömarkkinat (mFRR)	Tuntimarkkinat	5 MW	45 min ennen käyttötuntia	100% 15 min	Useita kertoja vuorokaudessa	Kapasiteettikorvaus pay as as bid periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Säätökapasiteettimarkkinat (mFRR)	Viikkomarkkinat	5 MW	Edellisviikon tiistaina klo 12:00	100 % 15 min	Tarjouksen ja säätötarpeen mukaisesti	Markkinahinta
Vuorokausimarkkina (Eislot) **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	D-1 klo 13:00	12 h	-	Kapasiteettikorvaus pay as a bid -periaatteella + energiahinta säätösähköhinnan mukaan
Päivän sisäinen markkina (Elbas) **)	Tuntimarkkinat	0,1 MW	30 min ennen käyttötuntia	1 h	-	Markkinahinta
Tehoreservi ***)	Pitkäaikainen	10 MW	-	15 min kuormille, 12 h voimalaitoksille	Harvoin	EV:n hankintakilpailun mukaisesti

\*) Korvaustason hinnat ovat viitteellisiä, tarkemmat ehdot ja hinnoitteluperiaatteet löytyvät kuhunkin markkinapaikkaan liittyvistä sopimuksista. Reservien toteutuneet hinnat on esitetty [täällä](#).

\*\*\*) Nord Pool

\*\*\*\*) Energiavirasto

### **Kuva 8.** Kysyntäjoustop eri markkinapaikat (Fingrid).

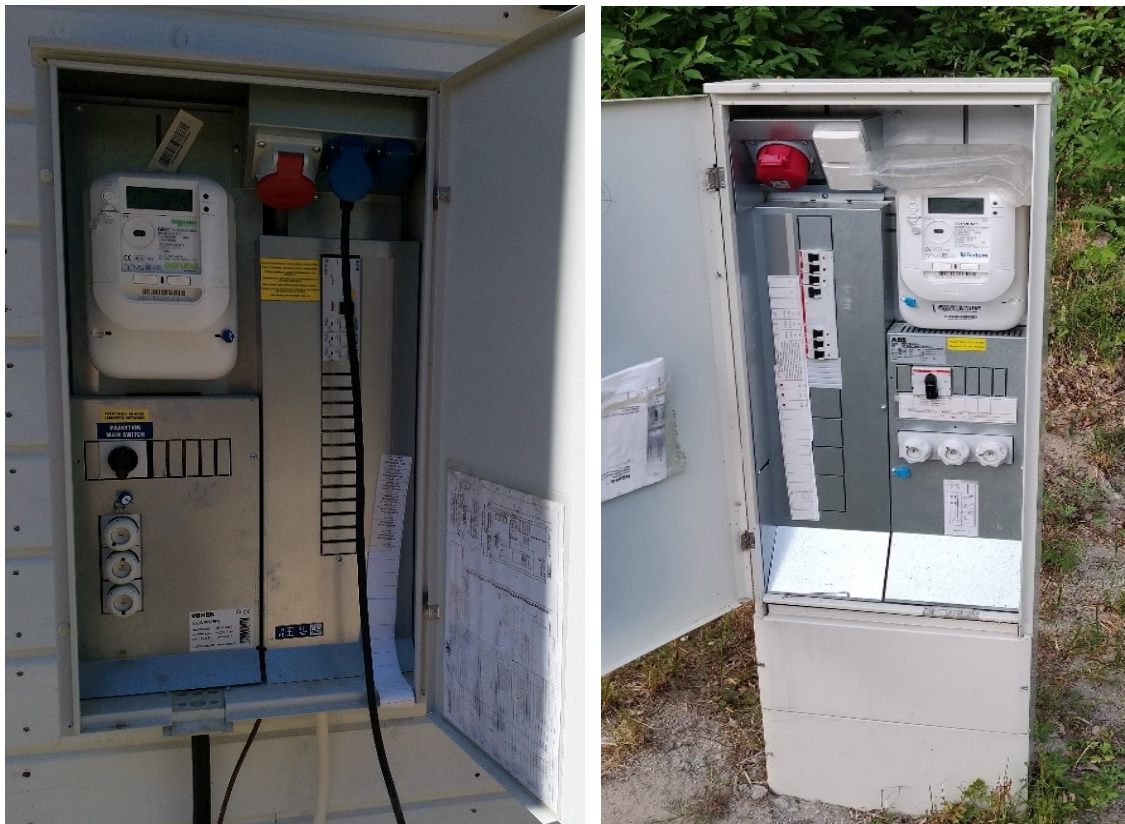
Tällä hetkellä taloudellisesti kannattava sähkökuormien hallinta perustuu liittymäkoon sallimissa rajoissa lähinnä energianhallintaan, sillä sähköyhtiön spot-hintaan perustuva laskutusperiaate tarjoaa tälle kannusteen. Myös verkkoyhtiön sähkön siirtohinnan laskutusperiaate pohjautuu kulutetun sähköenergian määrään, vaikka sähkön siirrosta syntyvät kustannukset syntyvät huipputehojen pohjalta tehdystä sähköverkon mitoituksesta. Tämä johtaa suuressa mittakaavassa tilanteeseen, jossa sähkön spot-hinnan perusteella tehtävä kysyntäjousto ohjaa suuren määrän sähkökuormia samanaikaisesti päälle. Tällainen pelkääntään energianhallinnan perusteella tehtävä ohjaustapa kasvattaa syntyneitä huipputehoja, jolloin kustannukset verkkoyhtiöille kasvaa. Tämän seurauksena Suomessa on jo muutamilla verkkoyhtiöillä valittavissa tehopohjainen siirtomaksun hinnoitteluperiaate,



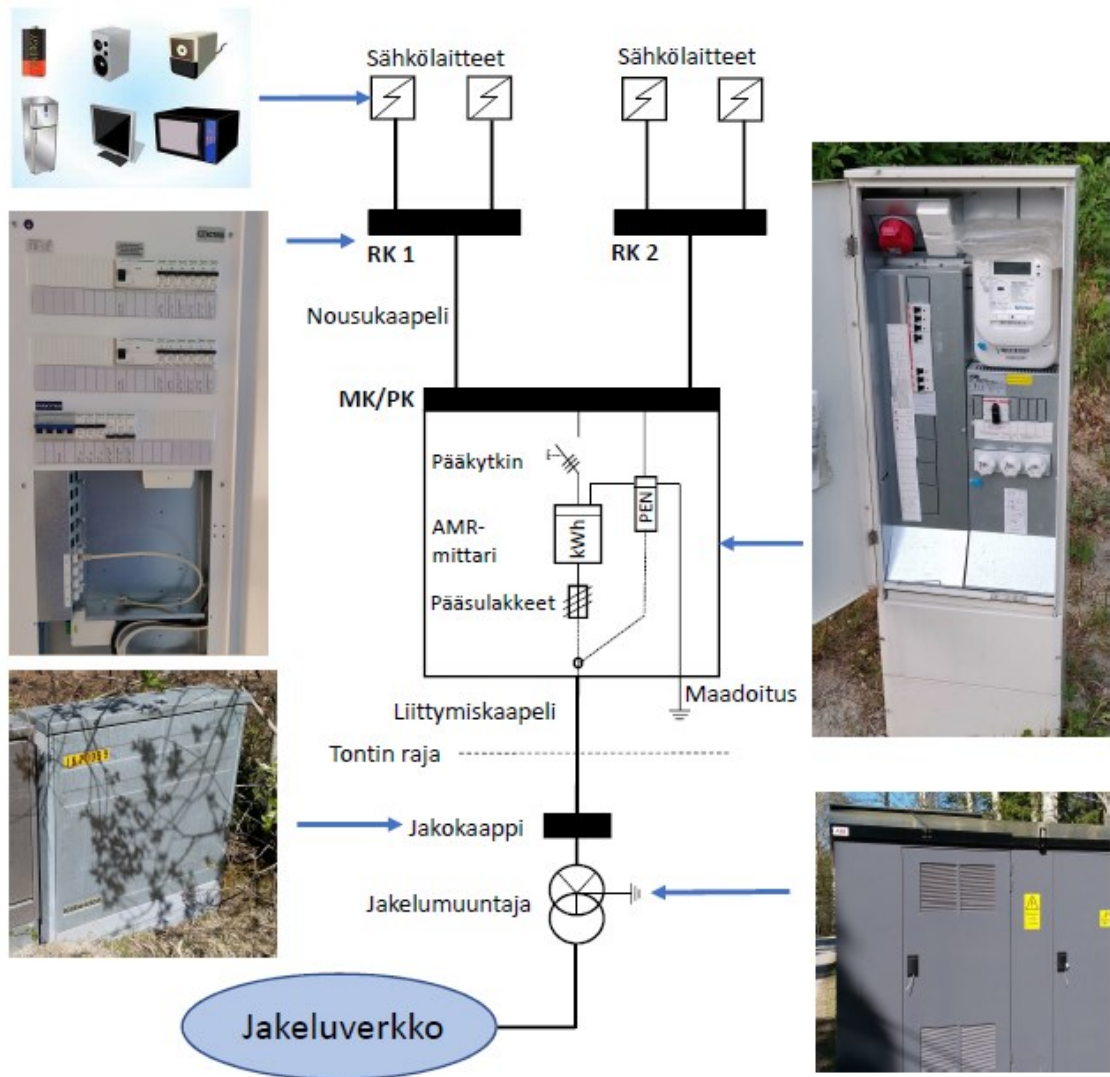
joka ohjaa osaltaan tehojen hallintaan. Jatkossa tällaiseen verkkoyhtiöiden tehopohjaiseen laskutustapaan ollaan siirtymässä laajemmassa mittakaavassa, jolloin kiinteistön kuormien hallinnasta tulee samalla entistä haastavampaa (TEM 2018).

## 2.2 Pienkiinteistön sähköverkon rakenne

Kiinteistön liittymiskaapeli tuodaan normaalisti verkkoyhtiön toimesta tontin rajalle jo ennen kiinteistön rakennusvaihetta. Tämä kaapeli jatketaan tontin rajalta kiinteistön mittauskeskukseen (arkikielessä pääkeskus), jossa sijaitsee kiinteistön kulutusta mittaavan etäluettavan sähkömittarin (AMR) lisäksi myös kiinteistön pääkatkaisija, pääsulakkeet sekä mahdolliset ylijännitesuojat (kuva 9). Mittauskeskuksessa on tyypillisesti myös 3- ja 1-vaiheiset pistorasiat, jotka vastaavat yleensä rakennusaikaisesta sähkön tarjonnasta. Lisäksi mittauskeskuksessa voi olla erillinen IT-tila. Tähän tilaan on voitu tuoda valokuidun, yleiskaapeloinnin ja antennin vaatimat komponentit (Ensto). Isompien kuormien, kuten sähköauton latauslaitteen tai aurinkopaneelin invertterin syöttö voidaan liittää suoraan tähän keskukseen, jos se on asennusteknisesti näin helpompi toteuttaa. Mittauskeskuksen tulee sijaita sellaisella paikalla, että sähkölaitoksen edustajalla on tarvittaessa vapaa pääsy mittarille. Mittauskeskukselta jatketaan nousukaapeleilla syöttö ryhmäkeskuksille (kuva 10).



*Kuva 9. Esimerkit seinälle ja pihalle asennettavista mittauskeskuksista.*



*Kuva 10. Sähköverkon rakenneosat.*

Ryhmäkeskuksen tehtävä on nimensä mukaisesti ryhmitellä kiinteistön kulutuspiisteet samojen suojalaitteiden suojaamiksi ryhmiksi. Keskuksessa on ryhmäkohtainen johdon-suoja-automaatti tai sulake sekä tarvittaessa vikavirtasuoja. Tästä sähkön syöttö jatkuu rakenteissa tai niiden pinnassa kaikille saman ryhmän kulutuspiisteille, kuten valaisimille tai pistorasioille. Suojalaitteiden lisäksi ryhmäkeskuksessa voi olla kuormien ohjauksien vaatimia erilaisia kulutuspiisteiden ohjauskomponentteja. Tällaisia voi olla esimerkiksi erilaisten väyläjärjestelmien keskuskomponentit tai logiikkayksiköt ja ohjausreleet sekä näiden vaatimat lisäkomponentit. Myös ryhmäkeskus voi olla varustettuna erillisellä IT-osiolla, johon on sijoitettu esimerkiksi yleiskaapeloinnin liittimet ja antenniverkon laitteet. Ryhmäkeskuksia voi olla kiinteistöstä riippuen useampia. Tyypillisesti asuinkiinteistössä on oma ryhmäkeskus päärakennukselle ja mahdollisesti erikseen oma keskus varasto- tai autotallirakennukselle.



### 2.3 AMR-mittari ja sen ominaisuudet

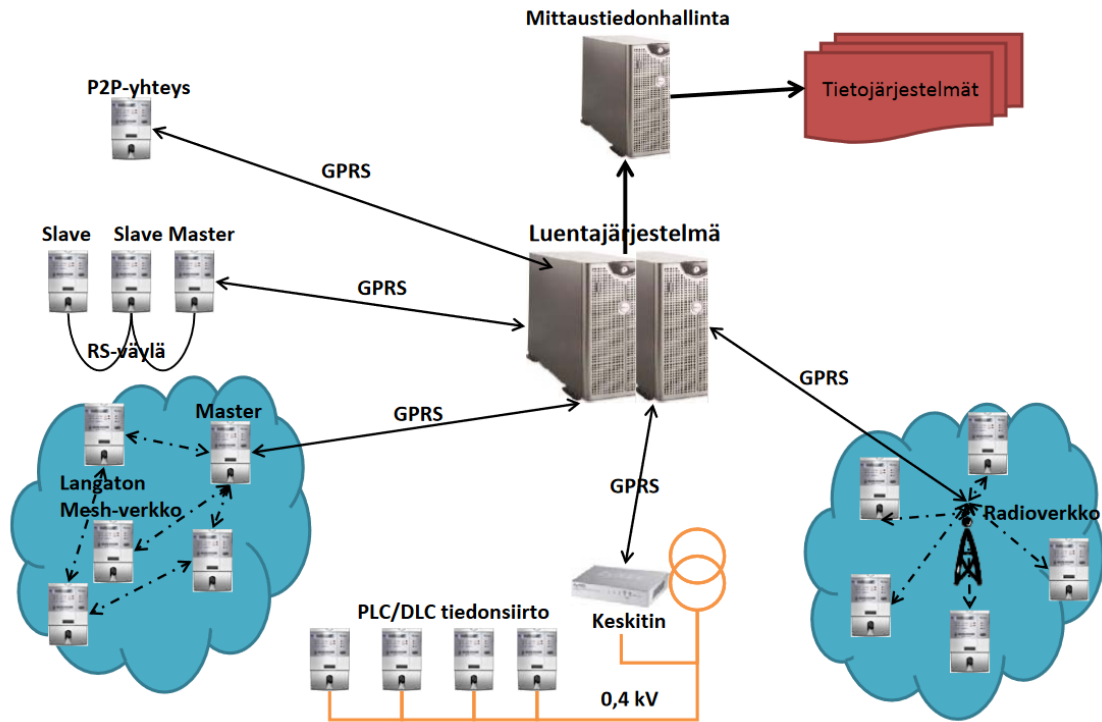
Suomi on toiminut edelläkävijänä etäluettavien sähkömittareiden (AMR) laajamittaisessa käyttöönotossa. Nämä mittarit tuli ottaa käyttöön liittymäkooltaan alle 63 A-kohteisiin vuoden 2013 loppuun mennessä niin, että vähintään 80 % jakeluverkkoyhtiön asiakkaista oli varustettu etäluettavalla sähkömittarilla. 2016 loppuun mennessä Suomen pienjänniteverkossa toimivista käyttöpaikoista 99,6 % oli varustettu etäluettavalla sähkömittauksella (Pöyry 2017).

Tavallisen kuluttajan näkökulmasta AMR-mittarin merkittävin muutos aiempaan mittarikantaan verrattuna on kahteen suuntaan tapahtuva tiedonsiirto verkonhaltijan kanssa. Tämä mahdollistaa tuntikohtaisesti rekisteröidyn kulutuksen etäseurannan. Etäluennan avulla laskutuksen on mahdollista perustua toteutuneeseen kulutukseen, kun se aiemmin perustui kulutuksen arvioon sekä jälkikäteen toteutettuun manuaaliseen mittarilukeman kirjaamiseen ja laskun korjaamiseen. Lisäksi tiedonsiirtoyhteys mahdollistaa tilatietojen välittämisen, jolloin verkonhaltija saa reaaliaikaisesti tiedon kulutuksen lisäksi myös mahdollisista pienjänniteverkossa tapahtuvista vioista (Energiateollisuus 2016).

Kaksisuuntainen tiedonsiirtoyhteys tarjosi myös mittarille mahdollisuuden vastaanottaa ohjaussignaaleja verkonhaltijan suunnalta. Yhteyden avulla aiemmat kuormanohjausratkaisut, kuten Melko tai verkkokäskeyhjäuslaite (VKO), jotka huolehtivat esimerkiksi 2-tariffikohteiden aikaohjauksista, siirrettiin suoraan verkkoyhtiön ohjaukseen mittarin välityksellä. Tämä mahdollisti vakioidun ja keskitetyn ratkaisun yösähköllä toimivien kuormien ohjaamiseen. Samalla verkkoyhtiölle tuli mahdollisuus porrastaa yöaikana päälle ohjautuvia kuormia, jolloin kaikkien kuluttajien kuormat eivät kytkeydy kerralla päälle samalla kellonajalla. Nykyiset asuinkiinteistöjen AMR-mittarit on varustettu joko yhdellä tai kahdella kuormanohjausreleellä. Kaikissa AMR-mittareissa on ainakin tehonrajoitusrele, jonka taakse on mahdollista kytkeä esimerkiksi osa sähkölämmityksestä. Tämän tarkoituksena on ollut mahdollistaa osallistuminen erilaisiin kysyntäjousto- tai tehopulaohjauksiin, jolloin verkkoyhtiön olisi mahdollista keskitetysti rajoittaa kriittisillä hetkillä verkossa olevaa kuormaa. Tarkempia vaatimuksia ei kuitenkaan ole esitetty sille, mitä tämän ohjauksen taakse tulisi kytkeä. Ohjauksen hyödyntämisestä ei myöskään ole enää tarjottu asiakkaalle minkäänlaista rahallista kannustetta. Näin ollen ohjauksen käyttöönotto on ollut tapauskohtaista ja ohjattavissa oleva kokonaispotentialiaali perustuu lähinnä arvioihin. 2-aikatariffin perusteella hinnoitelluissa kohteissa on mittareissa lisäksi erikseen yöaikarele, joka verkkoyhtiön ohjaamana kytkee yölle tarkoitetut kuormat päälle (Energiateollisuus 2016; There Corporation, yritystapaaminen 2018).

Mittarin etäluennan mahdollistava yhteys voidaan rakentaa useammalla eri tavalla. Yleisimmät ratkaisut nykyisin ovat PLC-tekniikka ja GPRS-yhteys. PLC-tekniikalla tiedonsiirto tapahtuu sähköverkkoa pitkin yleensä lähimmälle muuntajalle, jossa sijaitseva kes-

kitin kerää alueen tiedot yhteen ja lähettää GPRS-verkon kautta langattomasti luentajärjestelmälle. Vastaavasti mittarit voi olla varustettu omalla GPRS-yhteydellä, jolloin tiedonsiirto tapahtuu langattomasti suoraan mittarista. Tiheästi asutulla alueella mittarit voivat luoda myös oman keskinäisen langattoman tai langallisen verkon, jolloin yksi laitteista toimii master-laitteena, välittäen tiedon kootusti GPRS-yhteydellä eteenpäin. Kuvassa 11 on havainnollistettu tarkemmin eri tapoja mittareiden ja verkonhaltijan väliseen tiedonsiirtoon (Energiateollisuus 2016).

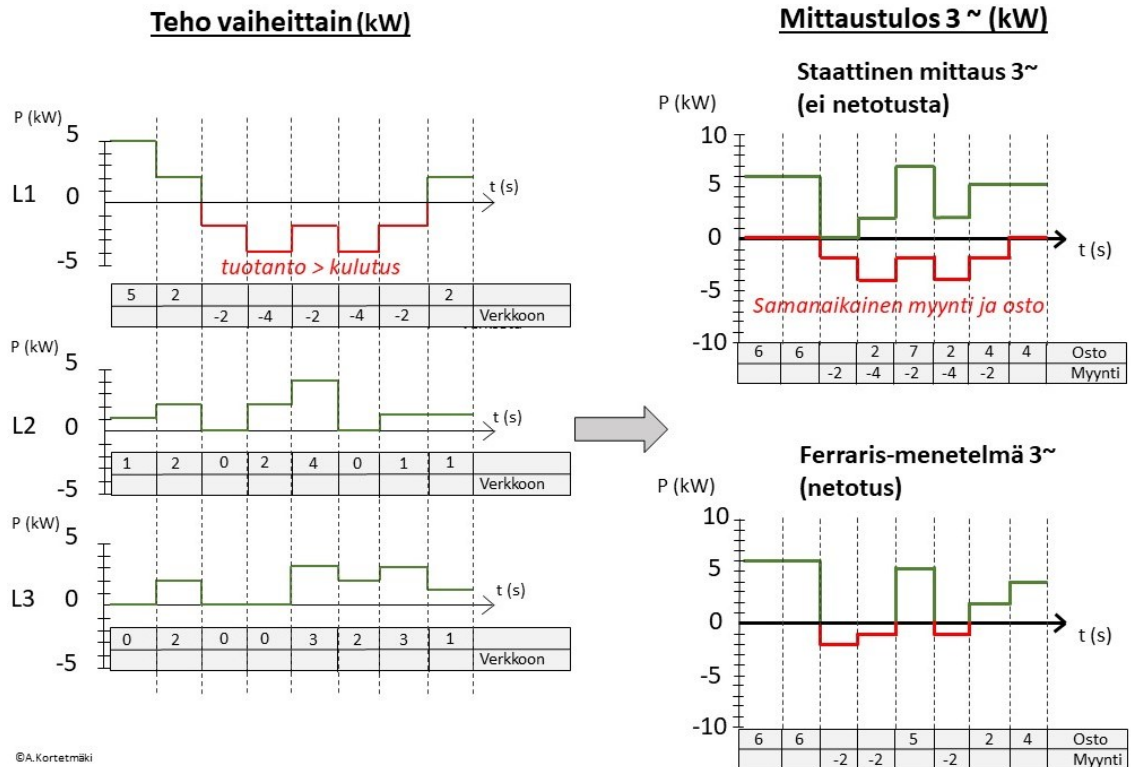


**Kuva 11.** Energiamittareiden eri tiedonsiirtotavat (Energiateollisuus 2016).

Mittausasetukseen (valtioneuvoston asetus sähkötoimituksen selvityksestä ja mittaamisesta (66/2009)) on kirjattu, että verkonhaltijan on tarjottava asiakkaalle mahdollisuus reaaliaikaiseen energiankulutuksen seurantaan standardoidun liitännän kautta, jos asiakas tällaisen vaatii. Käytännössä tämä tarkoittaa Suomessa sitä, että mittarit on pääosin varustettu pulssitietoon perustuvalla kulutuksen indikoinnilla. Tämä pulssitieto on ainakin isoimpien toimittajien kohdalla tarjottu mittarin etupaneelissa olevan led-valon pulssilla. Lisäksi mittareista voi löytyä fyysiseen kärkitietoon perustuva S0-liitäntä, joka tarjoaa vastaavan indikoinnin kulutuksen seurantaan langallisen yhteyden kautta. Haasteena S0-liitännässä on, että kärkitiedon liittimet on sijoitettu mittarin sinetöinnin taakse, jonka vuoksi tämän hyödyntäminen jälkikäteen vaatii verkonhaltijan edustajan käyntiä kohteessa. Led-valon tarjoaman pulssitiedon hyödyntäminen taas vaatii erillisen optisen lukijan, joka muokkaa tiedon hyödynnettäväksi sähköiseen muotoon. Mikäli kohteeseen on asennettu sähkön omatuotantoa, se tuo oman haasteensa pulssitiedon tulkitsemiseen. Täl-

löin ei voida suoraan pulssitiedosta tulkita, kulkeeko sähkö verkosta kiinteistöön vai päinvastoin. Lisäksi on tiedettävä, miten mittari ja pulssitieto tulkitsevat vaiheiden välillä eri suuntaan tapahtuvan sähkön siirron, kun osa omatuotannosta syötetään verkkoon (Energiateollisuus 2016; Sähköpostihaastattelu, Caruna Oy; Yritystapaaminen, Green Energy Finland).

Suomessa olevat AMR-mittarit voivat valmistajasta riippuen perustua joko staattiseen tai ferraris-menetelmään perustuvaan mittaukseen. Näiden kahden menetelmän oleellinen ero on se, että staattisessa mittaustavassa jokaisen vaiheen hetkellinen teho mitataan erikseen. Ferraris-menetelmässä taas eri vaiheissa samaan aikaan tapahtuva siirto ns. netotetaan yhteen. Sähköä verkosta ostaessa käyttäjä joutuu maksamaan sähköenergian hinnan lisäksi myös sähköverot ja sähkön siirrosta aiheutuneet kustannukset. Kuitenkin omaa tuotantoa verkkoon myydessä on saatu korvaus yleensä ainoastaan sähköenergian sen hetkisen markkinahinnan verran. Tällöin hetkellisesti netottava ferraris-menetelmä suosii käyttäjää staattiseen menetelmään verrattuna. Esimerkiksi tilanne, jolloin L1-vaiheessa on 1 kW tuotanto verkon suuntaan, mutta samanaikaisesti L2-vaiheessa on kytkettynä vastaava 1 kW tehon verkosta ottama kuorma kiinteistössä. Tällaisessa tilanteessa ferraris-menetelmään perustuva mittari netottaisi nämä kaksi mittaustulosta ja käyttäjälle ei näin syntyisi mitään maksettavaa. Vastaavassa tilanteessa staattisella menetelmällä kummatkin siirrot rekisteröitäisiin erikseen, jolloin käyttäjä saisi huomattavasti heikomman hinnan myymästään sähköstä, kuin mitä joutuu maksamaan samaan aikaan toisessa vaiheessa kuluttamastaan sähköstä. Kuvassa 12 on havainnollistettu, miten eri mittausmenetelmät summaavat vaihekohtaiset tehot yhteen. Kuvassa vasemmalla on esitetty vaihekohtaisesti kiinteistön teho. Oikealla puolella on esitetty kahden eri mittausmenetelmän kokonaistulkinta vaiheiden tehoista. Kuvasta huomaa, miten netottava järjestelmä vähentää verkkoon menevän ja sieltä otettavan tehon määrää ja on näin taloudellisesti kannattavampi asiakkaan näkökulmasta (Kosonen 2017; Sähköpostihaastattelu, Caruna Oy).



**Kuva 12.** Mittausmenetelmien vertailu.

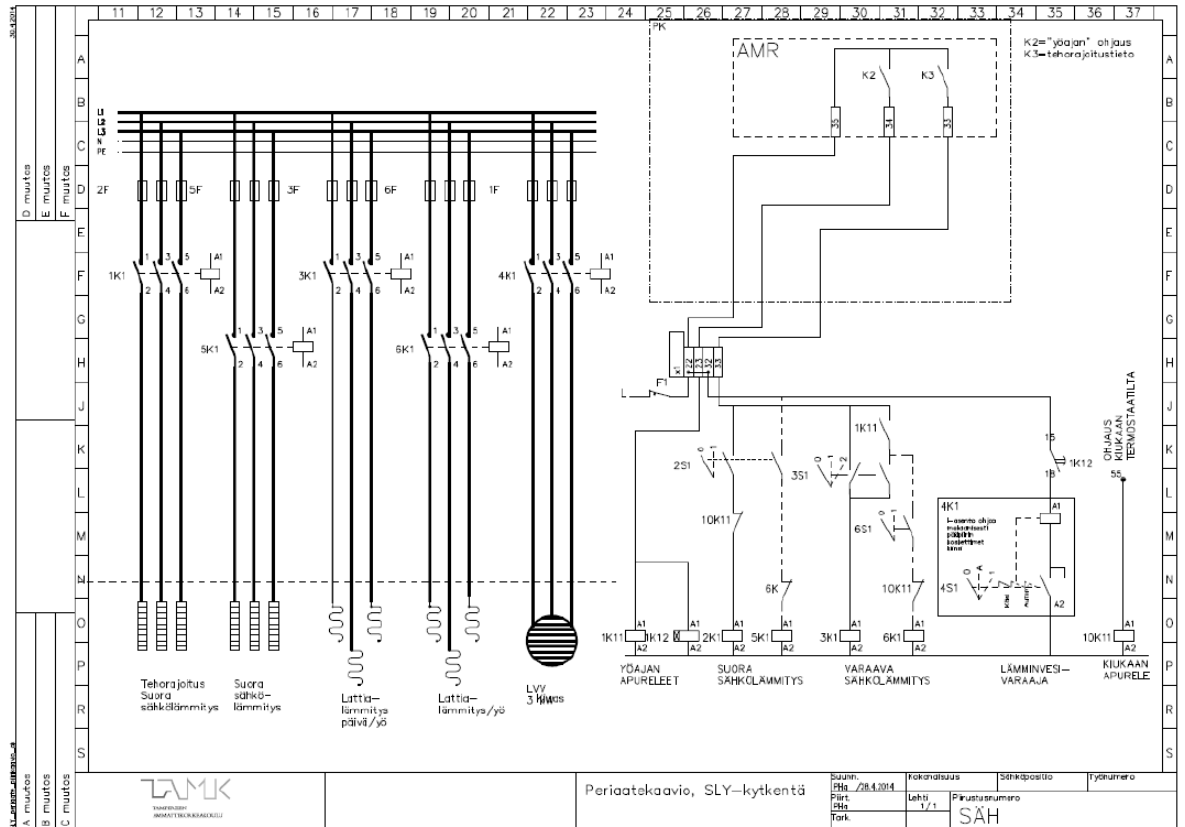
Ensimmäiset AMR-mittarit tulevat pian jo käyttöikänsä loppuun. Seuraavan sukupolven mittarien asennus on tarkoitus aloittaa vuosikymmenen vaihteessa ja viimeisten mittarinvaihtojen on ennakoitu ajoittuvan vuosikymmenen loppuun (Pöyry 2017). Näiden toisen sukupolven AMR 2.0-mittareiden ominaisuudet ovat vielä määrittelemättä, mutta selvityksiä mittarille asetetuista vaatimuksista on jo tehty (Pöyry 2017; TEM). Lokakuussa 2018 valmistuneen älyverkkotyöryhmän loppuraportissa esitettiin vähittäistoiminnallisuudet tulevalle AMR-mittarille seuraavasti:

- Taseselvitysjakson mukainen mittaustiheys, joka voi olla tulevaisuudessa 3–15 minuuttia
- Energian sekä pätö- ja loistehon mittaus ja rekisteröinti vaihekohtaisesti
- Hetkellisarvojen mittaus: pätö- ja loisteho, jännite ja virta sekä taajuus
- Verkosta oton ja verkkoon annon mittaus vaihekohtaisesti erikseen (ei netotusta mittarilla)
- Myös alle kolmen minuutin pituisten jännitteettömien aikojen rekisteröinti
- Mittauslaitteen toiminnallisuutta määrittelevien ohjelmistojen etäpäivitettävyyden
- Etäkatkaisu- ja kytkentätoiminnallisuus
- Paikallinen yksisuuntainen fyysinen tiedonsiirtoväylä, jonka päivitystaajuus on enintään 5 sekuntia

Monipuolisesti ja älykkäästi ohjattavan kodin näkökulmasta merkittävä kohta näissä vaatimuksissa on fyysisen tiedonsiirtoväylän tarjoaminen, jolloin myös kiinteistön erilaiset ohjausjärjestelmät pystyvät hyödyntämään mittarin tarjoamaa dataa mahdollisimman tehokkaasti. Tämä yhteys voitaisiin älyverkkotyöryhmälle tehdyn erillisen selvitystyön mukaan toteuttaa esimerkiksi Ethernet-, RS 485-, M-Bus- tai Modbus-väylällä. Toinen käyttäjän kannalta merkittävä esitys selvityksessä on vaihekohtainen mittaus ilman netotusta. Tämä uusi vaatimus on hyvä ottaa huomioon kohteissa, joissa tällä hetkellä hyödynnetään netottavan mittarin tuomaa etua omatuotannon yhteydessä (Pöyry 2017; Työ- ja elinkeinoministeriö 2018).

## 2.4 SLY-kytkentä

Sähkölaitosyhdistys (SLY) julkaisi vuonna 1986 ensimmäisen sähkölämmityskohteiden kytkentäsuosituksen, joka päivitettiin nykyiseen malliin vuonna 1992 (SLY 7/92). Tällä ”vakiokytkennällä” selvennettiin erilaisten sähkölämmityskohteiden kytkentätavat, joilla kuormat tulee suunnitella osaksi verkkoyhtiön ohjauksia ja jonka perusteella kuormien risteily tulee toteuttaa. Tätä ennen sähkölämmityskohteiden ohjauskytkennät suunniteltiin paikallisten sähköyhtiöiden vaatimusten mukaan, joka johti alueellisesti poikkeaviin ohjaustapoihin ja vaati keskusvalmistajilta räätälöityjä malleja palvelemaan erilaisia suunnitteluratkaisuja. SLY:n kytkentäsuosituksen myötä alueellisista ohjausratkaisuihin voitiin luopua ja keskusvalmistajien oli mahdollista siirtyä kaikkia palveleviin vakiokeskusmalleihin. Tämän jälkeen keskusvalmistajat ovat luoneet omia sovelluksiaan SLY-kytkennästä, mutta toimintaperiaate on edelleen pitkälti sama. Tämä kytkentäperiaate on esitetty SLY 1.2-version mukaisesti kuvassa 13 (Järventausta et al. 2015; Sähkötieto ry 2016).

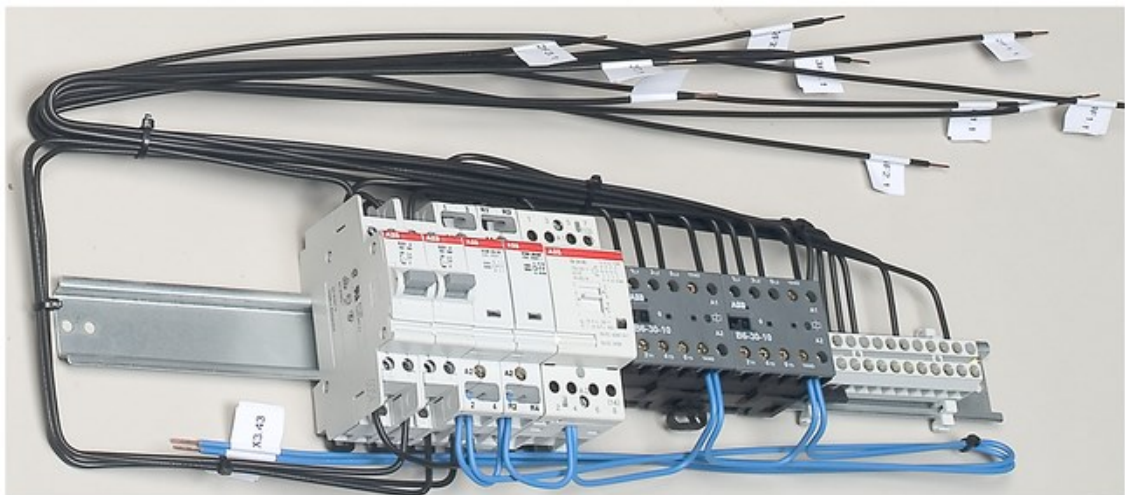


**Kuva 13.** Esimerkki omakotitalon sähkölämmityksen vakiokytkennästä (SLY 1.2) (Järventausta et al. 2015).

Kuvassa on esitetty suoralla ja varaavalla sähkölämmityksellä varustetun omakotitalon SLY-kytkentäsuositukseen perustuva ohjaus. Verkko-yhtiön ohjaamat releet K2 ja K3 sisältyvät nykyisen AMR-mittarin varustukseen. Ennen nykyisiä mittareita ohjaus toteutettiin erillisellä verkkokäsäkyohjaus-laitteella (VKO). Kuvasta nähdään, miten rele K2 ohjaa yöajalle siirryttäessä apureleitä 1K11 ja 2K12. Tämän seurauksena rele 1K11 ohjaa varaavat sähkölämmitykset välittömästi päälle ja viivästetty apurele 2K12 ohjaa asetetun viiveen kuluttua lämminvesivaraajan päälle. Tällä viivästyksellä voidaan tasata samaan aikaan tapahtuvaa tehopiikkiä, kun lämmityskuormat eivät kytkeydy kaikki samanaikaisesti päälle. Varaavan sähkölämmityksen ja lämminvesivaraajan ohjaukset ovat varustettu kytkimellä (3S1 ja 4S1), joilla kuormat on mahdollista ohjata päälle myös käsiohjauksella ajankohdasta riippumatta. AMR-mittarissa olevan releen K3 kärki on normaalilanteessa kiinni, jolloin sähkölämmitykset ovat suunnitellulla tavalla päällä. Tehonrajoitustilanteessa verkkoyhtiön on mahdollista ohjata releen K3 kärki auki, jolloin osa suorasta ja varaavasta sähkölämmityksestä ohjautuu pois päältä. Sähkötoimitusehdoissa on määriteltä, että lämmityselementtien sallittu jännitteetön aika verkkoyhtiön ohjaamana on korkeintaan 1,5 tuntia kerrallaan ja yhteensä 5 tuntia vuorokaudessa. Lisäksi jokaista jännitteetöntä aikaa kohden tulee seurata vähintään yhtä pitkä jännitteellinen ajanjakso (Energiateollisuus ry 2014). Tämän tehonrajoitustietoon perustuvan ohjauksen käyttöönotto on asiakkaan päätettävissä ja nykyisin ohjauksen hyväksymisestä ei ole enää tarjolla

taloudellista hyötyä kuluttajalle. Ohjaus voidaan ohittaa esimerkiksi kytkemällä releen K3 kärkien liittimet yhteen, jolloin ohjaus on jatkuvasti normaalitilanteessa. SLY-kytkentäsuosituksessa on myös esitetty, miten kiinteistön huipputehoa voidaan rajoittaa kiukaan risteilyohjauksella. Tällöin kiukaan vastusten ollessa päällä, kiukaalta tuleva ohjausjännite ohjaa apurelettä 10K11, jonka seurauksena osa sähkölämmityksistä kytkeytyy samanaikaisesti pois (Energiateollisuus ry 2014).

Tämä kytkentämalli on pitkään ohjannut sähkölämmitteisten pienikiinteistöjen lämmitys-kuormien ohjausperiaatteita, mutta muuttuvassa ympäristössä tarve tälle on vähentynyt. Tämän seurauksena monet keskusvalmistajien vakiokeskuksista ei enää automaattisesti sisällä kytkentäsuosituksen vaatimia komponentteja, vaan tarvittaessa nämä ovat ostettavissa erikseen myytävänä SLY-kytkentäpakettina, joka sisältää vaaditut ohjauskomponentit johdotuksineen (kuva 14).



*Kuva 14. SLY1.3 kytkentäyksikkö (ABB).*

## 2.5 Kodin varaavat järjestelmät

Energiamurroksen myötä sähköä varaavien järjestelmien merkitys kasvaa entisestään. Sydneyn teknillisen yliopiston Professori Guoxiu Wang vertaa osuvasti sähköä varastoitujen akkujen merkitystä pakastimen keksimiseen. Ennen pakastimen keksimistä ruoka jouduttiin käyttämään välittömästi hankkimisen jälkeen. Ruuan pakastaminen mahdollisti sen, että ruokaa voitiin hankkia suurempi määrä silloin, kun sitä oli tarjolla. Tämän jälkeen ruokaa voitiin säilöä ja kuluttaa tasaisesti tarpeen vaatiessa. Vastaavaa murrosta käydään sähkön osalta tällä hetkellä. Tähän mennessä tuotannon on pitänyt vastata kuluusta joka hetki. Sääriippuvaisen tuotannon lisääntyessä tarvitaan kysynnän jouston lisäksi keinoja varastoida energiaa suuren tuotannon hetkiltä niille ajanjaksoille, kun sille on enemmän kysyntää (Guoxiu 2017).

Tällä hetkellä tärkein varaava järjestelmä sähköverkon tasolla on pumppaavat vesivoimalaitokset. Näissä voimalaitoksissa on kaksi eri korkeudella olevaa vesiallasta, joissa ylempänä olevaa vettä lasketaan turbiinin läpi alempaan. Turbiini pyörittää edelleen moottorigeneraattoria, joka tuottaa sähköä verkon tarpeisiin. Tätä samaa periaatetta on kuitenkin mahdollista käyttää myös toiseen suuntaan, jolloin sähköntuotannon ylittäessä kysynnän tarpeet, voidaan moottorigeneraattorilla pyörittää turbiinia toiseen suuntaan, nostaen vettä alemmalta altaalta ylempään. Tällä tavoin altaat mahdollistavat suuren varaavan järjestelmän tasapainottamaan sähköverkon tuotannon ja kulutuksen välistä tasapainoa. Tällainen voimalaitos vaatii kuitenkin sopivat olosuhteet ympärillä olevalta maastolta, jonka vuoksi mahdollisuudet ovat rajalliset. Akkuteknologian uskotaan kehittyvän nopeasti erityisesti sähköautojen yleistymisen myötä. Tämä tarjoaa mahdollisuuden hajautettuun ja nopeasti reagoivaan sähköntuotantoon tulevaisuudessa. Tässä luvussa on esitelty, miten pienkiinteistön tasolla on mahdollista varastoida sähköenergiaa eri muodoissa silloin, kun sähköä on tarjolla kuluttajalle edullisesti esimerkiksi omatuotannon tai sähköntuotannon halvan tuntihinnan myötä.

### **2.5.1 Varaavat rakenteet ja lämminvesivaraaja**

Suomessa merkittävä osuus kodin sähköntuotuksesta syntyy tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksestä. Näiden kummankin etuna kysynnän jouston kannalta on se, ettei niiden välttämättä tarvitse olla päällä tarkkoina käyttäjän määrääminä ajankohtina. Riittää, kun käyttäjälle on tarjottu vaaditut olosuhteet, kuten lämmintä käyttövettä ja asetetuissa rajoissa pysyvät tilakohtaiset lämpötilat.

Tämä tarjoaa merkittävän mahdollisuuden erilaisille kysyntäjouston ratkaisuille tai omatuotannon optimoimiseen. Sähkölämmityskohteissa on perinteisesti pyritty eri tavoin hyödyntämään aikatariffiin perustuvaa halpaa yö sähköä, jolloin lämminvesivaraaja on ohjattu lämpiämään yöaikaan. Lisäksi erilaiset varaavat lämmitysjärjestelmät ovat lämmenneet yöaikaan ja luovuttaneet lämpövaraustaan päivällä tilojen lämmitykseen. Sähköntuotantorakenne on kuitenkin muuttumassa suuntaan, jossa sähköntuotannon hinnat halvimmat ajankohdat ei välttämättä enää ajoitu yöajalle. Esimerkiksi koko valtakunnan tasolla hyvin tuulisena päivänä voi lisääntyneen tuulivoiman myötä esiintyä tilanteita, jolloin tuotantoa olisi päivällä yöaikaa halvemmalla tarjolla. Näin ollen erilaiset kysyntäjoustomarkkinat ja tuntikohtaisen hinnan perusteella tapahtuva kuormien ohjaus olisi tarkempi tapa toteuttaa varaavien kuormien ohjaus jatkossa.

Myös muut talon rakenteet varastoivat aina oman osansa lämpöä, jonka avulla asunto voi pysyä merkittäviä aikoja riittävän lämpimänä asukkaille, vaikka suora sähkölämmitys olisi hetkellisesti katkaistu. Tämä mahdollistaa sen, että aggregaattorina toimiva taho voi kysyntäjoustoa vaadittaessa pudottaa osittain tai kokonaan asiakkaidensa lämmityksen hetkellisesti pois ilman merkittävää muutosta huoneiden lämpötiloissa. Tällöin kotia oh-



jaavaan energianhallintajärjestelmään (HEMS) on esimerkiksi ohjelmoitu käyttäjän olosuhdevaatimukset niin, että lämpötilan tulee aina pysyä asetetun rajan sisällä. Ensimmäisten ohjauksetojen jälkeen järjestelmä oppii, miten nopeasti kyseinen kiinteistö jäähtyy. Tämän jälkeen voidaan arvioida melko tarkasti, että miten suuri teho ja miten pitkään asiakkaiden lämmityksiä ohjaamalla pystytään joustoa sähkömarkkinoille tarjoamaan (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

Spot-hintaan perustuvaan sähkösopimukseen siirryttäessä kiinteistöä ohjaava järjestelmä voi suunnitella lämmitysjaksoja asiakkaan kannalta mahdollisimman edullisella tavalla. Sähkön markkinahinta tiedetään etukäteen jo edeltävänä päivänä, jonka myötä voidaan pyrkiä ohjaamaan lämmitys mahdollisimman tehokkaasti halvimpien tuntien ajalle käyttäjän vaatimat olosuhteet huomioiden.

Lämpimän käyttöveden varaaja on merkittävä kuorma vuorokausitasolla, sekä toimii hyvän eristyksensä ansiosta erinomaisena energiavarastona. Varaajaa on perinteisesti ohjattu AMR-mittarin välityksellä halvimmille yösähkön tunneille, jolloin lämmintä vettä on riittänyt koko seuraavalle päivälle. Lämminvesivaraajalle ei kuitenkaan ole väliä, milloin sitä lämmitetään, kunhan se on edeltävän vuorokauden aikana saanut lämmitettyä yhteensä riittävän pitkään. Tämä mahdollistaa sen, että myös käyttöveden lämmitykseen voidaan pyrkiä löytämään vuorokauden tasolla halvimmat hinnat. Tällöin ohjausjärjestelmä varmistaa sen, että varaaja on kaiken aikaa lämmennyt vaaditun ajan edeltävän 24 tunnin aikana (Green Energy Finland, yritystapaaminen 2018).

Lämminvesivaraajan lämmitys on myös hyvä kohde sähkön omatuotannon ohjaamiseksi omaan käyttöön. Tällöin ohjausjärjestelmä voi kytkeä lämminvesivaraajan päälle esimerkiksi aina, kun oma tuotanto ylittää kiinteistön muun kulutuksen. Ohjausjärjestelmä voi myös oppia ennakoimaan tämän tuotannon määrän kokemuksen ja sääennusteen perusteella, jolloin lämminvesivaraajan lämmitysaikojen suunnittelussa ohjausjärjestelmä osaa varata riittävästi lämmitysaikaa myös omatuotannon hyödyntämiselle. Lämmin käyttövesi on optimaalinen aurinkopaneelien tuotannon kohteeksi myös sen takia, että paneelien tuotanto on tyypillisesti parhaimmillaan kesällä, jolloin kiinteistön muuta lämmitystä on tuotannon kohteeksi vaikea hyödyntää.

## 2.5.2 Kotiakku

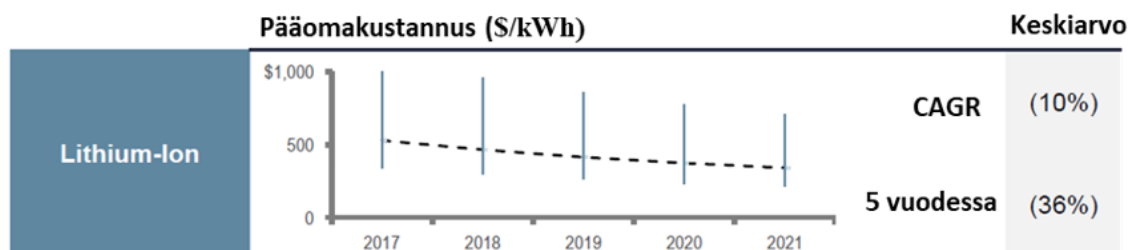
Tällä hetkellä markkinoilla olevat vaihtoehdot viittaavat vahvasti siihen, että kodin kiinteät sähkövarastot tulevat ainakin lähitulevaisuudessa perustumaan seinälle tai lattialle asennettavaan Li-ion pohjaiseen kotiakkuun. Kotiakuista monelle tunnetuin on varmasti Teslan Powerwall, mutta viime vuosina moni alan toimija on tuonut markkinoille omat vastaavat tuotteensa.

Li-ion akut saavat nimensä positiivisesti varautuneista litiumioneista, jotka akkua ladattaessa tai purkaessa liikkuvat elektrolyytin kuljettamana elektrodilta toiselle. On kuitenkin

huomionarvoista tiedostaa, että litiumioniakun elektrodirakenteet voivat koostua akkutyypistä riippuen eri materiaaleista. Näistä materiaaleista rajoittavin on koboltti, joka on ainakin monissa nykyisissä akkutyypeissä vielä välttämätön raaka-aine. Koboltti-riippuvuuden haaste on, että noin 60 % maailman koboltista tuotetaan Kongon demokraattisessa tasavallassa (Investing news). Nimestään huolimatta maa on epävakaan hallituksen ja ihmisoikeusrikkomusten myötä haastava kauppakumppani imagostaan ja tuotantovarmuudesta välittäville akkuvalmistajille. Tämän vuoksi Koboltille pyritään löytämään vaihtoehtoisia toimittajia ja tämän määrää pyritään akuissa minimoimaan. Myös Suomella on kohtalaiset valmiudet tuottaakseen akkuteknologian vaatimia raaka-aineita, sillä Talvi-vaaran kaivoksissa tuotetaan litiumioniakuissa tarvittavaa nikkeliä ja kobolttia. Lisäksi Kaustisilta on löytynyt merkittävät litiumesiintymät, joiden potentiaali on tämän työn kirjoitushetkellä vielä tarkasteluvaiheessa (Dosentti Kai Vuorilehdon puhelinhaastattelu).

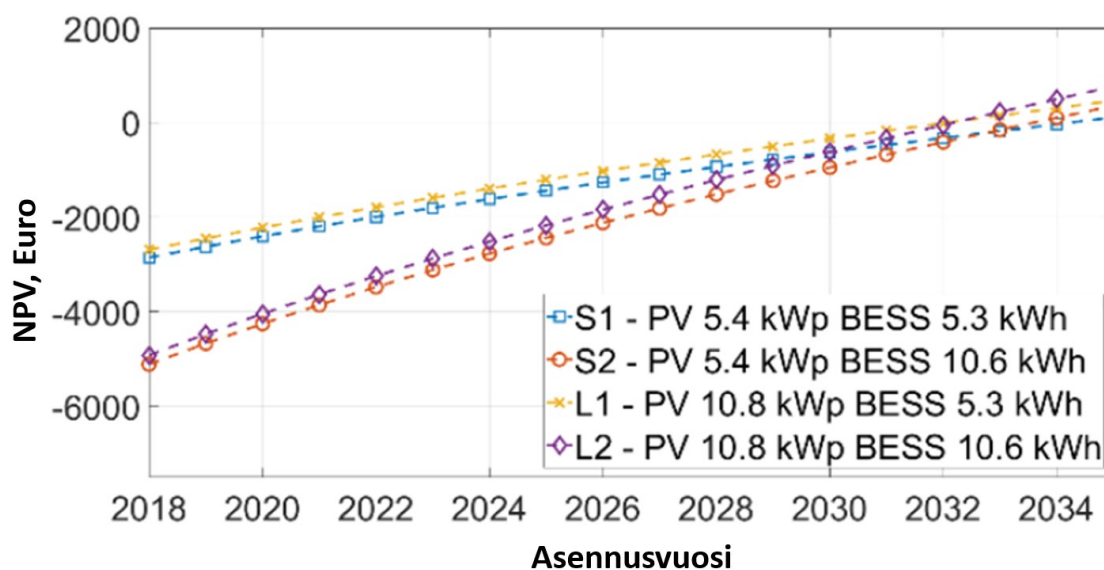
Tällä hetkellä kotiakun avulla voidaan käyttäjälle tuoda taloudellista hyötyä lähinnä sähkön tuntihintojen vaihtelun avulla, sekä maksimoimalla akun avulla aurinkopaneelin tuotannon omaan käyttöön menevä osuus. Tällöin akkua ladataan verkosta hinnan ollessa halvimmillaan ja vastaavasti puretaan huippuhintojen aikaan. Lisäksi aurinkopaneelin tuotannon ylittäessä kiinteistön muun kulutuksen, voidaan ylituotanto varastoida akkuun paremmille ajankohdille sen sijaan, että tuotanto jouduttaisiin myymään verkkoon. Akun avulla on myös mahdollista turvata tärkeimpien laitteiden toiminta sähkökatkon aikana. Lisäksi markkinoilla on esitelty sovelluksia, joissa akun avulla voidaan nostaa hetkellisesti sähköauton lataustehoa yli liittymäkoon salliman rajan, kun puolet lataustehosta otetaan verkosta ja toinen puoli akusta (Smart E Europe 2018, Green Energy Finland 2018). Näiden sovellusten käytännön toteutuksia on käsitelty työn kolmannessa luvussa.

Tällä hetkellä kotiakun hinta on vielä niin korkea, että pelkästään taloudellisen edun saavuttamiseksi sen hankinta on vaikea perustella. Li-ion akkujen hinta on kuitenkin laskenut voimakkaasti ja hinnan uskotaan jatkavana laskuaan noin 10 % vuositahtia myös lähitulevaisuudessa (Lazard 2017). Tähän merkittävänä ajurina toimii sähköautojen myötä syntynyt akkujen kasvava kysyntä, joka mahdollistaa näiden massatuotannon entistä isommissa mittakaavoissa. Kuvassa 15 on esitetty li-ion akkujen ennustettu hintakehitys seuraavan viiden vuoden aikana sekä hinnan yhdistetty vuotuinen kasvuvauhti (CAGR).



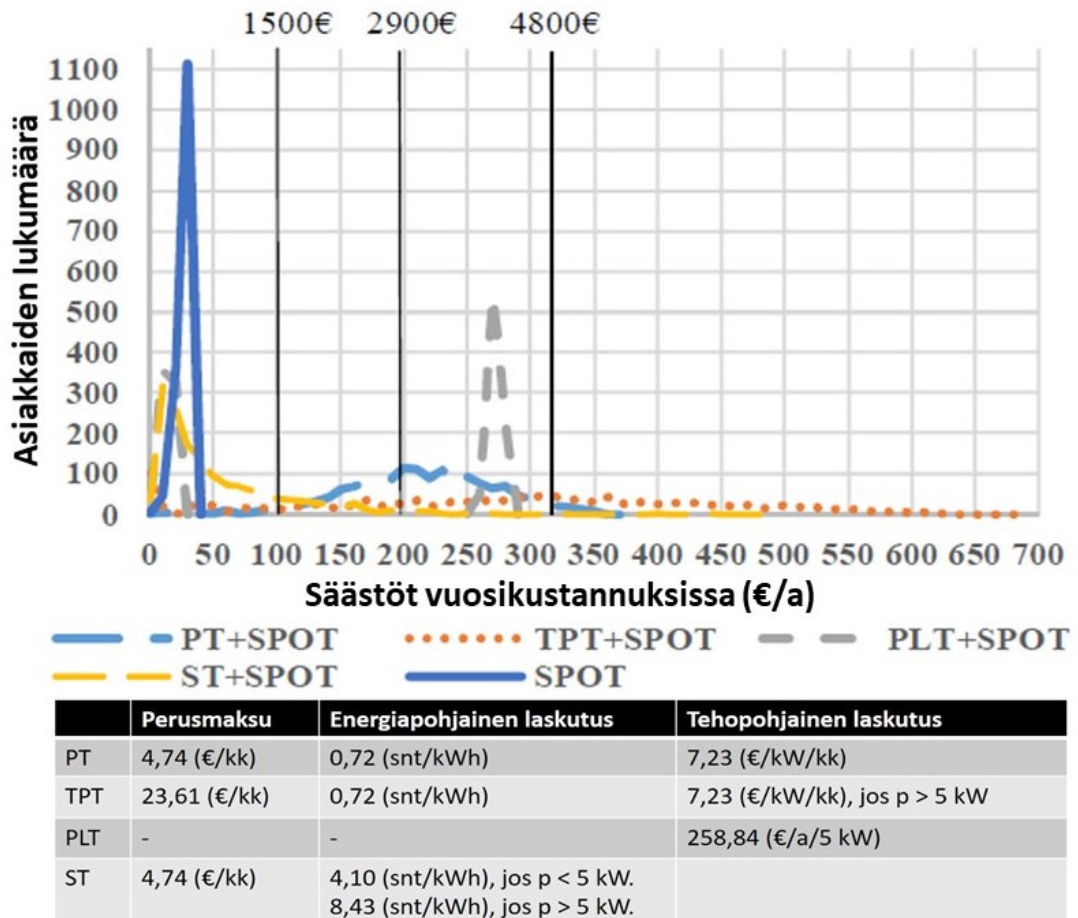
**Kuva 15.** Litiumioniakun ennustettu hintakehitys (Lazard 2017).

Kotiakun taloudellinen kannattavuus Suomessa saattaa kestää vielä yli vuosikymmenen. TkT Dmitry Kuleshov on konferenssijulkaisussaan mallintanut kotiakun investoinnin kannattavuutta keskikokoisessa suomalaisessa omakotitalossa (kuva 16). Mallinnuksen perusteella optimistisimmassakin vaihtoehdossa kotiakku tulee taloudellisesti kannattavaksi investoinniksi vasta 2033 vuoden jälkeen (Kuleshov et al. 28.09.2018). Mallinnuksessa akun takaisinmaksu perustuu pelkästään aurinkopaneelin tuotannon maksimointiin omaan käyttöön, joten mahdollisesti jatkossa kehittyvät muut ansaintamahdollisuudet saattavat tehdä akun hankkimisesta taloudellisesti houkuttelevaa jo aiemmin.



**Kuva 16.** Kotiakun nettonykyarvo yhdessä aurinkopaneelien kanssa Suomessa (Kuleshov et al. 28.09.2018).

Tampereen Teknillisen Yliopiston (TTY) Juha Koskela on tuoreessa julkaisussaan tutkinut tiittävästi ensimmäisenä kotiakun hyödyntämismahdollisuuksia, kun kiinteistön sähkölasku pohjautuu tehopohjaiseen sähkön siirtohinnaan ja spot-hintaan perustuvaan sähköenergian tuntihintaan (kuva 17). Simuloinnissa kohteina on käytetty yhteensä 1525:n todellisen sähkölämmitteisen kohteen kulutusprofiilia ajanjaksolla 1/2014-8/2016. Kuvan 17 mallinnuksessa kohteisiin on valittu 6 kWh Litium-rautafosfaattiakku (LFP), joka on C-arvoltaan 0,7C (kuormitettavissa 4,2 kW:n teholla). Tämän akun hinta asennettuna on arvioitu vuodelle 2020 (1500 €), vuodelle 2018 (2900 €) sekä vuodelle 2015 korkein toteutunut markkinahinta (4800 €). Nämä akkujen hinnat on merkitty kuvaan kohtaan, jonka verran säästöjä vuodessa on saatava, jotta akku maksaisi itsensä takaisin käyttöäksi arvioidussa 15 vuodessa. Sähköenergian spot-hinnoiksi simuloinnissa on käytetty vuoden 2015 toteutuneita Nord Poolin day-ahead hintoja. Tehopohjaisen siirtomaksun hinnoitteluperiaatteeksi on valittu neljä eri vaihtoehtoa, joiden sisältö on selitetty alla erikseen. Kuvan tapauksessa akun ohjaus on toteutettu ideaalisella ohjaustavalla, jolloin tulevien kuormitusten ennustusvirheen vaikutusta ei ole huomioitu. Tämän ennustevirheen vaikutusta on käsitelty julkaisussa erikseen (Koskela et al. 2018).



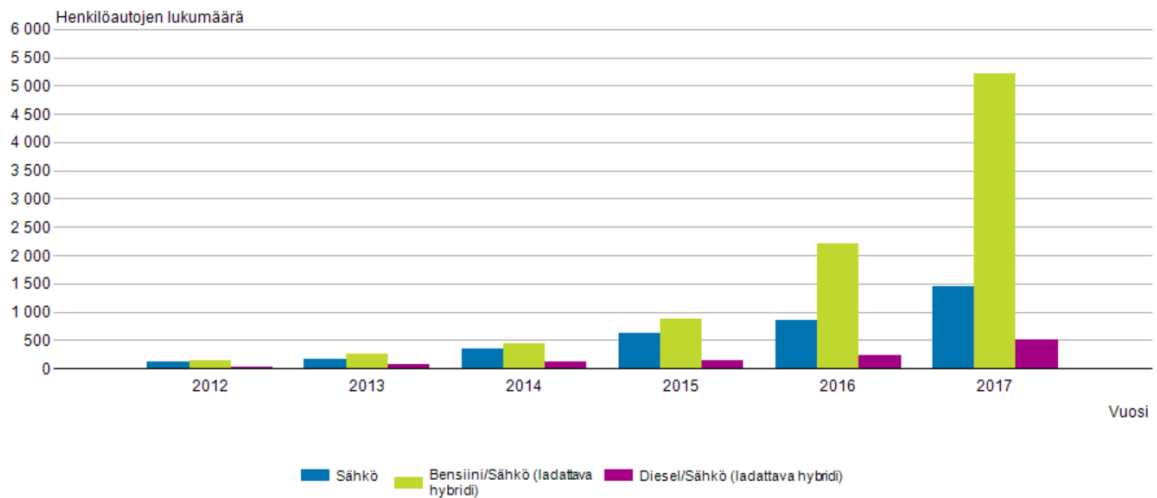
*Kuva 17. Kotiakun mahdollistama säästöpotentiaali yhdessä tehopohjaisen siirtomaksun ja spot-hintaan perustuvan sähköenergian hinnan kanssa (Koskela et al. 2018).*

Kuvasta nähdään, että siirtomaksun pohjautuessa tehotariffiin (PT) tai tehorajatariffiin (PLT), on vuoden 2020 arvioiduilla kotiakun hinnoilla sijoitus isolle osalle asiakkaita selvästi kannattavaa. Kuvaajaa arvioidessa on hyvä huomioida, että esimerkiksi sähkön spot-hintojen vuorokauden sisäiset vaihtelut, käytetyt sähkön siirron tehomaksun suuruudet ja akun hinnat tulevaisuudessa ovat arvioita, jolloin näiden muutoksilla on iso merkitys akkuinvestoinnin kannattavuuteen jatkossa (Koskela et al. 2018).

### 2.5.3 Sähköauton hyödyntäminen

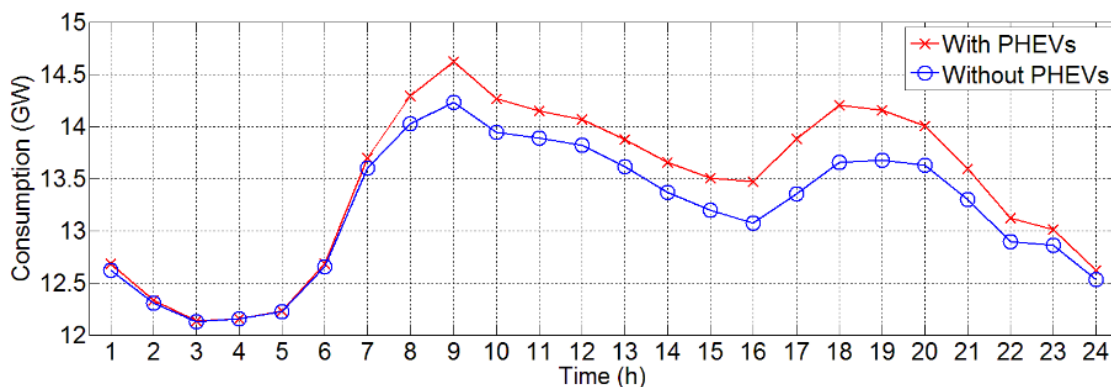
Ladattavien sähkö- ja hybridautojen määrä on Suomessa kasvanut voimakkaasti viimeisen viiden aikana (kuva 18). Samalla autoyhtiöt yksi toisensa jälkeen on tuonut markkinoille omia sähköisiä mallejaan ja esimerkiksi Volvo on ilmoittanut siirtyvänsä pelkästään sähkö- tai hybridautojen valmistukseen vuodesta 2019 alkaen (Vaughan 2017). Ladattavien sähkö- tai hybridautojen yleistymisen on yksi merkittävä osa meneillään olevaa energiamurrosta. Suomen autokantaan kuuluu yli kolme miljoonaa erilaista autoa

(Trafi 2018), joten pienenkin osuuden muuttuessa sähköä verkosta lataavaksi aiheuttaa jo huomion arvoisen uuden kuorman sähköjärjestelmäämme.



**Kuva 18.** Sähköautojen ja ladattavien hybridien määrä Suomessa 2012-2017 (Trafi 2018).

Sähköautojen ja hybridien määrän lisääntymisellä on erilaisia vaikutuksia sähköverkon eri osille. Tätä haastetta voidaan tarkastella erikseen sähkön tuotannon, siirtoverkon, jakeluverkon sekä kodin sähköverkon näkökulmasta. Kuvassa 19 on esitetty arvio siitä, miten miljoona sähköllä ladattavaa hybridi autoa ilman älykästä latauksen hallintaa vaikuttaisi sähkötehoon Suomessa normaalin vuorokauden aikana. Vaikutus huipputehoon on kokonaiskuvassa yllättävän pieni. Lisäksi oleellista on älykkään verkon tuomat mahdollisuudet hallita lataustilanteita järkevästi kaikkien verkon osapuolien näkökulmasta. Kun pidemmän ajanjakson aikana tapahtuva lataus tapahtuu esimerkiksi sähkön hintaan ja sallittuun huipputehoon perustuen, niin auton latauskuorma osallistuu samalla osaltaan kysyntäjoustoon. Tällöin vaikutus sähköverkon huipputehoon pienenee ja käyttäjä säästää osaltaan kustannuksissa. Vastaavasti jakeluverkon tasolla on löydettävä keinoja, joilla esimerkiksi koko naapuruston samanaikainen ja samasta vaiheesta tapahtuva pystyittäisiin hallitsemaan järkevästi. Kodin sähköverkon kannalta on taas hallittava, että latausteho pystyittäisiin maksimoimaan pääsulakkeiden sallimissa rajoissa. Näihin käytännön ratkaisuihin syvennyttään tarkemmin kolmannessa luvussa. Sähköllä ladattavien autojen vaikutusta sähköverkon eri osiin on tarkasteltu kokonaisvaltaisesti Tkt Antti Rautiaisen väitöskirjassa ”Aspects of Electric Vehicles and Demand Response in Electricity Grids” (Rautiainen 2015).



**Kuva 19.** Esimerkimmallinnus miljoonan ladattavan hybridin vaikutuksesta Suomen sähkötehoon vuorokauden eri tunneilla (Rautiainen 2015).

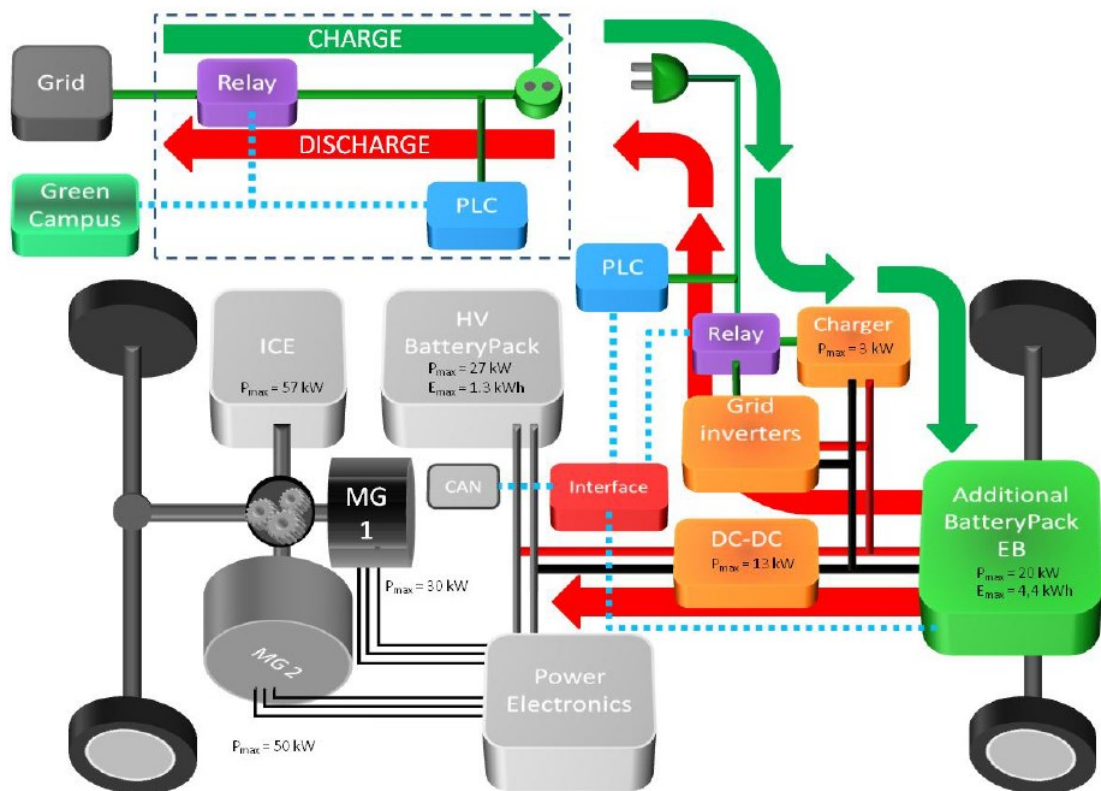
Sähköautojen ja ladattavien hybridien hyödyntäminen on mielenkiintoinen mahdollisuus myös energian varastoinnin kannalta. Autojen akuissa on merkittävä energiavarasto, joka monesti on ison osan päivää käyttämättä latauspistokkeen päässä. Tätä akkuvarastoa voitaisiin pyrkiä hyödyntämään kotona kotiakun tavoin tai julkisilla latausasemilla osana sähköverkkojen kysyntäjoustomarkkinoita. Puhuttaessa auton akun purkamisesta muuhun käyttöön käytetään tästä käsitteitä V2G (Vehicle to Grid) tai V2H (Vehicle to Home) riippuen siitä, että puretaanko auton akkua kiinteistön omaan käyttöön vai syöttääkö se energiaa sähköverkkoon.

Ensimmäisiä julkisia latauspaikkoja, joissa on mahdollisuus myydä auton akun muodostamaa sähkövarastoa verkon suuntaan, on jo Suomessa pilotoitu. Tällöin liiketoiminta perustuu siihen, että latauspisteen haltija toimii aggregaattorina ja myy sähkömarkkinoille joustoa, joko tiputtamalla latauspisteiden tehoa tai syöttämällä sähköä latauksessa olevista autoista verkkoon. Auton rekisteröitynyt omistaja taas voidaan palkita osallistumisesta tähän toimintaan. Tällainen liiketoimintamalli voi olla haasteellinen toteuttaa pikalatauspisteissä, joissa asiakas luonnollisesti toivoo autonsa latautuvan mahdollisimman nopeasti. Toisaalta sellaisissa paikoissa, joissa käyttäjä jättää autonsa esimerkiksi työpäivänsä tai lomamatkansa ajaksi parkkiin, niin kumpikin osapuoli voisi hyötyä tämän kaltaisesta mahdollisuudesta (Virta 2018).

Sähköauton tai ladattavan hybridin käyttö kotiakun tavoin kodin sähkövarastona on toistaiseksi harvoin mahdollista. Ongelmaksi tulee tällöin, että kodin lataus tapahtuu tyypillisesti vaihtovirtalaturilla, jolloin muunnos tasasähköön tapahtuu vasta auton invertterillä. Tämä invertteri ei pysty yleensä muuntamaan akuston tasasähköä takaisin vaihtosähköksi. Kaksisuuntaisesti toimivan auton invertterin lisäksi latauslaitteelta vaadittaisiin kyky tahdistua sähköverkon taajuuteen. Verkkoon syöttö olisi mahdollista, jos kotona käyttöön otettaisiin julkisten latauspisteiden kaltainen kahteen suuntaan toimiva tasasähkölaturi. Tehoelektroniikka on kuitenkin toistaiseksi liian kallista, jotta tällainen ratkaisu



yksityiskäytössä olisi kannattavaa. Lisäksi ongelmaksi tulee se, että tällaisessa kodin latausjärjestelmässä laturin ja auton välinen tiedonsiirto perustuu vielä pääosin IEC 61851-standardissa määriteltyyn rajapintaan, jonka toiminnallisuudet ovat rajalliset. Kyseisellä rajapinnalla laturi ei esimerkiksi saa tietoa akun varaustilanteesta, jotta voitaisiin arvioida, että paljonko akusta voidaan purkaa ulkoiseen käyttöön. Tähän haasteeseen on kuitenkin ratkaisuja olemassa. Kehittyneempi digitaalinen ISO 15118-standardiin pohjautuva rajapinta auton ja laturin välillä mahdollistaa älykkäämmän tiedonsiirron laitteiden välillä ja on suunniteltu tukemaan syöttöä myös auton akusta verkon suuntaan. Kumpaakin suuntaan toimivilla latureilla varustettuja autoja sekä verkon syöttöön kykeneviä latauslaitteita on jo olemassa, mutta nämä ovat toistaiseksi harvinaisia. Kuvassa 20 on havainnollistettu kahteen suuntaan toimivan ladattavan hybridin toimintaperiaate osana Lappeenrannan teknillisen yliopiston Green Campus-hanketta (Ensto 2016; Parviainen 2018; OVO Energy 2018).



**Kuva 20.** Verkon syöttöön kykenevän PHEV:n toiminta osana Green Campus-projektin älyverkkoa (Makkonen et al. 2014).

## 2.6 Home Energy Management System

Tavallisiin koteihin tarjotaan nykyisin entistä enemmän erilaisia älykkäästi ohjattavia järjestelmiä ja yksittäisiä laitteita. Älykkäänä laitteena voidaan pitää sellaista, joka tarjoaa normaalia enemmän mahdollisuuksia ohjattavuuteen, sekä tarjoaa informaatiota omasta

tilastaan käyttäjälle tai muille laitteille. Yksittäisten älylaitteiden kohdalla tämä ohjattavuus ja tiedonsiirto voidaan välittää suoraan kodin reitittimen välittämänä taustapalvelimelle (kuva 21 C). Tällaisia yksittäisiä laitteita voi olla esimerkiksi aurinkopaneelin invertteri tai lämminvesivaraa (ns. älyvaraaja). Älykodista puhutaan alalla yleensä tilanteissa, joissa erilaisia talotekniikan järjestelmiä ja älykkäitä laitteita on tavalla tai toisella integroitu tiedonsiirron tasolla yhteen. Tämä kokonaisuus on voitu yhdistää talon reitittimen kautta internet-serverille, jonka kautta laitteet on hallittavissa paikasta riippumatta esimerkiksi kännykällä tai muulla päätelaitteella. Tällaisen integraation etuna on keskitytyn ohjauksen lisäksi se, että talon eri laitteet voivat jakaa tietoa tilastaan muiden käyttöön, jolloin voidaan pyrkiä optimoimaan talotekniikan toimia kokonaisuutena.

Tähän mennessä tällaiset integraatiot ovat tyypillisesti toteutettu jonkinlaisen kotiautomaatiojärjestelmän (HBES) avulla (kuva 21 D). Tämä kotiautomaatio voi tarkoittaa esimerkiksi logiikkapohjaista keskusyksikköä, jossa on aseteltavia kärkiohjauksia eri laitteiden ohjaamiseen ja erilaisia sisääntuloja tila- ja mittaustietojen vastaanottamiseksi. Tällöin logiikkayksikkö ohjaa ohjelmoitujen toimien mukaisesti laitteita saadun informaation perusteella. Kiinteistön ohjausta voidaan toteuttaa myös erilaisten väylätekniikoiden välityksellä, jolloin ohjaus perustuu kärkitietojen sijaan väyläpohjaiseen viestintään yhteensopivien laitteiden välillä. Tunnetuimpia tällaisia väyläpohjaisia ratkaisuja pienkiinteistöissä on valaistuksen monipuoliseen ohjaamiseen suunniteltu DALI-väylä ja laajemmin talotekniikan yhteensopivia laitteita hallinnoiva KNX-järjestelmä.

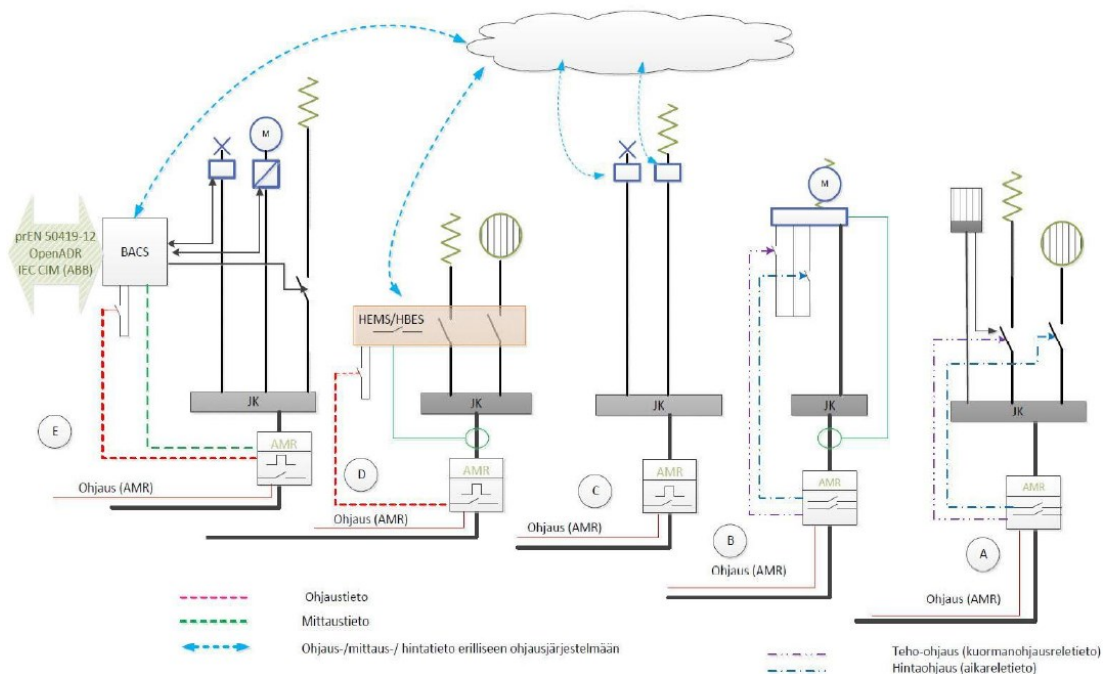
Meneillään olevan energiamurroksen myötä on tullut tarve ohjata kiinteistön energiankulutusta ja tuotantoa optimaalisella tavalla. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi erilaisten varaavien kuormien ohjaamista hetkille, jolloin sähkö on tuntihinnaltaan halvinta tai kiinteistön aurinkopaneelien tuotanto on parhaimmillaan. Tällaisen omatuotannon, varastoinnin ja kuormien optimaaliseen ohjaamiseen tarkoitettua järjestelmästä käytetään nimitystä Home Energy Management System (HEMS). Oleellisena erona HEMS-järjestelmän ja kotiautomaation välillä käsitteenä on, että HEMS-ympäristön ydintoiminto on mitata, monitoroida ja ohjata kiinteistön energiankulutusta niin, että ratkaisu on kuluttajan kannalta kustannustehokkain. Samalla järjestelmän palveluntarjoaja voi useamman hallinnassa olevan kiinteistön avulla tarjota sähkömarkkinoille erilaisia aggregointipalveluita.

Tällainen HEMS-ympäristö voi olla valmistajasta riippuen rakenteeltaan hieman erilainen. Yhteistä näissä on kuitenkin se, että tarvittavat mittaukset, tilatiedot ja ohjaukset on yhdistetty taustalla toimivaan pilvipalvelimeen tiedot kokoavan gatewayn välityksellä. Tämä gateway voi olla integroituna esimerkiksi kiinteistön kokonaiskulutusta mittaavaan älymittariin (smart meter), aurinkopaneelin invertteriin tai kokonaisuutta hallitsevaan erilliseen ohjainlaitteeseen. Pilvipalvelimen avulla on saatavilla järjestelmän hallinnan kannalta tärkeitä tietoja kuten sääennusteita ja sähkön pörssihintoja, joiden perusteella



kiinteistön kuormien hallintaa voidaan optimoida. Lisäksi tällaisen pilvipalvelimen välityksellä on käyttäjän mahdollista seurata päätelaitteensa avulla sähkön kulutusta, tuotantoa ja varastointia sekä tehdä erilaisia ohjauksia ja asetuksia sijainnistaan riippumatta.

Vuoden 2018 The smarter E Europe-messuilla Münchenissä esiteltyjen erilaisten ratkaisujen perusteella HEMS-ympäristön tärkeimpänä määrittäneä voisi pitää sitä, että taustalla toimii jokin pilvipalvelin-pohjainen järjestelmä, jonka ensisijainen tarkoitus on nimensä mukaisesti kiinteistön energian hallinta. Tyypillisesti tällaiseen kokonaisuuteen kuuluu keskenään tiedonsiirron tasolla yhteensopivat energian mittaukset, lämmitysjärjestelmän ohjaukset, asennettua sähkön omatuotantoa, sähköauton latauslaite ja kotiakku. Lisäksi järjestelmään voi olla liitettynä erilaisia älykkäitä kodinkoneita, joille voidaan välittää esimerkiksi halvimmat tunnit näiden toiminnalle.



*Kuva 21. Ohjaustiedon välityksiperiaatteet kiinteistön kuormien ohjauksessa (Järven-tausta et al. 2015).*

## 2.7 Yhteenveto nykytilanteen haasteista

Tiukentuneet päästörajoitukset ja energiatehokkuusvaatimukset suosivat puhtaampien sääriippuvaisten tuotantomuotojen käyttöä. Ne tuovat mukanaan muutoksia kaikille osaluueille energian tuotantolaitoksista aina loppukäyttäjän kulutuspaikalle asti. Ensimmäiset ilman tukea kannattavaksi lasketut tuulivoimalat ovat myös jo Suomen markkinoilla. Tämän odotetaan johtavan entistä vähemmän joustoa tarjoavaan ja entistä sääriippuvaisempaan tuotantoon, jonka myötä joustoa on haettava energian varastoinnista ja kysyntäjoustosta. Joustavuuden tarvetta lisää se, että viime vuosina Suomen säädettävästä sähköntuotantokapasiteetista on jo poistunut noin 2500 MW. Lisäksi useamman säädettävän

CHP-laitoksen tulevaisuus on epävarma ja Olkiluoto 3 lisää valmistuessaan joustavuuden tarvetta entisestään (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018). Jotta sähköverkossa oleva osittain sääriippuvainen tuotanto ja verkkoon kytketyt kuormat voisivat olla yhtä suuret joka hetkellä, se vaatii ympärilleen entistä älykkään sähköverkon. Kun eri osapuolet tuotannosta loppukäyttäjään siirtyvät entistä älykkäämpään ympäristöön, se tarjoaa sähköverkon tehotasapainon säilyttämisen lisäksi monenlaisia mahdollisuuksia eri osapuolille.

Älykäs ja mahdollisimman energiatehokas koti on pinnalla oleva aihe, johon tarjotaan erilaisia ratkaisuja. Haasteena on, että tarjolla olevia ratkaisuja on monia ja kehitys on ollut nopeaa. Tämän vuoksi kuluttajan lisäksi alan ammattilaistenkin voi olla vaikeaa ymmärtää eri järjestelmien toimintaperiaatteita ja fyysisiä komponenttitason vaatimuksia. Lisäksi käyttäjä saattaa joutua tietämättään tilanteeseen, jossa on sidottu tietyn järjestelmätuotteen tukemisiin komponentteihin ja laitevalintoihin. Eri toimittajien tarjoamat kodin älykkäät ratkaisut on myös monesti esitelty hyvin suuntaa antavilla viivadiagrammeilla, jolloin kokeneemmallekin alan asiantuntijalle voi olla haasteellista ymmärtää, mitä toteutus fyysisellä tasolla vaatii esimerkiksi tilavarausten, kaapelointien ja muiden laitteiden tai komponenttien osalta. Seuraavassa luvussa on pyritty esittämään, uudet järjestelmät ja näiden yhteensovittaminen pienkiinteistön sähkösuunnittelun näkökulmasta.

## 3. JÄRJESTELMIEN TOIMINNALLISUUDET JA KYTKENTÄ

### 3.1 Ohjattavat kuormat

Erilaiset tavat osallistua kysyntäjoustoön, sekä pyrkimys omatuotannosta saadun hyödyn maksimointiin, ovat tuoneet mukanaan uudenlaisia tarpeita ohjata kiinteistön kuormia halutuille ajanjaksoille. Lisäksi huipputehon hallinta on monesti jo nykyisin taloudellisesti perusteltua kiinteistön pääsulakkeiden koon rajoittamiseksi. Tulevaisuudessa määritellyn ajanjakson huipputehon on arvioitu vaikuttavan osaltaan myös sähkölaskun suuruuteen, jolloin tarve kuormien hallintaan kasvaa entisestään. Tällainen pienasiakkaille kohdistettu tehotariffiin pohjautuva hinnoittelu on jo Suomessa mahdollista valita muutamien verkkoyhtiöiden asiakkailta. Tässä luvussa on esitelty, mitä pienkiinteistön isompia kuormia on mahdollista hallita ja miten näitä ohjauksia on käytännössä toteutettu. Taulukossa 1 on tiivistetty erilaiset kuormien ohjaustavat, joiden tarkemmat yksityiskohdat on esitetty seuraavissa alaluvuissa.

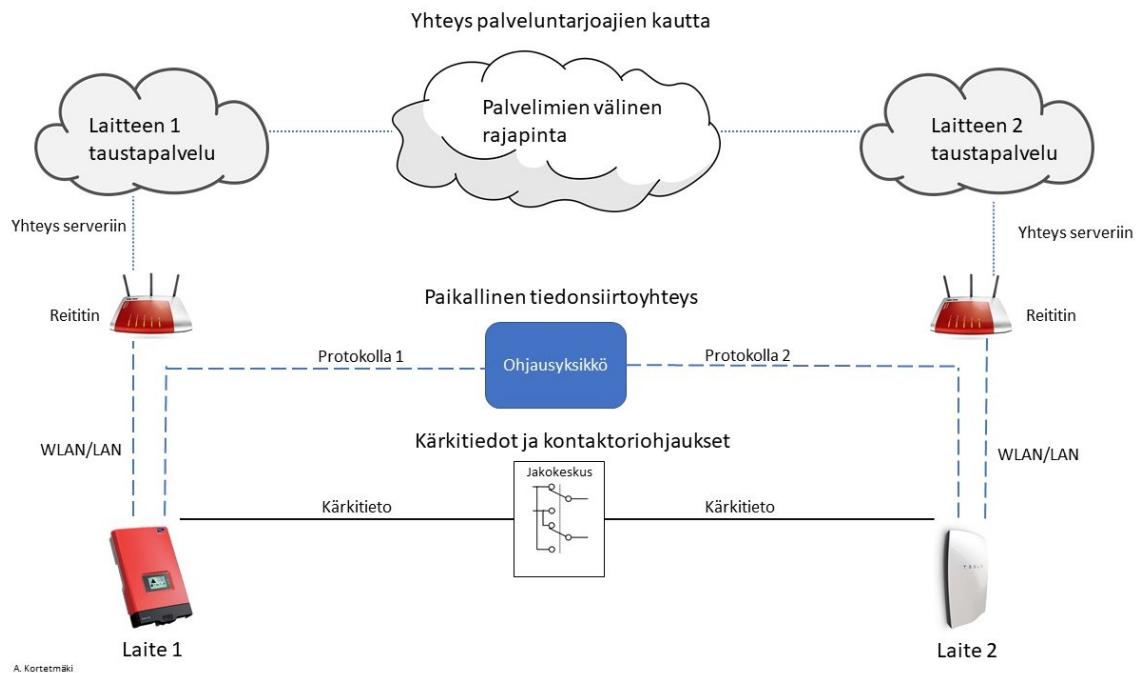
*Taulukko 1. Kiinteistön ohjattavat kuormat ja ohjaustavat.*

Ohjattava kuorma	Lämminvesivaraaja	Sähkölämmittimet
Ohjaustapa	Kontaktorin ohjaus Erillinen älyvaraaja Dynaaminen ohjaus (Fronius Ohmpilot)	Ryhmän kontaktiohjaus keskukselta Langaton releohjaus laitekohtaisesti Wifi-termostaatit
Ohjattava kuorma	MLP/PILP/VILP	ILP
Ohjaustapa	Kärkitieto (Aux) Kärkitiedot (Smart grid) Väyläliitäntä	Langaton ohjain (IR)
Ohjattava kuorma	Sähköauton lataus	Kotiakku
Ohjaustapa	Suora kontaktiohjaus Kärkitieto (valvontarele, kiukaan risteily) Dynaaminen ohjaus (virtamuuntajalla)	Oma virtamuuntaja ja taustapalvelin Ohjaus energianhallintajärjestelmältä
Ohjattava kuorma	Älykäs kodinkone	Pistorasiat
Ohjaustapa	Yhteys laitteen taustapalvelimelle Yhteys energianhallintajärjestelmään	Ryhmän kontaktiohjaus Langaton pistorasia Ohjaus PLC-tekniikalla

#### 3.1.1 Tiedonsiirto eri järjestelmien välillä

Suunnitellessa mahdollisimman hyvin integroitua kotia, jossa älykkäät laitteet keskustelevat keskenään, haasteeksi voi muodostua laitteiden tukemat protokollat. Vaikka laitteilta löytyisi monipuolisia ominaisuuksia, niin ilman yhteistä kieltä, eli protokollaa, eivät

nämä laitteet voi vaihtaa tietoa keskenään. Mikäli kaksi eri järjestelmää tai laitetta kommunikoivat eri protokollan avulla, väliin tarvitaan protokollasta toiseen muuntava laite tai keskusyksikkö, joka ymmärtää eri protokollia ja hallinnoi laitteiden toimintaa keskitetysti. Kuvassa 22 on esitetty, miten kahden eri laitteen tai järjestelmän välillä kiinteistössä on mahdollista välittää tietoa. Perinteisin tapa on yksinkertaiset loogiset ohjaukset, jotka perustuvat laitteiden välittämiin kärkitietoihin ja kontaktoriohjauksiin. Älykkäämissä ympäristöissä kaksi eri laitetta tai järjestelmää voivat vastaanottaa ja lähettää tietoa jonkin protokollan välityksellä. Nämä voivat yhteisellä protokollalla olla suoraan yhteydessä toisiinsa tai välittää tietonsa kokonaisuutta hallitsevalle ohjainlaitteelle, joka ymmärtää eri tiedonsiirtoprotokollia ja kokoaa tiedon yhteen. Kahdella yksittäisellä älykkäällä järjestelmällä voi olla myös suora yhteys reitittimen välityksellä omalle pilvipalvelimelleen. Jos näitä pilvipalvelimien tietoja halutaan hyödyntää jonkin toisen taustapalvelimen käyttöön, niin tarvitaan myös pilvipalvelimien tasolle jonkinlainen rajapinta, joka tämän tiedonsiirron mahdollistaa. Esimerkkinä tällaisesta voisi olla, että aurinkopalvelimen invertteri on yhdistetty suoraan laitevalmistajan taustajärjestelmään, josta käyttäjä voi kulutustaan seurata. Halutessa käyttää näitä tietoja hyväksi osana energianhallintajärjestelmän (HEMS) toimintaa, niin tulee tiedonsiirto näiden järjestelmien taustapalvelimien välillä jollakin keinolla mahdollistaa.



**Kuva 22.** Järjestelmien välisen tiedonsiirron eri toteutustavat.

Protokollalla ei tarkoiteta tiettyä tapaa, jolla fyysinen yhteys laitteiden välillä toteutetaan, vaan tarkoitus on mahdollistaa laitteiden välinen kommunikointi yhteisellä kielellä. Näin ollen yhteisellä protokollalla välitetty viesti voi siirtyä yhtä lailla langattomasti tai langallisesti. Kotiautomaatiolle ei ole olemassa tiettyä standardoitua tiedonsiirtotapaa tai protokollaa. Tämän seurauksena kodin älykkäiden laitteiden integraatiossa tulee huomioida,

miten näiden yhteensovittaminen onnistuu. ”Energian yhteisenä kielenä” mainostettu EE-Bus on merkittävä uusi protokolla, jolla edellä mainittu haaste on pyritty ratkaisemaan. Tämän protokollan visio on yhdistää kodin energiaa tuottavat, varastoivat ja kuluttavat laitteet ymmärtämään toisiaan, jotta kommunikointi näiden välillä olisi mahdollista. Merkittäväksi EEBusin tekee sen avoin saatavuus, sekä monien alan isoimpien toimijoiden osallistumien tämän kehittämiseen. Kuvassa 23 on esitetty EEBusin kanssa yhteistyössä toimivat yritykset. Kuvasta huomaa, että kyseinen protokolla on otettu käyttöön jo monessa kodin tekniikan kannalta merkittävässä yrityksissä.



*Kuva 23. EEBusin kanssa yhteistyössä toimivat yritykset (SMA).*

### 3.1.2 Lämminvesivaraaja

Lämminvesivaraajalla tarkoitetaan tässä kohtaa erityisesti sähköllä toimivaa lämpimän käyttöveden varaajaa. Lämminvesivaraaja on ohjattavana kuormana erityinen, sillä käyttöveden tarve on tasainen ympäri vuoden ja säästä riippumatta. Sähkölämmitteisissä kohteissa lämminvesivaraaja on perinteisesti ohjautunut päälle AMR-mittarin yöaikareleen ohjaamana. Tällöin rele on ohjannut lämminvesivaraajan kontaktorin kiinni yöajalle siirryttäessä ja varaajan termostaatti on katkaissut virtapiirin, kun lämpötila on saavuttanut asetusravonsa. Tämä tuo mukanaan samalla mielenkiintoisen haasteen hyödynnettäessä varaajaa joustavana kuormana osana kiinteistön energianhallintaa. Halutessa ohjata esimerkiksi aurinkopaneelin ylituotantoa lämminvesivaraajan lämmitykseen, varaajassa olevan veden tulee olla jäähtynyt yölämmityksen jäljiltä, jotta termostaatti sallii merkittävässä määrin lämmittää vettä uudelleen. Aamutoimien yhteydessä luonnollisesti lämmintä käyttövettä kuluu jonkin verran, jonka jälkeen päivällä syntyvästä aurinkopaneelin tuotannosta osa voidaan ohjata veden lämmitykseen. Tämä on kuitenkin todentamatonta kapasiteettia, joten mahdollisuus omatuotannon ohjaamiseksi tähän käyttöön riippuu pitkälti aamutoimista ja päivän ylituotannon määrästä.

Helpoin tapa lämminvesivaraajan ohjaamiseen omatuotannon optimoimiseksi on käyttää astronomista kellokytkintä. Ulkoinen kellokytkin voidaan jälkiasentaa erikseen keskukseseen. Kelloon asetetaan kellon- ja vuodenajat, jolloin aurinkopaneelin tuotanto todennäköisimmin ylittää kiinteistön muun kulutuksen. Tällöin kellokytkin ohjaa lämminvesivaraajan kontaktorin kiinni ja vesi lämpiää, kunnes termostaatin raja tai kellon aika tulee vastaan. Tämä on yksinkertainen tapa pyrkiä vähentämään myyntiin menevän sähkön määrää, mutta täysin optimoituun ratkaisuun tällä ei päästä.

Osa aurinkopaneelien inverttereistä on varustettu yhdellä tai useammalla aseteltavalla ohjauskärjellä. Tällainen kärki voidaan asettaa sulkeutumaan esimerkiksi tuotannon tehon noustessa asetetun rajan yläpuolelle. Tällöin lämminvesivaraajan kontaktorille tuodaan ohjausjännite tämän kärjen kautta ja vesi lämpiää ainoastaan, kun tuotanto on lämmityksen näkökulmasta merkittävä. Näitä ohjauskärkiä voidaan luonnollisesti käyttää myös muiden ajasta riippumattomien kuormien kontaktorien ohjaamiseen. Tälläkään ohjaustavalla ei päästä täysin optimoituun toimintaan, mutta etuna on se, ettei ylimääräisiä komponentteja keskukseseen välttämättä tarvita ja heikon tuotannon aikana ei vettä lämmitetä turhaan. Kellokytkimeen tai kärkitietoon perustuvan ohjauksen optimoinnissa on hyvä selvittää kiinteistön tyypillinen pohjakuorma suhteessa paneelin tuotantoon ja lämminvesivaraajan tehoon. Lisäksi on hyvä miettiä, että paljonko sähköä verkkoon myytäessä syntyy rahallista tappiota suhteessa siihen, että lämminvesivaraajan lämmityksestä osa siirtyy verkosta ostetulle päiväsähkölle edellä mainittujen optimointitapojen epätarkkuuksien myötä.

Jos lämminvesivaraajaa halutaan hyödyntää ainoastaan paneelien ylituotannon verran, tähän tarkoitukseen on esimerkiksi invertterivalmistaja Froniukselta Ohmpilot-nimellä tunnettu laite (liite J). Tällöin kokonaisuuteen tarvitaan omaa tuotantoa mittaavan invertterin lisäksi kiinteistön kuormaa mittaava ”smart meter”. Lisäksi invertterillä on ohjauksen älynä toimiva datamanager-laite, joka hallinnoi kokonaisuuden toimintaa. Ohmpilot asennetaan lämminvesivaraajaa syöttävän kaapelin väliin, jolloin laite säätää dynaamisesti lämmitysvastusten tehoa ylituotannon perusteella (Fronius 2018).

Lämminvesivaraajista on tullut markkinoille myös sellaisenaan älykkäitä versioita, jotka internet-yhteyden avulla optimoi toimintaansa ja tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden hallita laitetta etänä. Älyvaraajan tapauksessa tavoitteena ei ole optimoida laitteen toimintaa aurinkopaneelin tuotannon perusteella, vaan tuoda käyttäjälle säästöä vähentyneen energiankulutuksen sekä halvimpien lämmitysajankohtien kautta. Varaajalla on mahdollista osallistua myös kysyntäjoustoon aggregaattorina toimivan tahon kautta, jolloin varaajaa voidaan käyttää hyväksi käyttäjän asettamien olosuhderajoitusten puitteissa (Jäspi 2018).

Lämminvesivaraaja voi olla myös osana HEMS-järjestelmän toiminnallisuuksia. Tällöin varaaja kytketään irti yöajan ohjauksesta ja siirretään järjestelmän relekortin ohjausten taakse (liite C). Tämän jälkeen relekortti ohjaa lämminvesivaraajaa päälle parhaaksi katsominaan ajankohtina. Näin varaajaa voidaan lämmittää käyttäjän tarpeiden perusteella

ja lämmitysajankohdat valita omatuotannon ja sähkön tuntihintojen perusteella parhaimmille hetkille. Kun lämminvesivaraajan ohjaus on pelkästään HEMS-järjestelmän takana, niin sääennusteiden perusteella voidaan arvioida päiväkohtaisen tuotannon määrä ja tämän perusteella suunnitella päivän lämmitystunnit. Tällöin riittävän lämmön varmistamiseksi järjestelmä suunnittelee lämmitysajat niin, että edeltävällä 24 tunnilla on kaiken aikaa riittävä määrä lämmitystunteja taustalla. Jos sama lämminvesivaraaja aiemmin lämmitti esimerkiksi kuusi tuntia yössä, niin jatkossa järjestelmä varmistaa kuuden tunnin täyttyneen menneenä vuorokautena juoksevalla seurannalla kaiken aikaa (Green Energy Finland 2018).

### 3.1.3 Varaavat ja suorat lämmitysjärjestelmät

Edullisen yösähkön myötä viime vuosikymmeninä on sähkölämmitteisissä kodeissa asennettu paljon erilaisia varaavia tai osittain varaavia lämmitysjärjestelmiä. Tällaisia ovat esimerkiksi sähkövastuksilla lämpiävä vesikiertoinen lattialämmitys tai paksuun betonivaluun valetut sähköiset lattialämmitykset. Myös öljylämmitteisten kotien kattilat on voitu varustaa sähkövastuksilla, jolloin on mahdollista hoitaa lämmitys myös näiden avulla. Varaavien järjestelmien lisäksi on voitu asentaa suoria patteri- tai lattialämmityksiä, joiden avulla on tehostettu lämmitystä tarvittaessa päivällä.

Lämmitysjärjestelmien hyödyntäminen aurinkopaneelien ylituotannon kohteeksi on hie-man haasteellinen, sillä suurin tuotanto ajoittuu monesti lämmityskauden ulkopuolelle. Sen sijaan tällaiset järjestelmät tarjoavat hyvän mahdollisuuden toteuttaa erilaisia kysyntäjoustoratkaisuja.

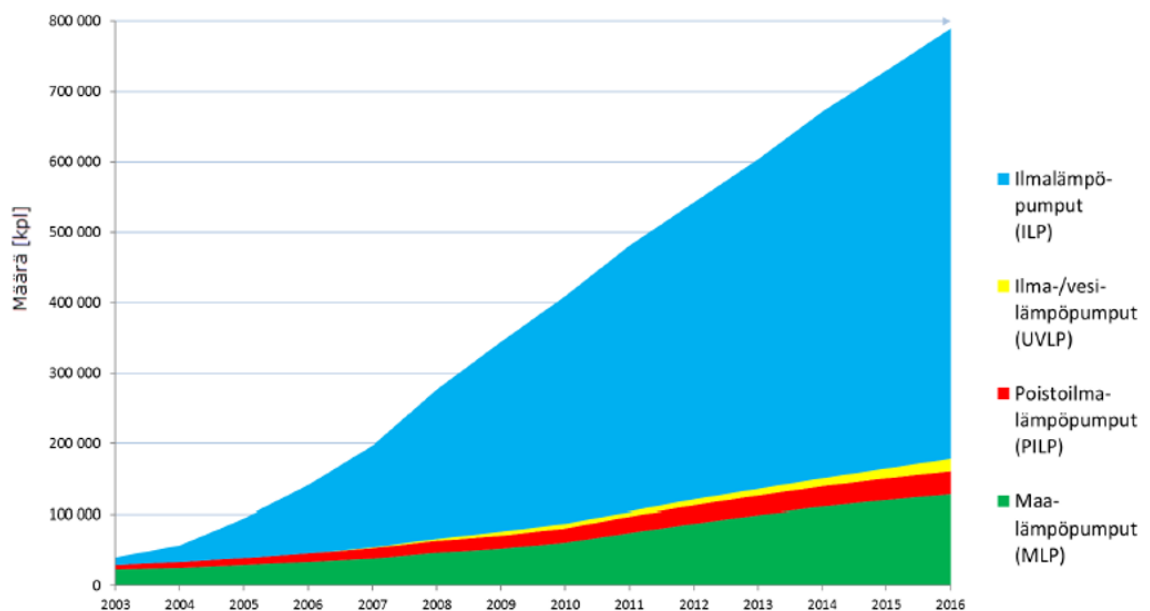
HEMS-ympäristössä näiden ohjaus voidaan toteuttaa niin, että lämmitysvastuksia ohjaavat kontaktorit siirretään järjestelmän relekortin tai vastaavan ohjattavaksi (liitteet A ja B). Tämän jälkeen vastuksia aiemmin hallinnoineet termostaatit asetetaan varmuusrajaksi sellaiseen pisteeseen, jonka yli lämmön ei sallita nousevan esimerkiksi ohjauslaitteen vikatilanteissa. Releohjauksien avulla HEMS pystyy lämpötila-antureidensa perusteella ohjaamaan lämmityksiä tilakohtaisesti parhaiten katsomilleen ajankohdille. Kysyntäjoustotarkoituksessa tämä tulee kuitenkin toteuttaa niin, että pysytään käyttäjän asettamien lämpötilan vaihtelurajojen sisäpuolella. Markkinoille odotetaan ilmestyvän myös Wi-Fi-yhteydellä toimivia termostaatteja, jolloin lämmitystä olisi mahdollista hallinnoida etänä laitekohtaisesti. Öljylämmitteisessä kohteessa on myös mahdollista, että järjestelmä vertailee öljyn ja sähkön hintoja ja päättää tämän perusteella, kumpaa lämmitysmuotoa on taloudellisesti kannattavampaa käyttää (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

Jos lämpötilan ohjaus siirretään HEMSin hallinnoitavaksi, niin tähän tarvitaan myös aluekohtaiset lämpötilan mittaukset. Jälkiasennettuna tällaisten mittausten toteuttaminen langallisesti voi olla haastavaa, jonka vuoksi anturit ovat keskusyksikköön yhteydessä jonkin langattoman yhteyden kautta. Käytetystä tekniikasta riippuen nämä anturit voivat olla

patterilla toimivia tai vaatia erillisen verkkovirran tuekseen (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

### 3.1.4 Maalämpöpumput

Maalämpöpumput voidaan jakaa täystehomitoitetuiksi ja osatehomitoitetuiksi järjestelmiksi. Erona näissä on se, että osatehomitoitetuissa järjestelmissä tehoa ei ole mitoitettu riittäväksi kylmimmille keleille, vaan tällöin apuna toimivat varaajaan sijoitetut sähkövastukset. Järjestelmän tyypistä riippuen myös lämpimälle käyttövedelle voi olla erillinen sähkövastus riittävän lämpötilan saamiseksi. Osatehomitoitetun järjestelmän etuna on, että noin 95 % vuotuisesta lämmitystarpeesta pystytään kattamaan 60-80 % teholla mitoitettulla järjestelmällä. Haasteena tällöin on suurempi sähkön huipputeho, jonka takia voidaan joutua kasvattamaan liittymän kokoa. Samalla suurin huipputeho ajoittuu kovimpien pakkaspäivien ympärille, jolloin sähkön tuotanto on kalleimmillaan ja aiheuttaa myös haasteita sähköverkon näkökulmasta (Motiva 2012). Tampereen ammattikorkeakoululla (TAMK) ja Tampereen teknillisellä yliopistolla (TTY) on työn alla ympäristöministeriölle tehtävä ohje pientalojen sähkötehon hallinnasta, jossa käsitellään myös tätä ongelmaa tarkemmin. Tässä luvussa on käsitelty maalämpöpumppua, mutta vastaavia periaatteita voitaisiin järjestelmän ominaisuuksista riippuen soveltaa myös muihin varaajallisiin lämpöpumppuratkaisuihin. Erilaisten lämpöpumpputoteutusten määrä on viime vuosina lisääntynyt voimakkaasi, jonka myötä niiden huomioiminen osana kysyntäjousta ja tehon hallintaa on entistä tärkeämpää. Kuvassa 24 on esitetty Suomessa myytävien eri lämpöpumppujärjestelmien määrä vuonna 2017.



**Kuva 24.** Suomessa myytyjen lämpöpumppujen määrä (SULPU 2017).

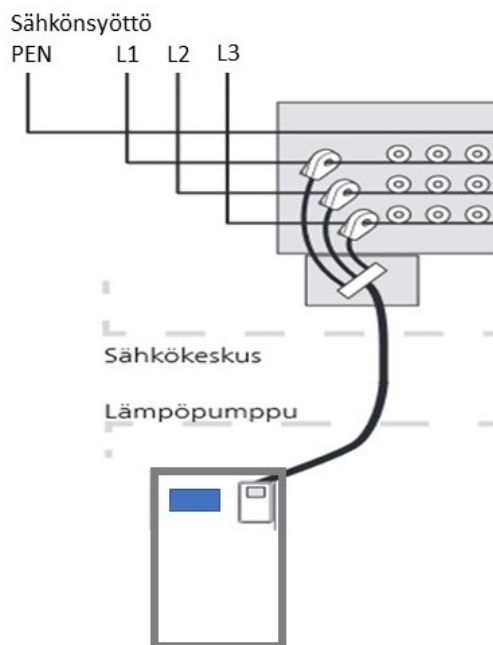


Maalämpöpumppuja on mallista riippuen mahdollista ohjata muutamien eri tavoin. Joissain tilanteissa lisätehoksi asennetut sähkövastukset on saatettu kytkeä oman erillisen syötön taakse. Tällöin voi olla mahdollista toteuttaa pelkästään sähkövastusten lisäohjauksia suoralla kontaktiohjauksella kysyntäjoustoja vaativissa tilanteissa. Monesti vastukset ovat kuitenkin kiinteä osa järjestelmää, jolloin laitteelle voidaan antaa erilaisia ohjauksikäskyjä tiedonsiirtoväylän välityksellä tai kärkitietoihin perustuvilla ohjauksilla. Kärkitiedon perusteella tapahtuvia ohjauksikäskyjä kutsutaan AUX-ohjaukseksi. Tällöin laitteessa on liitäntäpisteet näille AUX-tuloille ja ohjauspaneelista voidaan asettaa, miten laitteen tulee toimia kärkitiedon vaihtaessa tilaansa. Tällaisia toimintoja voi olla esimerkiksi kompressorin ja/tai sähkövastusten pakko-ohjaus päälle tai pois päältä. Tällä tavoin myös HEMS-järjestelmällä voidaan toteuttaa erilaisia lämpöpumpun ohjauksia pelkkien relekortin välittämien kärkitietojen avulla (liite C). Tämän lisäksi on joissain pumpuissa olemassa ns. Smart Grid-valmius. Smart Grid-toiminnon ajatus on, että kahden kärkitiedon perusteella ulkoisen toimijan olisi mahdollista välittää neljä vakioitua viestiä kysyntäjoustopäätöksessä. Esimerkiksi ohjattavilla relelähdeillä varustettu kiinteistön ohjausjärjestelmä voi kahden kärkitiedon avulla välittää ohjauksikäskyjä pumpulle. Näiden ohjauksikäskyjen peruste voi olla omatuotannon määrä, sähkön hintatieto tai aggregaattorin ohjaus HEMSin välityksellä. Yksinkertaisempi sovellus voisi olla myös niin, että aurinkopaneelin asetettavalla kärkitiedolla annettaisiin ohjaustieto järjestelmän aseteltaviin AUX-tuloihin tai SG ready-liittimille. Taulukossa 2 on esitetty toimintakuvaus Smart grid-ohjauksella toteutettaville eri toiminnoille (Green Energy Finland 2018; Nibe 2018).

**Taulukko 2.** SG Ready-ohjauksen toimintakuvaukset (Nibe 2018).

Tila	Toimintakuvaus	Kosketin A	Kosketin B
Estotila	"SG Ready" on aktiivinen. Lämpöpumpun kompressorin ja lisälämpö estetään.	Suljettu	Avoin
Normaalitila	"SG Ready" ei ole aktiivinen. Ei vaikutusta järjestelmään.	Avoin	Avoin
Matalahintatila	"SG Ready" on aktiivinen. Järjestelmä keskittyy kustannussäästöihin ja voi esim. hyödyntää matalaa tariffia sähkötoimittajalta tai mahdollista ylikapasiteettia omasta virtalähteestä.	Avoin	Suljettu
Ylikapasiteettitila	"SG Ready" on aktiivinen. Järjestelmän annetaan käydä täydellä kapasiteetilla kun sähkötoimittajalla on ylikapasiteettia.	Suljettu	Suljettu

Sähkövastuksilla varustetuissa järjestelmissä voi olla mahdollisuus porrastettuun tehon säätöön kärkitietojen perusteella. Järjestelmässä voi olla myös virtamittaukseen perustuva dynaaminen tehonsäätö, jolloin kiinteistön vaihekohtaisen tehon mittauksen perusteella pumppu rajoittaa vastusten tehoja tarvittaessa ja ohjaa suurimman lämmitystehon vähiten kuormitetulle vaiheelle (kuva 25). Tällöin vaaditaan erilliset virtamittaukset ryhmä tai pääkeskukseen, joka on otettava huomioon kaapelointia suunnitellessa.



*Kuva 25. Maalämpöpumpun vaihekohtainen kuormanhallinta virtamuuntajilla (Nibe 2018).*

### 3.1.5 Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumput ovat monesti asennettu omaksi itsenäiseksi yksikökseen, jolloin laite pyrkii pitämään ympäristön kaukosäätimellä asetetussa lämpötilassa. Ilmalämpöpumput ovat harvoin ainoa lämmitysmuoto, vaan päälämmitysmuotona toimii esimerkiksi jokin suoraan sähkölämmitykseen perustuva vaihtoehto. Tällöin on tärkeää huolehtia siitä, että lämmitys pyritään toteuttamaan ensisijaisesti energiatehokkaammalla lämpöpumpulla ja vasta tämän jälkeen muilla tavoin. Tämän takia lämpöpumpun asetusarvon tulisi aina olla esimerkiksi sähköpatterin termostaattia korkeammalla, jotta patterit kytkeytyisivät päälle vasta, kun ilmalämpöpumppu ei pysty pitämään lämpötilaa asetusarvossaan. Epäedullisin virhe lämpötilan asetuksissa tapahtuu, jos ilmalämpöpumpulle on asetettu automaattiohjauksella pattereiden termostaatteja matalampi lämpötila. Tällöin voi syntyä tilanne, jossa samanaikaisesti patterit pyrkivät lämmittämään ja ilmalämpöpumppu samanaikaisesti jäädyttämään (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

Jotta ilmalämpöpumppu toimisi osana HEMS:iä tai muuta ohjausjärjestelmää, tarvitaan keino laitteen ohjaamiseen näiden kautta. Muutamien valmistajien ilmalämpöpumpuissa on jo wifi-ominaisuus, jonka avulla laite on reitittimen kautta yhteydessä taustapalvelimelle, josta käyttäjän on mahdollista hallinnoida laitetta etänä. Lisäksi myynnissä on erilisiä wifi-ohjaimia, jotka mahdollistavat jälkiasennettuna samat toiminnallisuudet (liitteet A ja B). Tällöin ohjaimessa on valmistajan ohjainkirjastot, jonka avulla se pystyy ohjaamaan järjestelmää kaukosäätimen tavoin. Tällainen ohjain voidaan liittää langattomasti

suoraan esimerkiksi HEMS:n ohjausyksikköön, jolloin ilmalämpöpumpun ohjaus saadaan osaksi energianhallintaa. Lämpöpumpun jäähdytystoiminto tarjoaa myös hyvän kohteen sähkön omatuotannon hyötykäyttöön, sillä tilojen jäähdytystarve ajoittuu monesti samoille hetkille parhaimpien tuotantoajankohtien kanssa (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

### 3.1.6 Kiuas

Sähkökiukaan tehon vaikutusta kiinteistön kokonaistehoon on perinteisesti rajoitettu SLY-kytkentäsuosituksen mukaisesti kiukaan ja sähkölämmityksen välisellä risteilyllä. Tällöin kiukaalta on tuotu ylimääräinen johdin ryhmäkeskukseen. Kiukaan vastusten kytketyessä päälle, tähän johtimeen tulee 230 voltin jännite, jolla ohjataan erillistä kontaktoria. Tämän kontaktorin tehtävänä on katkaista sähkölämmitykselle menevä syöttö, jotta vastukset eivät olisi kiukaan kanssa samanaikaisesti päällä.

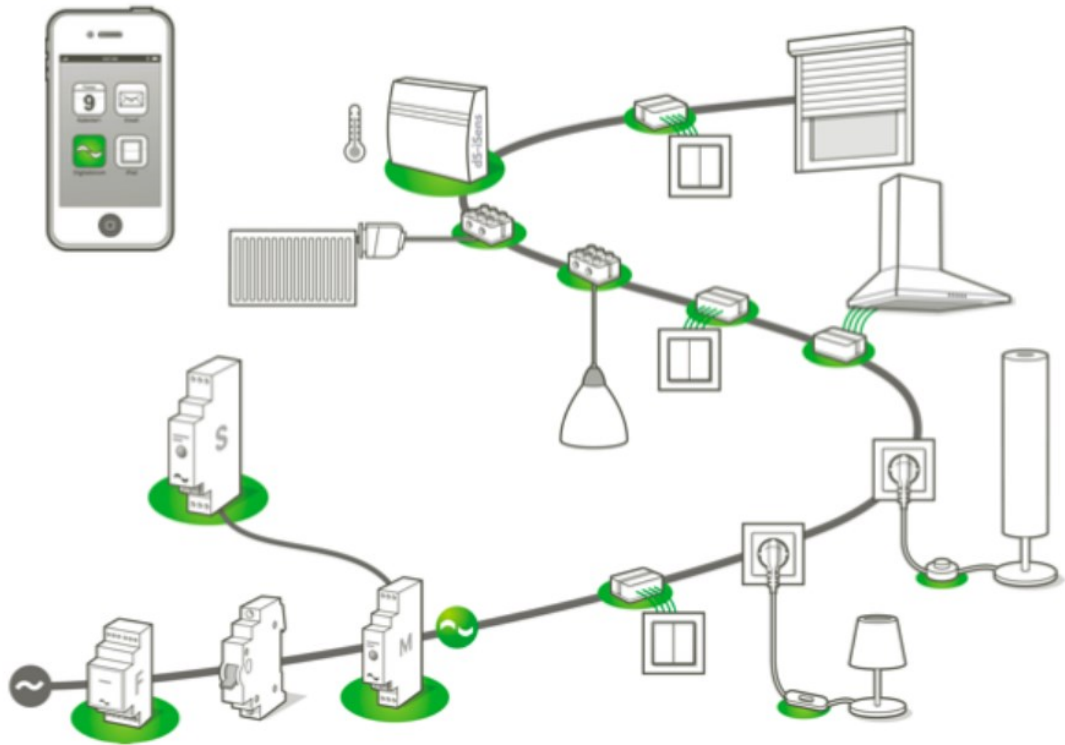
Sähköautojen latauslaitteiden ja erilaisten lämpöpumppujen lisääntyessä, tätä ohjausjännitettä voidaan käyttää myös muilla tavoin kiinteistön huipputehon rajoittamiseksi. Jos sähköauton latausasemassa on kärkitietoon perustuva tehon rajoitus, tämä ohjaustieto voidaan viedä suoraan latauslaitteelle, jolloin yhtäaikaista tehoa pystytään rajoittamaan (liite D). Saunomisen yhteydessä syntyy monesti myös korkeita tehopiikkejä lämpöpumppujen ja kiukaan yhtäaikaisesta toiminnasta. Tämä on saunoessa todennäköistä, sillä suihkun yhteydessä tarvitaan lämmintä käyttövettä, joka ohjaa lämpöpumpun kompressorin ja/tai sähkövastukset päälle. Kiukaan ohjausjännitteen perusteella ohjatusta releestä voitaisiin saada lämpöpumpun tehoa rajoittava kärkitieto. Vastaavasti lämpöpumpun tai sähköauton latauslaitteen ollessa jonkin ohjausjärjestelmän hallinnassa, niin kiukaan kärkitieto voidaan välittää ohjausyksikölle, joka ohjaa muita laitteita tämän perusteella.

### 3.1.7 Muut ohjattavat laitteet ja kuormat

Edellä esitettyjen ratkaisujen lisäksi myös pienempitehoisia laitteita voidaan ohjata älykkäämmin. Tällöin joustoa tarjoava kapasiteetti voi olla maltillisempi, mutta näiden ohjausten myötä käyttäjälle voidaan tarjota lisää toiminnallisuuksia ja informaatiota kodin laitteista. Tällaisia ohjausmahdollisuuksia on esimerkiksi eri periaatteilla toteutetut etäohjattavat pistorasiat tai releet (liitteet A ja B). Tällaisia jälkiasennettavia ja ilman erillistä kaapelointia toimivia ohjaustapoja on tarjolla monella eri alan toimijalla. Tällöin langaton tiedonsiirto on tyypillisesti toteutettu langattomalla Wi-Fi, ZigBee tai Bluetooth-yhteydellä (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

Alalla on myös toimijoita, joiden jälkiasennettavat ohjauskomponentit hyödyntävät kiinteistön olemassa olevaa sähköverkkoa, jolloin tiedonsiirto tapahtuu syöttävää kaapelia pitkin PLC-tekniikalla (kuva 26). Tällaisia ohjainlaitteita voidaan kodinkoneiden ja va-

laistuksen ohjaamisen lisäksi hyödyntää myös esimerkiksi langattomiin kärkeä ohjauksiin, jolloin AUX- tai Smart Grid-ohjauksilla varustetulle järjestelmälle voidaan antaa ohjauskomentoja tätä kautta.



**Kuva 26.** Kodin tekniikan ohjaaminen olemassa olevaa sähköverkkoa hyödyntäen PLC-tekniikalla (Smartechno).

Kodinkonemarkkinoille on myös ilmestynyt integroidulla Wi-Fi-ohjauksella varustettuja laitteita, jolloin esimerkiksi pesukoneille voidaan asettaa erilaisia aika- ja etäohjaustoimintoja. Jääkaapit ja pakastimet ovat myös kohteina mielenkiintoisia, sillä nämä toimivat periaatteessa varaavina järjestelminä. Asuinkiinteistön mittakaavassa näiden teho on kuitenkin hyvin maltillinen.

### 3.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelien määrä Suomessa on vielä suhteellisen vähäistä. Esimerkiksi Saksassa, jossa tuotantomahdollisuudet ovat vuositasolla Suomen kanssa lähes samaa luokkaa, on asukasta kohti yli 100 kertaa enemmän asennettua aurinkosähkötuotantoa huipputehoissa mitattuna (Energiewende Team 2018). Myös Suomen muihin sähkön tuotantomuotoihin verrattuna aurinkosähkökapasiteetti on vielä marginaalista. Vuoden 2017 lopussa asennetun aurinkosähkön nimellisteho Suomessa oli noin 70 MW, kun taas asennettu kokonaiskapasiteetti oli noin 17 000 MW. Aurinkosähkön kohdalla merkittävää on se, miten

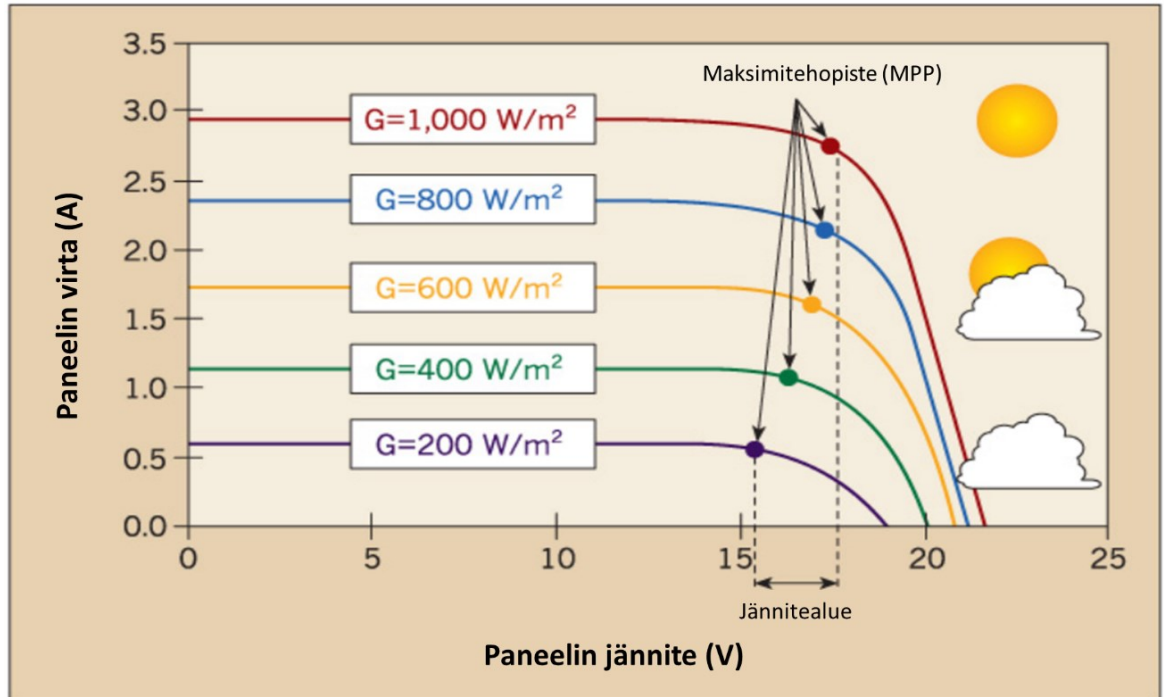
nopeasti määrä on lisääntynyt viime vuosina. Vuonna 2016 sähköverkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti Suomessa yli kolminkertaistui ja vuonna 2017 määrä kasvoi edelleen 2,5-kertaiseksi. Aurinkosähkön asennuskohteet ovat lisäksi monesti pienkiinteistöön asennettua omatuotantoa, jonka vuoksi sen huomioiminen osana kodin sähköverkkoa on erityisen tärkeää (Energiavirasto 2018).

Pientuotannossa käytettävät aurinkokennot ovat vielä pääsääntöisesti moni- tai yksikiteisiä piikkenoja. Erilaisia uudemman sukupolven kennoja on jo markkinoilla, mutta näiden käyttökohteet ovat toistaiseksi enemmän erikoissovelluksia. Piikennossa on kaksi piistä leikattua levyä, jotka on doupattu kumpikin eri seosaineilla ja liitetty tämän jälkeen yhteen. Auringon säteilyn (fotonien) osuessa kennoon, syntyy jännite-ero näiden tasojen välille. Yksittäisen kennon (cell) jännite on vain puolen voltin suuruusluokkaa, jonka vuoksi kennot on kytketty sarjaan muodostaen paneelin (module). Näitä paneeleja voidaan kytkeä edelleen riittävän monta sarjaan, jotta saadaan invertterin toiminnalle riittävän korkea jännite.

Aurinkopaneeleille optimaalisin asennuspaikka on sellainen, jossa paneeleille syntyy varjostuksia päivän aikana mahdollisimman vähän. Vuoden aikana syntyneen kokonaistuotannon kannalta paras asento paneeleille Suomessa on noin 45 asteen kulmassa kohti etelää, mutta eri kulmilla ja asennoilla voidaan pyrkiä maksimoimaan eri vuoden- tai kellon-aikoina tapahtuvaa tuotantoa. Aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelusta ja toteutuksesta on kirjoitettu ST-käsikirja 40, joka vastaa kattavasti tämän kaltaisiin käytännön kysymyksiin. Tämän työn näkökulmasta merkittävin osa järjestelmästä on paneelien invertteri, joka toimii koko järjestelmän sydämenä ja samalla linkkinä kiinteistön muihin järjestelmiin.

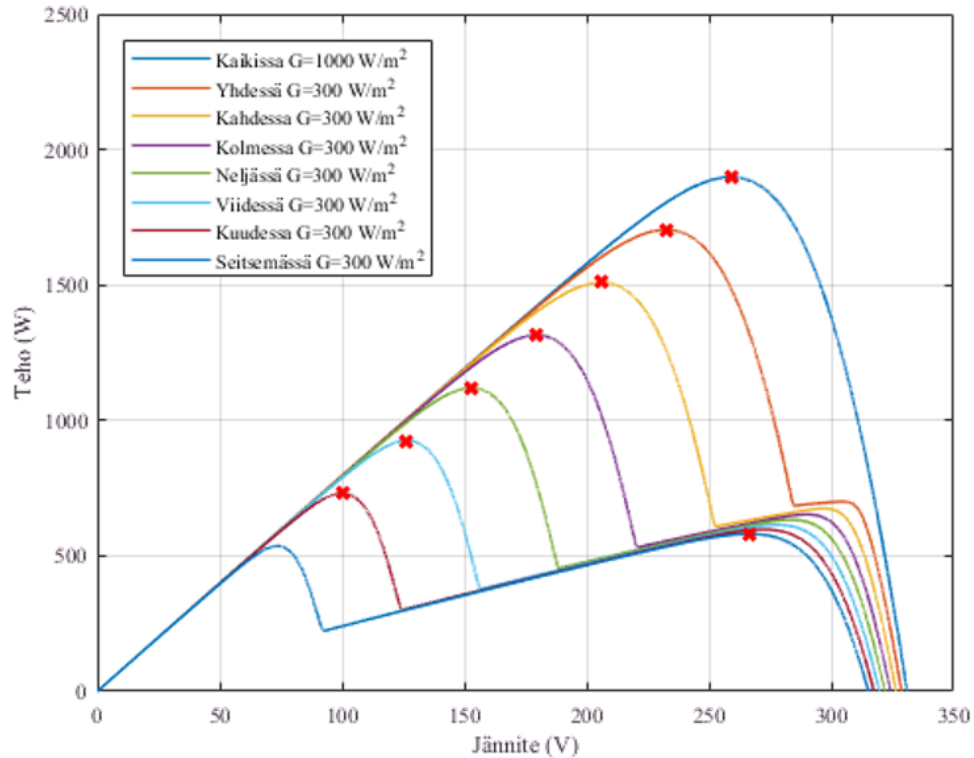
### **3.2.1 Invertterin toiminta ja mahdollisuudet**

Aurinkopaneelijärjestelmän invertterin tehtävänä on optimoida paneeleista saatu tuotto, sekä toimia älykkäänä linkkinä kiinteistön muuhun sähköverkkoon. Aurinkopaneelien tuotannon erikoisuus on, että virta ja jännite eivät ole lineaarisesti toisistaan riippuvaisia, vaan keskinäinen riippuvuus on kuvassa 27 esitetyn mukainen.



*Kuva 27. Maksimitehopisteen sijainti virta-jännite-käyrässä eri säteilyvoimakkuuksilla (Mayfield 2012).*

Kun paneelit kohtaavat lisäksi esimerkiksi osittaisia varjostuksia, niin paneelien yhdessä muodostama virta-jännite-käyrä muuttuu vielä haastavammaksi (kuva 28). Tämän takia aurinkopaneelien tuotannon kannalta invertterin tärkein toiminnallisuus on MPPT (Maximum Power Point Tracking). MPPT:n tehtävänä on säädellä invertterin ottamaa virtaa sellaiseksi, että paneeleista saatu teho olisi mahdollisimman suuri. Tällaisia MPPT-yksiköitä voi löytyä invertteristä useampia. Sellaisissa kohteissa, joissa kaikki paneelit eivät tuota toisiinsa nähden tasaisesti päivän aikana, voidaan paneeliketjut jakaa erikseen eri MPPT-yksiköiden taakse, jolloin pystytään optimoimaan kunkin paneeliryhmän tuotanto erikseen. Tällaisia tilanteita on esimerkiksi, jos paneelit on asennettu katon eri lappeille tai mikäli osa paneeleista kohtaa varjostuksia päivän aikana ja heikentäisi näin koko järjestelmän tuotantoa. Useamman paneeliryhmän ratkaisu vaatii kuitenkin sen, että paneeliketjuissa on riittävän monta paneelia sarjassa synnyttääkseen invertterin vaatiman minijännitteen.



**Kuva 28.** 10 paneelin järjestelmän teho-jännite-käyrät maksimitehopisteineen, kun osa paneeleista altistuu varjostukselle ( $300 \text{ W/m}^2$ ).

MPPT:n lisäksi invertterin komponentteihin kuuluu vaihtosuuntaaja, jonka tehtävä on muuntaa paneeleilta tuleva vaihtelevan suuruinen tasasähkö laatuvaatimukset ja standardit täyttäväksi vaihtosähköksi. Lisäksi invertterin tehtävä on tahdistaa syntyneen vaihtosähkön taajuus sähköverkon kanssa samaan tahtiin. Invertteri voi olla 1- tai 3-vaiheinen. Valittaessa 1-vaiheinen invertteri, tulee huomioida, miten kiinteistön kuormien ryhmitely on toteutettu ja miten sähkömittari toimii vaiheiden välisen netotuksen osalta. Sähkökatkotilanteissa invertterin tulee turvallisuussyistä katkaista omatuotannon syöttö verkkoon. Mikäli aurinkopaneelijärjestelmää halutaan käyttää varavoimana näissä tilanteissa, saarekekäyttö tulee toteuttaa niin, että invertteri on tähän tarkoitukseen soveltuva ja yhteys verkkoon on erotettu luotettavasti. Tällaisten saarekekäyttöjen suunnittelussa on huolehdittava siitä, että varavoimana toimiva laitteisto (esim. aurinkovoimala, kotiakku, V2H tai aggregaatti) pystyy tuottamaan vikatilanteissa riittävän oikosulkuvirran tai ryhmien vaatimukset täyttävä suojaus on muuten varmistettu.

Jos kiinteistössä on omatuotannon tueksi asennettu myös kotiakku, samalla invertterillä on yhteensopivuuksista riippuen mahdollista hallita kumpaakin järjestelmää samaan aikaan. Tähän soveltuvat invertterit tunnetaan nimellä hybridi-invertteri. Aurinkopaneelit, kotiakut ja sähköautojen lataus vaativat kaikki invertterin kytkeytyäkseen muuhun sähköverkkoon. Tämän vuoksi optimaalisin ratkaisu olisi, jos nämä kaikki voisivat hyödyntää samaa invertteriä. Samalla laitteiden välillä tapahtuva sähkön siirto voisi tapahtua suo-

raan tasasähkönä ilman, että invertterit muuttaa tuotannon välillä vaihtosähköksi ja uudelleen toisella invertterillä tasasähköksi (Green Energy Finland 2018; Smart E Europe 2018).

Edellä mainittujen perustoimintojen lisäksi invertteri voi mallista riippuen sisältää erilaisia rajapintoja ja toiminnallisuuksia, joiden avulla on mahdollista toteuttaa älykkäitä ratkaisuja yhdessä muiden kiinteistön laitteiden kanssa. Näistä on kerrottu tarkemmin seuraavaksi.

### 3.2.2 Mittaus ja rajapinnat

Invertterit sisältävät monesti oman mittauksensa tuotannolle. Lukema on luettavissa vähintään manuaalisesti invertterin näytöltä. Lisäksi erilaisten rajapintojen kautta tätä mittaustietoa voidaan hyväksikäyttää osana kiinteistön energianhallintaa.

Yksinkertaisimpana rajapintana inverttereistä saattaa löytyä tuotannon perusteella asetettava ohjausrele. Tämän releen kärkitieto vaihtaa tilaansa tuotannon ylittää asetellun rajan. Kärkitiedon avulla voidaan ohjata esimerkiksi lämminvesivaraajan kontaktori kiinni parhaimmilla tuotantohetkillä, jolloin saadaan yksinkertainen optimointikeino omaan käyttöön menevän tuotannon kasvattamiseksi. Jos invertteriltä ei aseteltavaa kärkitietoa löydy, niin vastaava ratkaisu voidaan toteuttaa keskukseen asennettavalla erillisellä valvontareleellä. Tällöin valvontarele asennetaan aurinkopaneelilta tulevien vaiheiden virtaa ja asetetun virran ylittyessä valvontareleen kärkitieto sulkeutuu. Tällaisia valvontareleitä on myös useammalla portaalla, jolloin releessä on useampi kärkitieto omalla virtarajallaan. Tällä tavoin voitaisiin kytkeä kuormia portaittain tuotannon mukaan, jolloin esimerkiksi varaajan lämmitysvastuksia olisi mahdollista kytkeä päälle vaihe kerrallaan erillisten kontaktorien avulla.

Tuotantomittauksien ja tilatietojen välittämiseksi invertteriltä täytyy löytyä jokin rajapinta, jonka kautta kiinteistöä hallitseva keskusyksikkö tai reitittimen välityksellä toimiva taustapalvelin pystyy tietoa lukemaan. Valmistajasta ja mallista riippuen tähän käytetään yleensä sarjaliikenneportteja (RS 422 tai RS 485) tai ethernet-yhteyttä (LAN tai WLAN). Fyysisen kaapeloinnin tasolla tämä tarkoittaa sitä, että tiedonsiirto voi tapahtua langattoman yhteyden lisäksi esimerkiksi CAT- tai KLMA-kaapeloinnilla (Green Energy Finland 2018).

Suurempi haaste eri laitteiden integroimisessa on niiden yhteensopivuus käytetyn protokollan osalta. Esimerkiksi HEMS-laitetoimittajan näkökannalta ohjainyksikölle täytyy ”opettaa” eri valmistajien käyttämät protokollat, jotta se voi lukea invertterin tarjoamia tietoja. Osa invertteritoimittajista suostuu luovuttamaan tietyillä ehdoin näitä protokollia ulkopuolisille tahoille. Joidenkin valmistajien omia protokollia voi olla kuitenkin hyvin vaikea saada, jonka takia ainoa vaihtoehto päästä invertterin tietoihin käsiksi on käyttää laitetoimittajan omaa pilvipalvelua, joka lukee tiedot käyttäjän reitittimen kautta suoraan



invertteriltä. Tällöin palvelimen tarjoamaa tietoa voi olla vaikea hyödyntää kiinteistön muuhun integraatioon. Lisäksi tällaisesta toimintamallista voi muodostua tiedonsiirrolle ylimääräistä viivettä (Green Energy Finland 2018).

### 3.2.3 Invertterin asennus

Aurinkopaneelijärjestelmän invertterin sijoituksessa on huomioitava laitteen merkittävä lämmöntuotanto. Tämän takia tyypillinen sijoituspaikka invertterille on ulkoseinällä tai riittävällä ilmanvaihdolla varustetussa teknisessä tilassa. Invertteri tulee olla ulkoisen tahon erotettavissa luotettavasti muusta sähköverkosta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että invertterin AC-puoli tulee varustaa ulos tai muutoin lukitsemattomaan tilaan sijoitella turvakytkimellä. Myös tasasähköpuoli tulee olla irti kytkettävissä invertteriltä erillisellä kuormaerottimella. Ulos sijoitettu invertteri ja kytkimet tulee olla ulkokäyttöön suunniteltuja sekä tiiveydeltään vähintään IP44-luokiteltu (SFS 6000 2017).

Invertterin vaihtosähköpuoli voidaan muutoin suunnitella normaalin kuorman tavoin kytkettäväksi ryhmä- tai pää-/mittauskeskukseen. Tällöin mitoittavina arvoina voidaan pitää invertterin ilmoitettuja nimellisarvoja, jolloin suojaus ja kaapeloinnit voidaan suunnitella nimellisen maksimivirran perusteella normaalien kuormien tapaan. Jos invertterin nimellistä maksimivirtaa ei ole ilmoitettu, niin mitoitusvirtana voidaan käyttää myös 1,1-ker-taista invertterin mitoitusvaihtovirtaa (SFS 6000 2017; Orrberg 2017).

Vikavirtasuojan käyttö vaihtosähköpiirin suojauksessa on tapauskohtaista ja aihetta käsitellään SFS 6000-kirjan kohdassa 7.712.53. Mikäli invertteri on SFS-EN 62109-1-standardin mukainen ja valmistaja on ilmoittanut, että vikavirtasuojaa ei tarvita, niin tämä voidaan jättää asentamatta. Vikavirtasuojaa ei myöskään tarvita tiedettäessä, että invertterin tasa- ja vaihtosähköpuolien välissä on vähintään yksinkertainen erotus tai invertterin ja johdonsuojakatkaisijan välille tulee käämeillä toteutettu vähintään yksinkertainen erotus. Tarvittaessa vikavirtasuojaa, tulee tähän käyttää standardien mukaista B-tyypin vikavirtasuojaa. Liian herkkä vikavirtasuoja voi kuitenkin estää invertterin suunnitellun toiminnan, jolloin tähän käyttöön voidaan valita esimerkiksi palosuojauksen tasolla toimiva 300 mA vikavirtasuoja (SFS 6000 2017; Mäkinen 2017).

Lisäksi tiedonsiirto vaatii oman langallisen tai langattoman yhteyden. Langallisen yhteyden toteutus riippuu tapauksesta. Jos invertterissä on oma datalogger, joka mahdollistaa suoran yhteyden CAT-kaapelilla reitittimeen, niin tällöin vaaditaan yleiskaapelointi näiden välille. Tilanteissa, joissa halutaan käyttää suoraan invertterin Modbus-lähtöä hyväksi esimerkiksi kotiautomaatiossa tai HEMS-ympäristössä, kaapelointi voidaan toteuttaa KLMA-tyyppisellä kaapelilla invertterin ja ohjausyksikön välillä. Rajapintamuutos voidaan myös tehdä erillisellä Modbus-Ethernet-adapterilla.

Huomion arvoista on se, että invertterin syötön kaapeloinnin lisäksi on huolehdittava myös mahdollinen tiedonsiirtoyhteys reitittimelle tai ohjausyksikölle. Esimerkiksi kytkettäessä invertteri pääkeskukseen, tiedonsiirtoyhteys ryhmäkeskuksen läheisyydessä olevaan reitittimeen voi olla haasteellista ilman keskusten välistä yleiskaapelointia (liite G).

### 3.3 Sähköautojen lataus

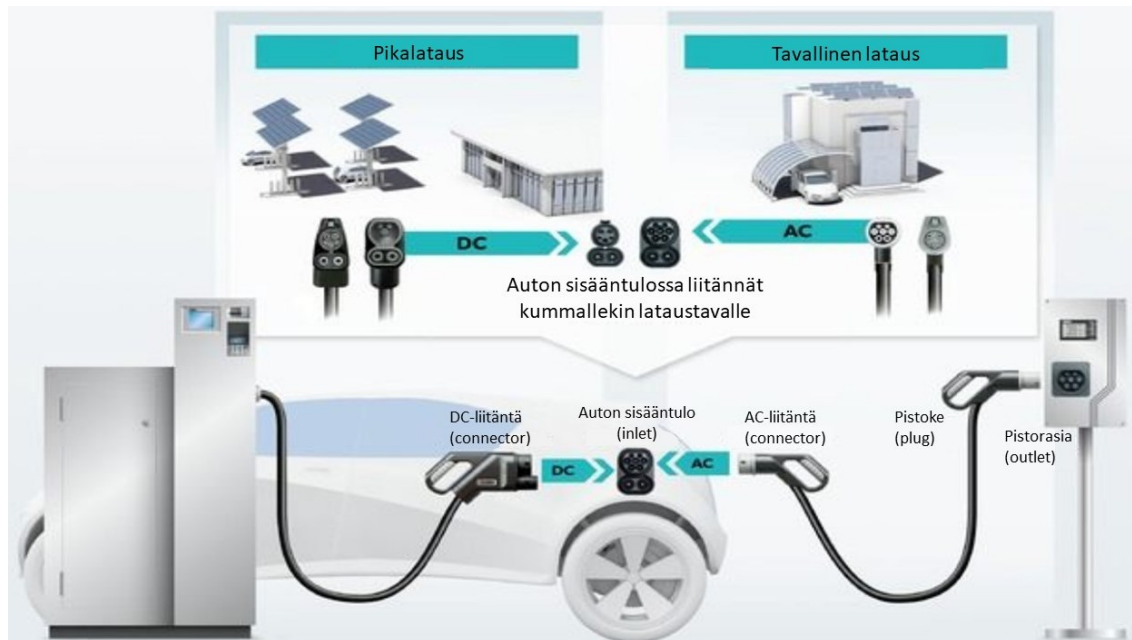
Sähköautojen latauslaite on pienikiinteistön sähköverkon mittaluokassa merkittävä kuorma, jonka järkevällä mitoituksella ja hallinnalla on iso merkitys kiinteistön tehon näkökulmasta. Ilman minkäänlaista tehon rajoitusta tai kuormien hallintaa, saatetaan kiinteistöön joutua valitsemaan kokoluokkaa isommat pääsulakkeet. Isomman liittymäkoon myötä kasvaa samalla liittymän hinta sekä sähkönsiirron perusmaksun osuus. Siirryttäessä tehomaksupohjaiseen sähkönsiirron laskutukseen, niin huonosti suunniteltu lataus-  
tehon hallinta voi lisätä kustannuksia kasvaneen huipputehon myötä. Jos taas latauslaitteen teho rajoitetaan pysyvästi hyvin matalalle, niin lataus kestää normaalia kauemmin.

Latauslaitteiden lisääntyminen saattaa tuoda mukanaan erilaisia haasteita sähköverkon eri osapuolille. Tämän takia olisi tärkeää, että nämä haasteet pystytään havaitsemaan ajoissa ja näiden hallitsemiseksi löydetään ratkaisut. Kodin latauslaitteen tehon hallintaan on monenlaisia ja -tasoisia ratkaisuja, joiden toteutus vaatii kodin sähköverkon kokonaisuuden ymmärtämistä sekä yhteensopivia älykkäitä ohjausratkaisuja.

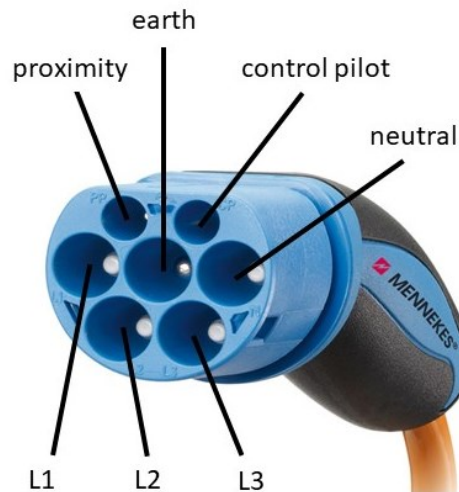
Sähköauton latauksesta puhuttaessa tulee helposti sekaannus erilaisista lataustavoista ja latauspistoketyypeistä. Lataustavat ovat standardissa jaettu neljään osaan käyttökohteen ja tarkoituksen mukaan. Ensimmäinen lataustapa on tarkoitettu pääasiassa sähköautoa pienempiin akkukäyttöisiin laitteisiin. Toinen lataustapa tarkoittaa suoraan 1- tai 3-vaiheisesta pistorasiasta tapahtuvaa sähköauton tai ladattavan hybridin hidasta lataamista. Tällöin normaalin pistorasian kanssa on rajoitettava, että jatkuva lataus on rajoitettu 8 ampeeriin, sillä rasiaa ei ole suunniteltu kestävästi tätä suurempaan virtaa. Tähän tarkoitukseen on olemassa valmistajan tarjoamia tilapäisjohtoja, joissa on erillinen suojalaite asennettuna kaapeliin. Kolmannella lataustyypillä tarkoitetaan kotiin asennetusta latauslaitteesta tapahtuvaa vaihtovirtalatausta, joka myös tässä työssä on tarkemman tarkastelun kohteena. Neljäs lataustapa on tasasähköllä tapahtuva pikalataus, jollaista tarjotaan julkisilla pikalatauspaikoilla (SESKO 2018).

Kaikkia autoja on siis mahdollista ladata kotona, autosta riippuen 1- tai 3-vaiheisella vaihtovirtalaturilla, jolloin suuntaus tasavirtaan tapahtuu vasta auton sisäisellä invertterillä. Kotilatauksen lisäksi autoja voidaan ladata pikalatausasemilla suoraan tasavirralla, jolloin suuntaus tapahtuu jo latauslaitteessa ja tasavirta syötetään kotilatauksesta poikkeavalla pikalatauspistokkeella suoraan auton tasasähköpiiriin. Kumpaakin käyttöön on kuitenkin olemassa erityyppisiä latauspistokkeita, jotka aiheuttavat helposti lisää hämmennystä.

Auton mukana tulee normaalisti kaapeli, jolla autoa on mahdollista ladata tilapäisesti normaalista ulkopistorasiasta. Tämä lataustapa on kuitenkin vain tilapäiskäyttöön, joten auton omistajalla on yleensä kotona erillinen latauslaite. Latauslaitteista ja kaapeleista puhuttaessa on hyvä selventää, että latauslaitteessa ja autossa on mahdollisesti kummassakin oma liitäntänsä, joihin oman latauskaapelin päissä olevat pistokkeet liitetään (kuva 29). Latauslaitteessa ja autossa olevat sisääntulot voivat siis edustaa eri tyyppiä, jolloin latauskaapelin pistokkeiden tulee vastata näitä. Latauslaite voi olla varustettuna myös kiinteällä kaapelilla. Tällöin auton sisääntulon tulee vastata latauslaitteen pistoketta. Kotona ja muissa AC-latauslaitteissa lataus tapahtuu Suomessa tyypin 2 pistorasiasta, joka on samalla myös koko Euroopassa käytetty standardi (kuva 30). Japanissa ja Yhdysvalloissa on kuitenkin käytössä tyypin 1 malli, jonka vuoksi näistä maista tulevilla autoilla on tyypin 1 pistorasia. Tämän takia latauskaapelia valitessa on tärkeää huomioida, että latauslaitteeseen menevä pää on aina tyyppiä 2 ja toinen pää on autosta riippuen tyyppiä 1 tai 2. Suuremmilla tehoilla ladatessa on myös hyvä huomioida, että latauskaapelin kestoisuus on käyttökohteeseen riittävä. Kaapelissa olevan proximity-johtimen (kuva 30) tehtävä on kertoa autolle, miten suurella latausvirralla kaapelia voi käyttää. Control pilot-johtimen tehtävänä on välittää PWM-viestillä tieto latauslaitteen ja auton välisen yhteyden tilasta, sekä kertoa autolle, miten suurella virralla se voi itseään ladata. Tässä kohtaa on hyvä vielä selventää, että latauslaitteen tehtävänä ei siis ole säädellä lataustehoa, vaan auton oma laturi tekee sen parhaaksi katsomallaan tavalla ilmoitetun maksimivirran rajoissa (IEC 61851 2016; Parviainen 2018).



**Kuva 29.** Lataustavat ja osien määrittely (Phoenix contact).



**Kuva 30.** Euroopassa käytössä oleva tyyppin 2 pistoke (Mennekes).

Myös pikalatauksessa on käytössä kahta eri tyyppiä. Eurooppalainen standardi on käyttää CCS Combo-liitintä, joka käyttää samoja proximity-, control pilot- ja maadoitusliittimiä kuin vaihtovirtalataus, mutta virta siirtyy erillisiä DC-liittimiä pitkin. Toinen tarjolla oleva pikalatausmenetelmä on CHaDeMO, joka soveltuu erityisesti japanilaisten autojen lataamiseen. Lisäksi Teslan omissa pikalatauspisteissä on omat latauspistokkeensa. Kuvassa 31 on esitetty eri maissa käytössä olevat latausstandardit.



*Kuva 31. Lataustavat eri maissa (Phoenix contact).*

### 3.3.1 Latauslaitteet ja niiden kytkentä

Kun mietitään latauslaitetta ja sähköautoa osana kiinteistön sähköverkkoa, on hyvä huomioida, että autojen lataus voi tapahtua merkistä riippuen myös yksi- tai kaksivaiheisena, vaikka latauslaite tarjoaakin kolmivaiheista mahdollisuutta. Tämä voi aiheuttaa haasteita erityisesti useamman latauspisteen kokonaisuuksissa, jos lataukseen tulee useampi samasta vaiheesta lataava auto, eikä vaiheiden vuorottelua latausasemien välillä ole tehty. Toteutettaessa latausasemien välillä vaiheiden vuorottelua, on kuitenkin huomioitava, että jotkin automerkit eivät ota latausta vastaan, jos vaiheiden välinen kiertosuunta on väärin, joten tämä on hyvä varmistaa erikseen (SESKO 2018).

Latausaseman syöttö toteutetaan pienikiinteistöissä usein suoraan pääkeskuksesta, sillä tämä on monesti lähimpänä, eikä selektiivisyys rajoita ylivirtasuojan kokoa nousujohdon suoja pienemmäksi. Mikään ei kuitenkaan estä, etteikö syöttöä voitaisiin kytkeä esimerkiksi autotallin ryhmäkeskukseen. Latauslaitteen ilmoitettu teho on siitä maksimissaan ulos saatava teho. Asennusvaiheessa laitteeseen voidaan kuitenkin asettaa johdonsuojan koon ja kiinteistön muun sähkötehon perusteella kiinteä maksimiraja, jonka yli latausvirta ei saa nousta.

Latausaseman syöttö tulee olla aina omana ryhmänään, jonka suojaus on toteutettu SFS 6000-7-722 standardin mukaisesti ylivirtasuojan ja vikavirtasuojan avulla (liitteet D-F).

Ainoastaan auton lämmitys on sallittu toteutettavaksi samasta ryhmästä. Jos kiinteistöön asennetaan useampi latausasema, niin jokaisen suojaus tulee toteuttaa omalla vikavirtasuojallaan. Kaapeleiden kulkureittejä suunnitellessa tulee huomioida mahdolliset tulevaisuuden tarpeet. Tällaisia voivat olla esimerkiksi latausaseman koon kasvattaminen, toisen latauslaitteen lisääminen tai tiedonsiirtokaapelin tarve latauksen hallintaan. Tämä on tärkeää erityisesti maakaapelivedoissa, jolloin on hyvä asentaa varalle tyhjä kaapeli-reitti näille varauksille, jotta kaivuutyötä ei tarvitse tehdä toistamiseen.

Tiivistettynä latausaseman liittäminen vaatii ryhmää suojaavan ylivirtasuojan ja vikavirtasuojan lisäämisen. Nämä voidaan sijoittaa joko keskukseen, erilliseen lisämoduuliin tai vikavirtasuojan osalta integroituna latausasemaan. Lisäksi tehonhallinnan ja tiedonsiirtoyhteyden mahdollistamiseksi voidaan tarvita yleiskaapelointi reitittimelle ja ylimääräinen johdinpari tehonrajoituksen kärkitieto-ohjaukseen. Jos tehonrajoitus on toteutettu virtaa mittaavalla lisämoduulilla, niin tulee myös tämän tilavaatimukset huomioida. Näistä on kerrottu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

### 3.3.2 Mittaus ja rajapinnat

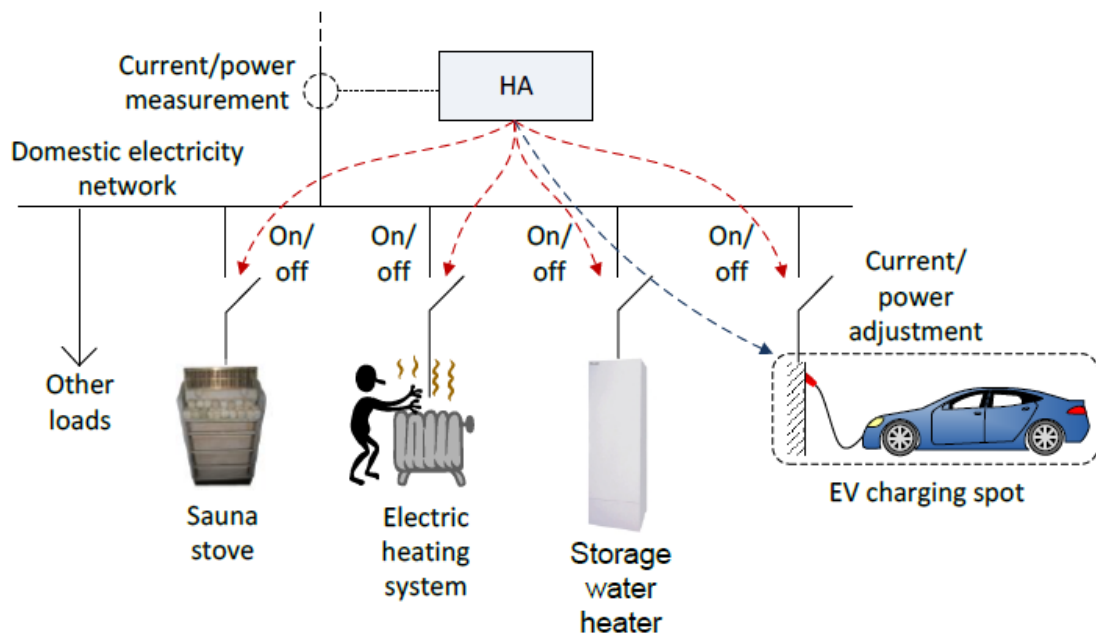
Sähköautojen latauslaitteet voivat tiedonsiirron tasolla vastaanottaa ohjauksia muilta järjestelmiltä, sekä välittää tietoa omasta tilastaan muille osapuolille. Älykkäämmissä laitteissa on integroituna oma virran mittaus, jolloin tämä tieto voidaan välittää reitittimen kautta taustapalvelimelle tai vaihtoehtoisesti suoraan paikallisen HEMS:n tai kotiautomaatiojärjestelmän käyttöön. Latauksen hallinnan kannalta taas on tärkeää, että lataustehoa pystytään rajoittamaan jonkin ulkoisen ohjauksen perusteella.

Latauslaitteille on olemassa yhteinen avoin protokolla OCPP (Open Charge Point Protocol), jota moni latauslaitteista tukee. Tällä hetkellä käytössä on pääosin OCPP:n versio 1.5, mutta uusin 2.0-versio on jo julkaistu vapaasti ladattavaksi. Tämän protokollan tarkoitus on mahdollistaa valmistajasta riippumaton yhteys latauslaitteelta reitittimen kautta taustapalvelimeen. Latauslaitteen ja reitittimen välille vaaditaan tällöin yhteys yleiskaapeloinnin tai Wi-Fi-yhteyden avulla. Lisäksi laitteella voi olla mahdollisuus etähallintaan myös langattomasti 3G-verkon kautta, jos muiden yhteyksien toteuttaminen on haastavaa. Taustapalvelimen avulla on käyttäjän mahdollista lukea latauslaitteen kulutustietoja ja virheilmoituksia, sekä toteuttaa erilaisia latauksen ohjausratkaisuja. Jos näitä taustapalvelimen mittaus- ja ohjausratkaisuja halutaan hyödyntää osana kiinteistön energianhallintajärjestelmää, niin tällöin vaaditaan kummankin pilvipalvelun välille yhteistyön mahdollistava rajapinta. Osalla valmistajista on oma protokollansa, joka mahdollistaa latauslaitteen integroinnin osaksi muuta kiinteistön ohjausjärjestelmää, mutta tällöin vaatimuksena on, että yhteen liitetyt laitteet tukevat kaikki samaa protokollaa keskustellakseen keskenään.

Osassa latureista on myös Modbus-rajapinnalla toteutettu virran mittaus. Tällöin mittaus-tieto voidaan viedä esimerkiksi CAT- tai KLMA-kaapelilla paikalliseen Modbussia tukevaan ohjausjärjestelmään.

Latauslaitteen ohjaus voidaan yksinkertaisimmillaan tehdä suoralla kontaktoriohjauksella, jolloin latauslaitteen syöttö yksinkertaisesti katkaistaan aina tarvittaessa (liite D). Tällä tavoin voidaan helpoimmin toteuttaa esimerkiksi manuaalinen ohjaus sisältä tai risteilyohjaus kiukaan kanssa tehon rajoittamiseksi. Tällaisessa ratkaisussa on käytettävä kuitenkin ns. tyhmää laturia, josta ei tule virheilmoituksia syötön katketessa tai muuten häiriinny tällaisesta ohjaustavasta (Parviainen 2018).

Toinen tapa rajoittaa latauksen tehoa on valita latauslaite, jossa on kärkitietoon perustuva tehonrajoitus. Tällöin syöttökaapelin rinnalle vaaditaan ylimääräinen johdinpari, sekä jokin kärkiohjaus indikoimaan rajoituksen tarvetta. Tämän kärkitiedon toteuttavan releen ohjaus voidaan hoitaa esimerkiksi HEMSin relekortilla, kotiautomaatiolla tai isoimpien kuormien (kiuas, sähköpatterit, lämminvesivaraaja) risteilyohjauksella (liite E). Markkinoilla on myös valvontareleitä, joihin asetellaan virta, jonka ylittyessä ohjauskärki vaihtaa tilaansa. Tällöin valvontarele kytketään mittaamaan ryhmäkeskukselle menevää kiinteistön muuta kuormaa (liite F). Asetetun virran ylittyessä valvontareleeseen ohjauskärkien tila vaihtuu, jonka seurauksena latauslaitteen teho rajoittuu. Valvontareleeseen suunnittelussa on tärkeä muistaa, ettei myös latauslaitteen virta kulje mittauksen läpi, jolloin tämä ratkaisu ei toimi oikein. Kuvassa 32 on esitetty yksinkertaistettu periaatekuva, miten kiinteistön huipputehoa voidaan rajoittaa kotiautomaation toteuttaman kuormien risteilyn avulla.



*Kuva 32. Yksinkertainen periaatekuva huipputehon hallinnasta kotiautomaation avulla (Rautiainen 2015).*

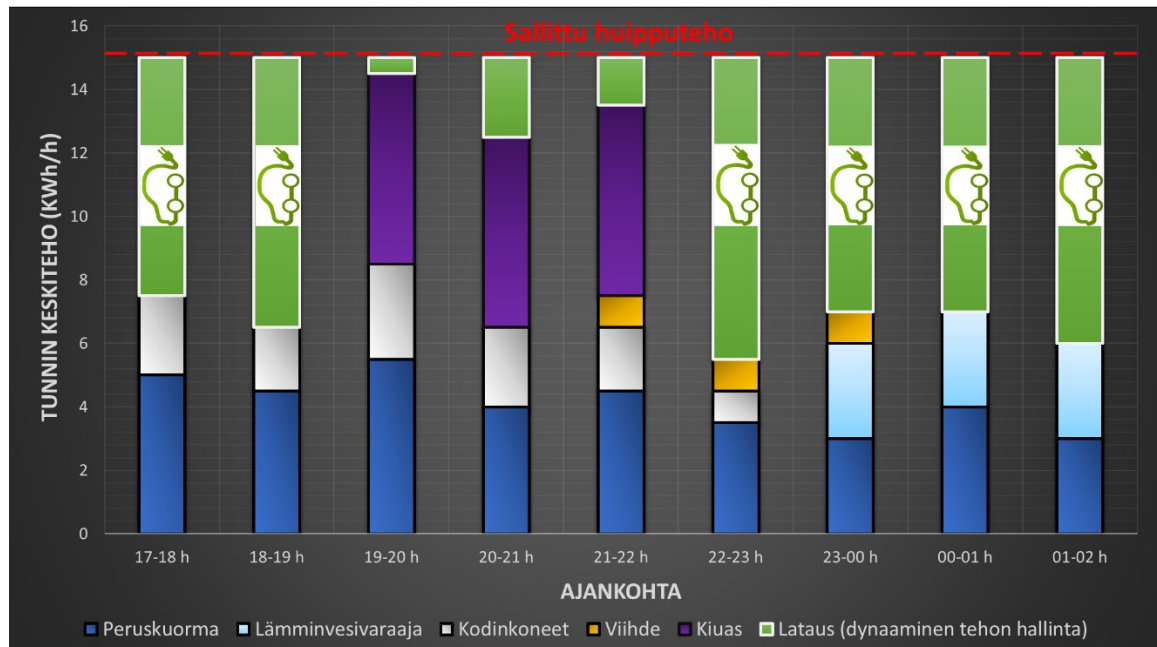
Kolmas vaihtoehto lataustehon hallintaan on erilaiset älykkäät ohjaustavat (smart charging), joissa latauslaite on langallisesti tai langattomasti yhdistettynä ohjaavaan järjestelmään (pilvipalvelin, HEMS, kotiautomaatio). Tällaisen ohjauksen avulla voidaan yhdessä kiinteistön mittaustietojen ja eri tahoilta saatujen taustatietojen perusteella pyrkiä optimoimaan lataus käyttäjän etujen mukaisesti parhaalla tavalla.

### 3.3.3 Smart charging

Kuten muissakin älykkäissä ratkaisuissa, myös sähköauton latauksessa älykkyyden voidaan ajatella tarkoittavan tiedonvaihtoa ja optimaalista toimintaa yhdessä eri osapuolien kanssa. Lataustapahtumaa voidaan pyrkiä optimoimaan kahdesta eri näkökulmasta. Optimoinnin kohteena voi olla latausteho, jolloin pyritään maksimoimaan verkosta otettu virta kiinteistölle sallitun huipputehon rajoissa. Tämän huipputeho voi olla suurimmillaan kiinteistön pääsulakkeiden sallima raja. Jos sähkön siirtomaksu pohjautuu liittymän toteutuneeseen huipputehoon, niin tällöin tehoa voidaan rajoittaa myös liittymäkokoja alemmas kustannusten minimoimiseksi. Latausta voidaan ajatella taloudellisesta näkökulmasta myös niin, että se pyritään ajoittamaan vuorokauden halvimmille tunneille. Mahdolliset V2G- tai V2H-toiminnot taas voidaan ajoittaa hetkille, jolloin kuluttaja tästä eniten hyötyy. Taloudellista hyötyä voidaan saada myös optimoimalla auton lataus mahdollisen omatuotannon kanssa, jolloin erityisesti kiinteistön muun kulutuksen ylittävä tuotanto voidaan ohjata auton lataukseen.



Maksimaalinen teho kotilatauksessa saadaan dynaamisella latausmenetelmällä (kuva 33). Tällöin kiinteistön muuta kulutusta mittaamalla latausteho pidetään jatkuvasti sallitun huipputehon asettamissa rajoissa. Esimerkiksi eHome BeON tarjoaa virtamittarin ja latauslaitteen yhdistelmää, joka toteuttaa dynaamisen latauksen ilman ulkoisia ohjauslaitteita (Circontrol 2016).



**Kuva 33.** Latausvirran dynaaminen säätö.

Markkinoille on tuloillaan myös erilaisia ratkaisuja, joissa kotiakku tai aurinkopaneelit on yhdistetty saman invertterin taakse auton latausaseman kanssa. Tällä tavoin on voitu boostata latausta lisää, kun verkosta saadun maksimivirran lisäksi akun varastoja tai aurinkopaneelin tuotantoa on ohjattu invertterin kautta lisätehoksi lataukseen (The smarter E Europe-messut, München).

Kun latauslaite on osana älykkäämpää kokonaisuutta, voidaan soveltaa erilaisia lataustiloja, joista käyttäjä voi esimerkiksi kännykän välityksellä valita tilanteeseen parhaiten sopivan. Aikaan perustuvassa lataustilassa käyttäjä kertoo järjestelmälle, milloin on seuraavaksi lähdessä liikenteeseen. Lataus suunnitellaan ajanjaksolle optimaalisesti niin, että auto on ladattuna määrättyyn ajankohtaan mennessä. Lataukseen voidaan myös yhdistää sähkön spot-hintatiedot tai esimerkiksi tariffihinnoiteltu yösähkö, jolloin latauslaite pyrkii optimoimaan latauksen halvimmille hinnoille. Yhdessä aurinkopaneelin kanssa voidaan lataustilanteeksi asettaa, että ainoastaan paneelien ylituotanto ohjataan auton lataukseen. Tällä tavalla voidaan rajata ainoastaan omatuotannon ilmainen osuus päivällä ja ladata loput vuorokauden halvemmilla tunneilla. Edellä mainitut ovat alan messuilla vastaan tulleita esimerkkejä, mutta yhteensopivilla laitteilla ja ammattitaidolla sovelluksia voidaan kehittää tapauskohtaisesti. Älykkäämmissä tiedonsiirtoon pohjautuvissa lataus-

muodoissa on aina tärkeää huomioida, miten latauslaite toimii tiedonsiirtoyhteyden katketessa. Jos tällaisessa tilanteessa lataus jää täydelle teholle ilman ohjausta, kiinteistön muun kuorman kasvaessa on seurauksena pahimmillaan kiinteistön pääsulakkeiden laukeaminen (The smarter E Europe-messut, München; Light + Building-Messut, Frankfurt; Parviainen 2018).

Keskimääräinen autoilija kuluttaa ladattavalla hybridillään sähköä vuodessa arviolta noin 2500 kWh (Rautiainen et al. 2010). Jos spot-hintaan perustuvalla latauksella onnistuttaisiin laskemaan ladatun sähköän keskihintaa 1-2 snt/kWh, pelkästään tällä voi olla haasteellista perustella investointia kalliimpaan älykkääseen järjestelmään. Siirryttäessä tehotariffiin pohjautuvaan sähköän hinnoitteluun, voidaan dynaamisella ohjauksella taloudellista kannattavuutta parantaa. Toisaalta älykkäillä järjestelmillä varaudutaan erilaisiin mahdollisuuksiin, joita kiinteistön ohjaustavat tuovat mukanaan. Samalla valveutunut kuluttaja pystyy seuraamaan lataustapahtumiaan, maksimoimaan lataustehon sekä osallistumaan spot-hintojen kautta osaltaan kysyntäjouksoon. Lisäksi ohjaamalla muutoin myyntiin menevää omatuotantoa auton lataukseen, voidaan tästä osuudesta saada säästöä jopa 10 snt/kWh (Energiavirasto 2018).

### 3.4 Kotiakut

Asuinkäyttöön tarkoitettut kotiakut ovat tulleet laajalla valikoimalla markkinoille. Ajurina näille toimii aurinkopaneelien lisääntyminen sekä kasvava tarve kysyntäjouksoille. Vuoden 2018 Smarter e Europe-messuilla monilla alan isoilla toimijoilla oli oma tuoteperhe, johon sisältyi yhdessä toimivat aurinkopaneelit, sähköauton latausasema, HEMS sekä kotiakku.

Kotiakkujen mainoksia ja messuesittelyjä katsoessa saa helposti kuvan, että ainoa tarvittava komponentti on akku, joka kytketään sellaisenaan suoraan ryhmäkeskukseen. Sähköteknisessä mielessä on tärkeää ymmärtää, että pelkkä akku itsessään ei tiedä miten sen pitäisi toimia. Latauksen hallintaan, sekä rajapinnaksi kiinteistön muihin järjestelmiin, tarvitaan akulle invertteri. Se voi olla akkuun integroitu tai erillinen ulkoinen versio. Tarjolla on myös aurinkopaneelien hybridi-inverttereitä, jotka toimivat samalla invertterinä myös yhteensopivalle kotiakulle. Invertterin lisäksi on tiedettävä, milloin ja miten akkua halutaan käyttää. Tämän takia tarvitaan energian mittausta, sekä jonkinlaista ohjelmoitua älyä kertomaan, milloin on hyvä hetki purkaa tai ladata akkua. Tällainen ohjaus voi tulla kodin HEMS-järjestelmän kautta tai kotiakun oman internettiin yhdistettävän gatewayn avulla.

### 3.4.1 Invertterin ominaisuudet

Kotiakut toimivat tasasähköllä. Yhdistettäessä akku kodin sähköverkkoon tarvitaan väliin aina invertteri, jonka tehtävänä on muuntaa ladattava vaihtovirta tasavirraksi ja vastavasti akkua purettaessa muuntaa tasavirta verkon taajuuteen tahdistetuksi vaihtovirraksi. Kotiakkuja myydään kuitenkin erikseen vaihtovirta- ja tasavirta-akun nimikkeillä. Näiden erona on se, että AC-versiossa invertteri on sijoitettuna akkukotelon sisäpuolelle. Invertterin ja elektroniikan tehtävä on huolehtia myös akun turvallisuudesta latauksesta ja riittävästä jäähdytyksestä, jotta akku ei aiheuta vaaraa. Lisäksi invertteri voi toimia rajapintana ja älynä osana kiinteistön muita järjestelmiä.

Monelle kuluttajalle kotiakuista ensimmäisenä mieleen tulee sähköautoista parhaiten tunnetun Teslan Powerwall-kotiakut. Teslan ensimmäinen versio oli erillisen invertterin vaativa DC-akku, mutta uusi Powerwall 2 pitää sisällään invertterin, nestejäähdytyksen ja akun. Tesla on hyvä esimerkki siitä, miten kuluttajalle tarjotaan suoraan seinään asennettavaa kaunista koteloa, joka ei tarvitse muuta ympärilleen. Tuotteesta on myös vaikea saada käsiin konkreettista kytkentäesimerkkiä sille, mitä tuotteen asentaminen vaatii. Todellisuudessa Teslan akku vaatii aina lisäksi erillisessä kotelossa olevan gatewayn, joka toimii tuotteen älynä ja yhteytenä ulkomaailmaan. Tämä gateway tulee yhdistää ethernet-kaapelilla tai Wifi-yhteydellä reitittimen kautta internet-palvelimelle, jonka kautta käyttäjä voi kännykkäohjelmistolla hallinnoida akun toimintaa. Lisäksi akun mukana tulee erillinen virtamittari, joka asetetaan mittaamaan kiinteistön kuormitusta. Teslan tuotetta ei pysty yhdistämään muihin järjestelmiin, vaan se toimii omana yksikkönään, jonka asetuksia ja toimintoja on mahdollista hallita erillisellä kännykkäsovelluksella (The smarter E Europe-messut, München; Puhelinhaastattelu, Teslan tekninen tuki).

Kotiakut toimivat sähkötekniisessä mielessä muutoin pääosin samalla periaatteella. Akku on kytketty joko omaan tai aurinkopaneelin kanssa yhteiseen (hybridi) invertteriin. Jos invertteri on eri valmistajan, niin akun ja invertterin väliin voidaan asentaa erillinen suojakotelo (checkbox). Invertteri voi toimia itsessään koko järjestelmän älynä, jolloin virtamittaukset on yhdistetty tähän ja yhteys serveriin toteutetaan suoraan invertteriltä reitittimelle. Toinen vaihtoehto on, että akku toimii osana laajempaa järjestelmää, jolloin mitaus ja ohjaukset on toteutettu esimerkiksi aurinkopaneelin invertterin tai energianhallintajärjestelmän kautta.

Kotiakkua ja aurinkopaneelin tuotantoa voidaan käyttää sähkökatkotilanteissa varmistamaan sähkö tärkeimmille laitteille (saarekekäyttö). Akku tulee tällöin olla kytketty saarekekäyttöön soveltuvaan invertteriin. Tällöin sähkökatkotilanteessa erillinen rele katkaisee syötön ulkopuoliseen verkkoon ja akuston invertteri syöttää kodin sähköverkkoa. Saarekekäyttötilanteissa on yhteys valtakunnan verkkoon katkaistava luotettavasti. Tähän erottamiseen on maakohtaisia eroja sen suhteen, että koskeeko erottaminen ainoastaan vai-

hejohtimia vai lisäksi myös nollajohdinta. Suomessa tätä ei ole standardissa erikseen määritelty, vaikka verkon rinnalla toimivassa saarekeohjauksessa tällä on oleellisesti merkitystä. Mikäli erotus tulee toteuttaa myös nollajohtimelle, niin tällöin saareketilanteissa tulee olla erillinen maadoituslaite, joka luo erillisen uuden PEN-liitoksen invertterin nollapisteeseen (liite I).

### 3.4.2 Akkujen turvallisuus

Litiumioniakkujen haasteena on niiden turvallisuus. Akut ovat rakenteeltaan suljettuja, jonka takia ne eivät välttämättä aseta vaatimuksia tarvittavalle ilmanvaihdolle. Sen sijaan akut voivat väärin käytettynä tai valmistettuna syttyä palamaan. Tällöin akun elektrolyytin palaessa ympäristöön vapautuu ihmiselle myrkyllisiä fluoripitoisia kaasuja, kuten vetyfluorihappoa (HF). Tällaista akkupaloa ei pysty perinteisillä menetelmillä sammuttamaan. Palon sammuttaminen vedellä taas pahentaa tilannetta, sillä vesi reagoi akun kationin kanssa, jolloin reaktiotuotteena syntyvä asetyleeni ja vety levittää paloa entisestään. Akkutapaturmien riskiä lisää liian korkea lämpötila, huonolaatuinen valmistus, vääränlainen lataus sekä liian pitkään jatkettu käyttöikä. Tämä on oleellista erityisesti puhuttaessa sähköauton akkujen käytöstä kotiaakkuina sen jälkeen, kun ne ovat tulleet tiensä päähän autokäytössä (Dosentti Kai Vuorilehdon puhelinhaastattelu).

Litiumioniakkujen määrä lisääntyy kuluttajakäyttöön tarkoitetuissa sovelluksissa jatkuvasti, jonka vuoksi niiden turvallisuuteen on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota. Tärkein keino tapaturmariskin minimoimiseksi on tuotteen asianmukainen käyttö ja laadukkaiden tuotteiden valinta. Mahdollisen akkupalon syttyessä on tavallisella kuluttajalla hyvin vähän keinoja palon hallitsemiseksi. Tämän takia on tärkeää, että valmistaja on panostanut laadukkaaseen akun latauksen hallintaan (BMS) ja akun valmistukseen. Isoille sähkö- ja hybridautojen sekä kotiaakkujen valmistajille yksittäisetkin tapaturmat olisivat iso imagoriski koko alalle. Tämän takia voidaan olettaa, että näiden valmistajien akkutu-  
rallisuuteen on panostettu paljon. Sen sijaan yksittäisten kuluttajien tilaamat suhteellisen halvat ja vähemmän tunnettujen valmistajien sähköavusteiset pyörät, potkulaudat tai tasapainolaudat saattavat kulkea huomattavasti suppeamman laadunvalvonnan läpi, jolloin riski tapaturmalle kasvaa. Tällaisten tuotteiden palokuorma on kuitenkin merkittävä, jos tapaturma sattuu esimerkiksi laitetta kotona ladattaessa (Dosentti Kai Vuorilehdon puhelinhaastattelu; Kari Raivion puhelinhaastattelu, uRecycle Group).

Litiumioniakkujen palon hallintaan on kehitelty erilaisia tapoja, mutta kotisammutukseen soveltuvia ratkaisuja on toistaiseksi heikosti tarjolla. Saksalainen yritys nimeltä Geniusgroup on lanseeranut litiumioniakkujen sammuttamiseen suunnitellun ensisammutuslaitteen, joka käyttää PyroBubbles-nimellä tunnettua mineraalimassaa perinteisen sammuttamen tapaan. PyroBubblesin toiminta perustuu palavan kohteen peittämiseen, hapen ja reaktiokaasujen sitomiseen sekä kohteen jäädyttämiseen lämpöenergiaa sitomalla (Ge-

nius-group). Litiumioniakkujen paloihin suunniteltuja ensisammuttimia on myös esimerkiksi UK:ssa toimivalla AVD:llä ja hollantilaisella Battery safety solutionilla (AVD; Battery safety solutions).

Oulun ammattikorkeakoulun ANSVAR-hankkeessa testattiin yhdessä yhteistyökumppaneiden kanssa erilaisia sammutusmenetelmiä litiumioniakkujen kanssa. Tältä pohjalta syntyi opetusmateriaali, jossa on otettu kantaa erityisesti sähkö- ja hybridiautojen paloja pelastustoimintaan (Hyyryläinen et al. 2015).

Isommissa akkupaloissa, kuten kierrätyskeskuksissa tai tapaturmapaikoilla paloa on pyritty hallitsemaan kapseloimalla kohde riittävällä massalla. Tämä on voitu toteuttaa esimerkiksi riittävän isolla vesimäärällä tai ajamalla suuri määrä hiekkaa kohteen päälle. Lisäksi markkinoilla on erilaisia suojakontteja ja -pusseja, jotka on suunniteltu erityisesti riskialttiin kohteen kuljettamiseen. Tällöin mahdollinen kuljetuksen aikana syttyvä palo pystytään rajaamaan kapseloinnin sisään. Erilaisia palon leviämisen estäviä suojapusseja on suunniteltu myös kuluttajien akkujen varastointiin esimerkiksi lentojen ajaksi, jolloin mahdollinen palo pystyttäisiin rajaamaan (Kari Raivion puhelinhaastattelu, uRecycle Group; Genius-group).

Tähän mennessä akkujen sijoitukselle asetetut vaatimukset Suomessa ovat pohjautuneet lähinnä perinteisten lyijyakustojen tuomiin haasteisiin. Litiumioniin pohjautuvat kotiakut ovat kuitenkin ominaisuuksiltaan hyvin poikkeavat lyijyakkuihin verrattuna. Nämä kotiakut sisältävät hermeettisesti suljettuja kennoja, joten ne eivät tuo normaalitoiminnassa lämpötilan hallinnan lisäksi erityisvaatimuksia ilmanvaihdolle. Sen sijaan isomman tapaturman yhteydessä nämä akut tuovat merkittävän lisän palokuormalle. Tämän vuoksi myös Suomessa vaatimuksia tulisi tarkentaa käyttökohteiden lisääntyessä.

Litiumioniakun lämpötilan tulisi pysyä mahdollisimman tasaisena. Optimilämpötila akulle on noin 20-celsiusastetta. Kun kennon lämpötila lähenee pakkaslukemia, niin reaktiot hidastuvat eikä akku toimi optimaalisesti. Vastaavasti lämmön noustessa akun sisäiset reaktiot kiihtyvät, jolloin sen elinikä lyhenee. Jokainen 10 °C lämpötilan nousu kennoissa lyhentää akun elinikää noin puolella, joten kennojen lämpötiloista huolehtiminen on tärkeää arvioidun elinkaaren saavuttamiseksi ja tapaturmien välttämiseksi. Lisäksi lämpötilan lähestyessä sadan asteen rajaa, saattaa seurauksena olla kennojen sisäinen oikosulku ja akun syttyminen. Kotiakuissa voi löytyä itsessään erilaisia keinoja lämpötilan hallintaan, mutta sijoituksen kannalta on tärkeää, ettei akku ole esimerkiksi ulkona pakasessa tai suoraan auringonpaisteessa (Dosentti Kai Vuorilehdon puhelinhaastattelu). Kotiakkuvalmistajien manuaaleissa suosituksina on, että lämpötila pysyy 0–35 °C välillä ja ilman suhteellinen kosteus on 0–95 % (LG Chem; Tesla; Fronius).

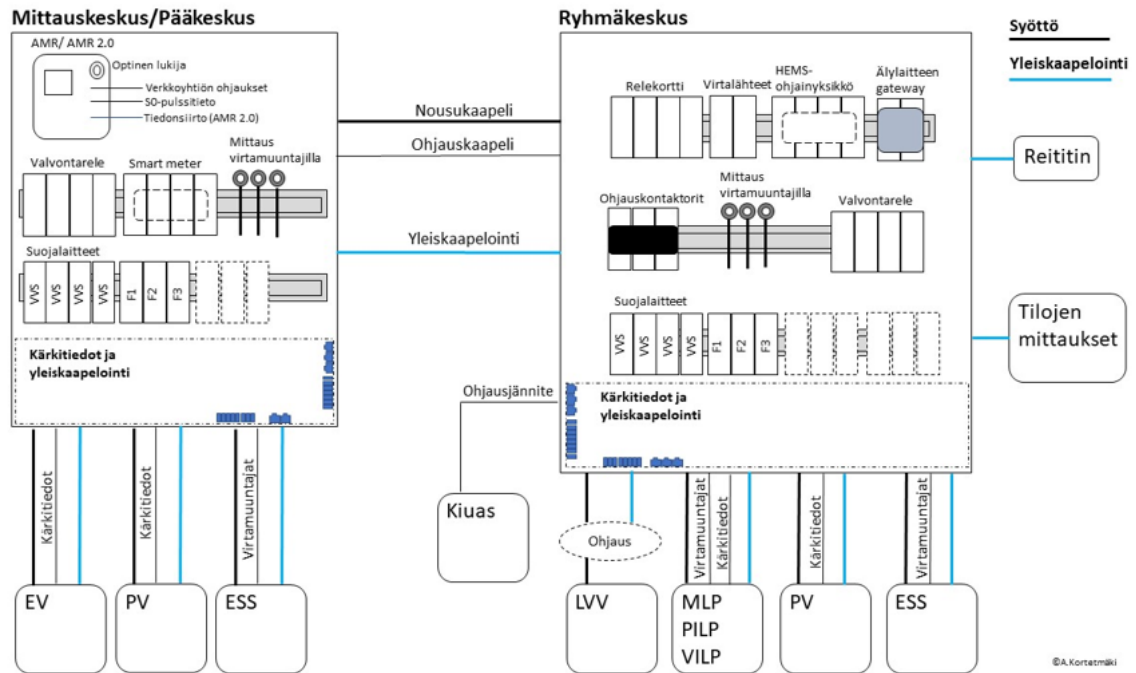
Kotiakkujen palamisista on uutisoitu vähän, mutta niiden lisääntyessä riski onnettomuudelle kasvaa. Kotiakku sijoitetaan tyypillisesti keskuksen läheisyyteen, jolloin sijaintiin

saattaa olla haastavaa vaikuttaa. Ennen asentamista olisi kuitenkin syytä miettiä, ettei sijainti ole erityisen alttiina lämpötilojen vaihtelulle tai mekaanisille vaurioille. Lisäksi mahdollisen palon varalta olisi hyvä varmistaa, että kotiakku ei ole poistumisreitillä varrella ja palokunnalla on riittävä pääsy kohteeseen.

## 4. SÄHKÖKESKUKSIEN VAATIMUKSET JATKOSSA

Tässä luvussa on esitelty, minkälaisia ominaisuuksia kodin sähköverkon osalta vaaditaan, jotta tällä hetkellä yleistyvien järjestelmien asentaminen olisi mahdollisimman helppoa. Lisäksi on erikseen esitetty, mitä näiden järjestelmien liittäminen jo olemassa olevaan kohteeseen vaatii, jotta toteutus on mahdollista. Näiden asioiden tutkiminen on tärkeää, jotta uusien järjestelmien asennus kodeissa olisi mahdollisimman vaivatonta. Lisäksi iso osa toteutuksen hinnasta muodostuu monesti suunnitteluun ja asennukseen menevistä palkkioista, jonka vuoksi näiden toimien yksinkertaistaminen mahdollistaa samalla entistä houkuttelevamman hinnan.

Sähkökeskusten valmistus on hyvin hintakilpailtu ala, jonka vuoksi vakiomallissa on tyyppillisesti vain pakolliset komponentit. Tämän jälkeen keskuksia voidaan räätälöidä tilaajan tarpeen mukaan. Tässä luvussa on esitelty vaatimuksia ihannekeskuksille, jotka huomioisivat valmiiksi kaikki tässä työssä esitellyt variaatiot eri laitteiden liitännöille ja integraatiolle. Kohteen suunnitteluvaiheessa keskuksien komponentit ja keskusten väliset kaapeloinnit ovat suunnittelijan ja tilaajan harkinnan varassa. Tässä luvussa on pyritty tuomaan esille mahdolliset tarpeet, jotka on hyvä huomioida uutta kohdetta suunniteltaessa, sekä tilanteissa, joissa laajennetaan jo olemassa olevaa järjestelmää. Kuvaan 34 on tiivistetty seuraavissa luvuissa esitetyt mahdolliset tila- ja kaapelivaraukset yhteen. Kuvan tarkoitus on auttaa suunnittelijaa hahmottamaan nykyisiä ja tulevia tarpeita tilannekohtaisesti. Kuvan sisällöstä on kerrottu tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.



Kuva 34. Keskusten mahdolliset tilavaraukset ja kaapelointitarpeet.

## 4.1 Uusien mittauskeskusten varustelu

Mittauskeskukset on tyypillisesti ollut pienkiinteistössä keskus, johon on sijoitettu nimensä mukaisesti kiinteistön AMR-mittari. Lisäksi mittauskeskus toimii yleensä samalla pääkeskuksena, jolloin keskuksessa on myös pääkytkin, pääsulakkeet ja keskuksen omat pistorasiat. Sähköautojen, aurinkopaneelien ja kotiakkujen myötä keskukselta saattaa tulla kytkentäpiste myös näiden liittämiseksi kiinteistön sähköverkkoon. Nämä laitteet saattavat toiminnallisuksistaan riippuen vaatia suojalaitteiden ja mittauksien lisäksi yhteyden ryhmäkeskuksessa sijaitseville muille komponenteille, jotta toiminta voidaan integroida osaksi kiinteistön energian ja huipputehon hallintaa.

### 4.1.1 Mittauskeskuksen tilavaraukset

Tällä hetkellä Euroopan markkinoilla tarjottavat HEMS-järjestelmät hoitavat monesti kiinteistön kaksisuuntaisen mittauksen erillisellä läpimittaavalla älymittarilla (smart meter). Jotta tällainen mittari pystyy mittaamaan myös mittauskeskukseen liitettyjä laitteita, niin tämä tulee sijoittaa heti AMR-mittarin jälkeen. Näin ollen keskuksen suunnittelussa tulisi varmistaa riittävä tilavaraus mittarin asentamiseksi. Tyypillinen 3-vaiheinen älymittari vaatii tilaa neljä moduulipaikkaa DIN-kiskolta.

Sähköautojen latauslaitteet sijoitetaan monesti suoraan mittauskeskukseen, keskuksen ollessa piha-asennukselle käytännöllisin. SFS 6000-7-722 määrittelee, että latausasema tulee syöttää omana ryhmänä, joka on suojattu enintään 30 mA ja vähintään A-tyyppin vikavirtasuojalla. Näin ollen kolmivaiheisen latausaseman asentaminen mittauskeskukseen



vaatii DIN-kiskolta tilaa vikavirtasuojalle ja johdonsuojakatkaisijoille yhteensä seitsemän moduulipaikkaa. Kiinteistön kuormanhallinnan kannalta latausaseman tehoa saatetaan pyrkiä rajoittamaan eri tavoin. Yksi tapa tehon rajoittamiselle on asentaa virranvalvontarele mittaamaan kiinteistön kuormitusta. Tällainen valvontarele tulee myös asentaa mittauskeskukseen niin, että kaikki muu kiinteistön kuorma kulkee laitteen läpi. Aseteltava virranvalvontarele vaatii DIN-kiskolta tilaa vähintään yhden moduulipaikan vaihetta kohden, mutta laajemmilla ominaisuuksilla varustetut versiot kasvattavat tilantarvetta lisää. Virtamuuntajiin perustuvassa dynaamisessa latausvirran hallinnassa tulee myös näiden virtamuuntajien sijoittaminen ottaa huomioon keskusta suunnitellessa.

Aurinkopaneelien invertteri voidaan tilanteen mukaan kytkeä niin mittaus- kuin ryhmäkeskukseenkin. SFS 6000-7-712 määrittelee tilanteet, jolloin ryhmää ei tarvitse suojata erillisellä vikavirtasuojalla. Keskukseen liittämiseksi tulee tilaa löytyä silti vähintään johdonsuojakatkaisijoiden vaatimat kolme moduulipaikkaa.

#### **4.1.2 Mittauskeskuksen liitännät**

Jotta keskukseen liitettävien laitteiden olisi mahdollista kommunikoida jollakin tasolla muun kiinteistön tekniikan kanssa, tulee suojalaitteiden lisäksi keskuksessa olla myös mahdollisuudet tiedonsiirron toteuttamiseen. Tämä tiedonsiirto voi olla yksinkertaisimmillaan erilaisten kärkitietojen välittämistä laitteelta toiselle, kun taas monipuolisemmilla ominaisuuksilla varustetut laitteet saattavat vaatia yhteyden kiinteistön reitittimelle tai kiinteistöä hallitsevan järjestelmän ohjainyksikköön.

Sähköauton latauslaitteen yksinkertaisin kuormanhallinta voi tapahtua kärkitietoon perustuen. Tämä kärkitieto voi tulla suoraan mittauskeskukseen asennetulta valvontareleelta tai ryhmäkeskukselta esimerkiksi kiuasristeilyn ohjaamana. Jotta tällaisen ohjauksen toteuttaminen on mahdollista, tulee riittävät johdotukset ja liitäntäpisteet varata tähän tarkoitukseen. Älykkäämmällä latauslaitteella tiedonsiirto reitittimelle tai ohjainyksikölle on yleensä mahdollista toteuttaa joko Wi-Fi-yhteyden tai yleiskaapeloinnin avulla. Langattoman yhteyden kantavuus voi olla haastavaa varmistaa suunnitteluvaiheessa, jonka vuoksi yleiskaapelointi latauslaitteelta mittauskeskukselle ja tästä eteenpäin reitittimelle tai ohjainyksikölle on hyvä suunnitella valmiiksi.

Aurinkopaneelin invertterillä on mallista riippuen yleensä vastaavanlaiset liitäntämahdollisuudet. Yksinkertaisimmillaan kiinteistön kuormia voidaan ohjata invertterin aseteltavilla kärkitiedoilla, jolloin vaaditaan kärkitietojen välittämiseksi fyysinen yhteys kyseisten laitteiden ohjaamiseksi. Monesti invertterillä on myös liitäntämahdollisuus reitittimen kautta taustapalvelimelle tai ohjainyksikölle. Tämän yhteyden mahdollistamiseksi vaaditaan vastaavasti kantama Wifi-verkkoon tai yhteys yleiskaapeloinnin avulla.

Jos kiinteistöä mitataan mittauskeskukseen sijoitettavalla älymittarilla, se vaatii vastaavasti yhteyden ohjainyksikölle yleiskaapeloinnin kautta. Myös tuleville AMR 2.0-mittareille suunniteltu mittaustiedon hyödyntämismahdollisuus onnistuu todennäköisesti yleiskaapelointia hyväksi käyttäen, joten myös tämä on hyvä mieltä kaapelivarauksia ja liitännämahdollisuuksia suunnitellessa. Nykyisissä AMR-mittareissa on myös mahdollisuus välittää kiinteistön kulutus sisäiseen käyttöön pulssitietoon perustuen, joten tämän hyödyntäminen on tarvittaessa huomioitava.

## **4.2 Uusien ryhmäkeskusten varustelu**

Laajentunut ja entistä älykkäämpi kiinteistön sähköverkko tuo omat vaatimuksensa myös ryhmäkeskuksen osalta. Laitteiden määrän kasvaessa, sekä ohjausratkaisuiden ja tiedonsiirron lisääntyessä, tulee ryhmäkeskukset varustaa vastaamaan suunnitteluvaiheen ja tulevaisuuden vaatimuksia. Tärkeimpiä edellytyksiä tälle on riittävät tilavaraukset, laitteiden järkevä ryhmittely sekä tiedonsiirron ja ohjaustapojen mahdollistaminen. Tässä kapaleessa on esitetty monia erilaisia ratkaisuja, joten keskuksen suunnittelussa tulee käyttää aina tilannekohtaista harkintaa optimaalisen ratkaisun löytämiseksi.

### **4.2.1 Ryhmäkeskusten tilavaraukset**

Liitettäessä kiinteistöön HEMS-järjestelmää, tulee tätä hallinnoivalle ohjainlaitteelle ja virtalähteelle löytyä keskukselta riittävä tila. Tällainen ratkaisu vaatii tilaa valmistajasta riippuen vähintään 6 moduulipaikkaa. Tämä on kuitenkin tapauskohtaista. Joissain järjestelmissä älykkyys voi olla samassa älymittarin kanssa, jolloin erillistä ohjainyksikköä ei tarvita. Toisaalta osassa järjestelmissä on, joko sisäänrakennettuna tai erillisenä laitteena kuormia ohjaava relekortti. Tällainen relekortti vaatii erillisenä komponenttina noin 8 moduulipaikkaa lisää. Näin ollen suunnitteluvaiheessa on hyvä tiedostaa, että millainen järjestelmä riittää palvelemaan kiinteistön energianhallintaa ja miten paljon valitun toimittajan laitteet vaativat tilaa keskukselta.

Toteutustavasta riippuen mittauskeskukselta tulevan nousujohdon ja yksittäisten ryhmien kulutusta saatetaan mitata myös ryhmäkeskuksesta käsin. Tällöin mittauksen toteutukseen on varattava riittävät mahdollisuudet. Mittaus voi tapahtua esimerkiksi läpimittavalla älymittarilla tai ohjainlaitteeseen liitettävillä virtamuuntajilla.

Liitettäessä ryhmäkeskukseen aurinkopaneelin ja mahdollisesti kotiakun invertteri, niin näiden suojaaminen tulee toteuttaa valmistajan standardien ja valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kotiakku voi olla liitettynä keskuksen paneelien kanssa yhteisellä invertterillä, jolloin minimivaatimuksena on kolme moduulipaikkaa vaihekohtaisille johdonsuojakatkaisijoille. Vikavirtasuojaus tulee toteuttaa, mikäli standardissa SFS 6000-7-712 mainitut ehdot eivät täyty.

Toteuttaessa laite- tai ryhmäkohtaisia ohjauksia keskukselta käsin, niin vaaditaan tähän tyyppillisesti lähtöä ohjaava kontaktori. Kontaktoriohjattuja lähtöjä voi olla esimerkiksi lämminvesivaraaja sekä tyyppi-, vyöhyke- tai huonekohtaisesti jaetut lämmityspiirit.

#### **4.2.2 Ryhmäkeskusten kuormien ryhmittely ja ohjaus**

Pyrkiessä optimaaliseen energianhallintaan ja kiinteistön huipputehon rajoitukseen, niin suurimpien kuormien riittävän tarkka ohjaus on tärkeää. Tämän takia ohjausmahdollisuuksien luominen ainakin ryhmittelyn ja tilanvarausten osalta on tärkeää jo suunnitteluvaiheessa. Kuormien ohjausmahdollisuutta tarvitaan ainakin huipputehon rajoittamiseksi, omaan käyttöön menevän omatuotannon maksimoimiseksi, kuormien halvemmille tunneille siirtämiseksi sekä myös tarpeenmukaisuuteen perustuvissa kuormien ohjauksissa.

Lämminvesivaraajan kontaktorin ohjaus mahdollistaa lämmityksen ajoittamisen taloudellisesti kannattavimmille ajankohdille. Sähkölämmitteisessä kiinteistössä taas voidaan pyrkiä säästöä saamaan tilojen lämmitysten kautta eri tavoin. Tiloja voidaan pyrkiä lämmittämään käyttäjän tarpeen mukaan niin, että yksittäisten huoneiden tai vyöhykkeiden lämmityksiä hallinnoidaan erikseen. Toisaalta pelkästään kiuasristeilyn toteuttamiseen vaatii mahdollisuuden lämmitysten osittaiseen pudotukseen. Olisi kuitenkin tärkeää, että ohjattavuus olisi mahdollista toteuttaa riittävän tarkasti tilakohtaisesti, jolloin mahdollisimman optimaaliset lämmitysratkaisut olisivat toteutettavissa jo suoraan keskukselta käsin (Optiwatti 2018).

Jos kohteeseen suunnitellaan kotiakun varmistamaa saarekekäyttöä sähkökatkotilanteissa, niin tämä on hyvä suunnitella jo ryhmittelyvaiheessa. Tällöin saarekekäytössä toimivat kuormat on ryhmiteltävä erikseen muusta kiinteistön kuormasta, jotta näiden syöttö on mahdollista toteuttaa invertterin kautta. On myös tärkeää suunnitella, mitä saarekekäyttö vaatii suojausvaatimusten näkökulmasta, jotta toteutus on turvallinen kaikissa tilanteissa.

#### **4.2.3 Ryhmäkeskusten liitännät**

Oleellinen osa erilaisten ohjausten mahdollistamiselle on luoda näiden toteuttamiseksi riittävät edellytykset. Kiinteistön ohjattavuus tulisi suunnitella niin, että se ei ole täysin sidottu yhden toimittajan ratkaisuun, vaan tarvittaessa ohjaus on toteutettavissa myös muiden valmistajien komponentein. Tämä voidaan varmistaa järkevästi varustetuilla keskuksilla sekä luomalla edellytykset tärkeimpien kuormien ohjattavuudelle.

Keskuksilta toteutettavat ohjaukset perustuvat tyyppillisesti ryhmäkohtaiseen kontaktoriohjaukseen, kärkitiedolla ohjaamiseen, yleiskaapeloinnin hyödyntämiseen tai langattomaan yhteyteen. Mittauskeskukselta ryhmäkeskukselle tulevia kärkitietoja voi olla aina-

kin SLY-kytkentään pohjautuvat ohjaukset, sähköauton latauslaitteen tehon rajoitus, aurinkopaneelin invertterin kärkitieto, valvontareleen kärkitieto sekä mahdollisesti AMR-mittarin pulssitieto. Lisäksi ryhmäkeskukselta lähteviä kärkitiedolla ohjattavia laitteita on erilaiset lämpöpumppujärjestelmät, joissa on aseteltavissa kärkitietoon pohjautuvia tilaohjauksia. Kärkitieto-ohjausten mahdollistamiseksi on suunnittelijan tehtävä varata riittävät kaapeloinnit tai putkitusvaraukset keskuksille, sekä varustaa keskuksat riittäväillä liittimillä.

Älykkäämmät ohjaustavat on tyypillisesti mahdollista toteuttaa, joko langattomasti tai yleiskaapeloinnissa käytetyllä CAT-kaapelilla. Tämän takia yleiskaapeloinnin vieminen keskuksilta ohjattaville laitteille on hyvä huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi sähköauton latauspiste tai lämpöpumppujärjestelmä saattavat käyttöönottovaiheessa pohjautua pelkästään päälle-pois-ohjaukseen, mutta ajan myötä ohjattavuutta kaivataankin lisää. Mahdollisesti yleiskaapelointia vaativia laitteita kiinteistössä on aurinkopaneelin invertteri, sähköauton latauslaite, lämpöpumput, erillinen älyvaraaja, älymittari, tulevat AMR 2.0-mittarit sekä kiinteistön energianhallinnasta vastaava ohjainlaite. Moni näistä laitteista voi toimia myös langattomalla yhteydellä, mutta mikäli suunnitteluvaiheessa ei yhteyden luotettavuudesta ole varmuutta, niin yleiskaapelointi keskusten välille ja keskuksilta kentälle tulee harkita.

### **4.3 Kaapelointi keskusten välillä**

Suunnitteluvaiheessa saattaa olla vielä epäselvää, minkälaisia ohjausratkaisuja kiinteistössä käytetään tulevaisuudessa. Tämän vuoksi suunnittelijan on jo rakennusvaiheessa hyvä varustaa ainakin keskusten väliset tiedonsiirrot vastaamaan tulevaisuuden muuttuvia tarpeita, sillä tälle välille voi olla haastavaa lisätä ohjauskaapelointia jälkikäteen.

Keskusten välistä tiedonsiirtoa suunnitellessa on suunnittelijan harkinnan varassa, miten laajasti rakennusvaiheen ja tulevaisuuden mahdollisiin tarpeisiin halutaan varautua. Luonnollisesti aiemmissa luvuissa esitetyt vaihtoehdot harvoin esiintyvät kaikki samalla kertaa, vaan ratkaisu on tapauskohtainen. Keskusten välisen tiedonsiirron mahdollistamiseksi olisi kuitenkin suositeltavaa kaapeloida näiden välille nousukaapelin lisäksi esimerkiksi kaksi SuperCAT-kaapelia yleiskaapeloinniksi sekä MCMO 7x1,5-kaapeli kärkitietojen välittämiseksi. Jos kaapelointiin ei ole suunnitteluvaiheessa halukkuutta investoida, tulisi ainakin riittävät putkivaraukset näille toteuttaa. Näillä varauksilla helpotettaisiin ratkaisuvaihtoehtojen toteuttamista myös tulevaisuudessa laajennuksia suunnitellessa.

## 4.4 Muutostyöt vanhoissa kohteissa

Laajennettaessa olemassa olevaa kohdetta kokonaisella energianhallintajärjestelmällä, älykkäillä kuormien ohjauksilla, omatuotannolla tai sähköautojen latauksella tulee vastaan erilaisia haasteita tilavarausten ja ohjausmahdollisuuksien puutteiden vuoksi. Suomen markkinoilla olevista erilaisista ohjausjärjestelmistä monet on suunniteltu jälkiasennettavaksi myös olemassa oleviin ratkaisuihin. Toisaalta Euroopan messuilla esiteltävät HEMS-järjestelmät perustuvat yhteensopiviin laitekokonaisuuksiin, joissa koko tuoteperhe on suunniteltu yhteensopivaksi älykkääseen kommunikointiin keskenään.

Laajennettaessa olemassa olevaa kiinteistöä, ratkaisuihin vaikuttaa pitkälti olemassa oleva lämmitysjärjestelmä ja kuormien ohjattavuus. Jos keskuksia ei ole varustettu riittäväillä tilavarauksilla, niin tyypillisesti tämä ratkaistaan erillisellä lisämoduulilla, johon ohjaus- ja suojalaitteet on mahdollista asentaa.

### 4.4.1 Aurinkopaneelin ja kotiakun lisääminen

Aurinkopaneelien invertteriä asennettaessa on tälle löydettävä sopiva tila. Invertterin tulee olla sellaisessa paikassa, että kaapelointi on mahdollisimman helppo toteuttaa paneelilta invertterille ja tästä eteenpäin lähimmälle keskukselle. On myös huomioitava, että invertterin turvakytkin on sijoitettava paikassa, johon verkkoyhtiön on mahdollista päästä käsiksi. Invertteri tarvitsee myös ympärilleen riittävän ilmavan tilan, jotta jäähdytys on mahdollista. Ryhmää suojaavat johdonsuojakatkaisijat ja mahdolliset vikavirtasuojat voidaan asentaa suoraan olemassa olevaan keskukseseen tai mahdollisesti tämän viereen erilliseen lisämoduuliin. Jotta invertterin tuotantotiedot saadaan välitettyä taustapalvelimelle tai ohjainlaitteelle, tulee tälle varmistaa Wifillä tai yleiskaapeloinnilla mahdollisuus tiedonsiirtoon. Halutessa ohjata lämminvesivaraajan vastuksia invertterin aseteltavilla kärkeitiedoilla, voidaan tällöin ohjata suoraan varaajan kontaktoria. Sama ohjaus mittauskeskukseseen asennetulla invertterillä voidaan SLY-kytkentäisessä kiinteistöissä toteuttaa esimerkiksi liittämällä kärkeitieto suoraan yöaikareleen rinnalle, jonka tehtävä on tyypillisesti ohjata yöaikana varaavat järjestelmät päälle (liite G). Lämminvesivaraajan dynaamiseen ohjaukseen on olemassa myös esimerkiksi Froniuksen Ohmpilot järjestelmä, joka on suunniteltu olemassa olevan järjestelmän ohjaamiseen. Tällöin Ohmpilot-laite asennetaan lämminvesivaraajan syöttökaapelin väliin. Laite on liitetty reitittimen kautta toimittajan taustapalveluun tai Modbus-väylällä paneelien invertteriin ja kiinteistöä mittavaan älymittariin. Tällöin Ohmpilot ohjaa dynaamisesti lämminvesivaraajan vastuksien tehoa tarvittavan määrän, jotta oman käytön ylittävää tuotantoa ei jouduta myymään verkkoyhtiölle (liite J).

Kotiakun lisääminen osaksi kiinteistön sähköverkkoon voidaan toteuttaa yhteisellä invertterillä aurinkopaneelin kanssa, jolloin ylimääräisiä suojalaitteita tai mittauksia ei välttämättä tarvita. Mikäli kotiakku asennetaan itsenäisesti toimivaksi laitteeksi, tämä tulee

kytkeä keskukseen vastaavalla tavalla kuin aurinkopaneelin invertteri. Lisäksi itsenäisesti toimiva kotiakku, joka ei ole liitettynä yhteiseen ohjausjärjestelmään, vaatii mahdollisuuden nousukaapelia mittaavalle kaksisuuntaiselle energiamittarille. Mittauksen avulla akun ohjausyksikön on mahdollista päättää, lataako vai purkaako se varaustaan. Lisäksi kotiakku vaatii yhteyden taustapalvelimelleen, jonka mahdollistaa erillinen reitittimen ja akun väliin liitetty gateway-yksikkö. Tällaisena itsenäisenä ja omalla taustapalvelulla toimivana kotiakunkuna toimii esimerkiksi Teslan Powerwall 2.

#### **4.4.2 Latauslaitteen lisääminen**

Sähköauton latauslaite liitetään yleensä olemassa olevaan mittauskeskukseen. Jos keskukselta ei löydy riittävästi tilaa suojalaitteille, asennetaan keskukseen viereen erillinen lisämooduli. Älykkäämmissä latauslaitteissa tiedonsiirto on toteutettavissa Wifi-yhteyden tai yleiskaapeloinnin avulla reitittimelle. Tämä voi olla haasteellista, jos latauslaite ei sijaitse langattoman yhteyden kantaman päässä reitittimestä eikä keskusten välille ole mahdollista toteuttaa yleiskaapelointia. Tällöin voidaan Wifin kantamaa pyrkiä laajentamaan erillisellä toistimella, joka vahvistaa yhteyden riittäväksi latauslaitteelle asti. Jos Wifi-verkon luominen ei jostakin syystä ole mahdollista, myös kiinteistön sähköverkkoa voidaan pyrkiä hyödyntämään PLC-tekniikalla tiedonsiirtoon. Latauslaitteista voi löytyä myös mahdollisuus tiedonsiirtoon erillisellä GPRS/3G/4G-yhteydellä.

Halutessa latauslaitteelle kärkitietoon perustuvaa kuormanohjausta, voidaan tilan salliessa mittauskeskukseen asentaa valvontarele mittaamaan kiinteistön kuormitusta. Myös olemassa olevaa SLY-kytkentään perustuvaa kaapelointia keskusten välillä voidaan pyrkiä hyödyntämään. Tällöin irti kytkettyä tehonrajoitukseen tai yöaikaohjaukseen tarkoitettua johdinta voidaan hyödyntää esimerkiksi kiuasristeilyn ohjauksen välittämiseen ryhmäkeskukselta mittauskeskukselle.

#### **4.4.3 HEMS-järjestelmä ja mittaus**

Asennettaessa HEMS-järjestelmää olemassa olevaan kiinteistöön, tulee keskukselta tai sen vierestä löytyä riittävät tilavaraukset ohjainlaitteelle, virtalähteelle ja mahdolliselle relekortille. Järjestelmän toiminta ja vaatimukset yhteyksille tai tilavarauksille on tapauskohtaista. Ohjainlaitteelle tulee varmistaa yhteys pilvipalvelimelle, jonka takia tämän tulisi sijaita reitittimen langattoman tai langallisen kantaman päässä.

Jälkiasennettavien järjestelmien tiedonsiirto eri komponenttien välillä perustuu monesti langattomaan yhteyteen, jolloin tiedonsiirtokaapelointia näille ei vaadita. Tämä langaton verkko voi perustua ohjainlaitteen ja siihen liitettyjen komponenttien luomaan radioverkkoon tai kiinteistössä olemassa olevaan Wifi-verkkoon.

Energian hallinnan kannalta on tärkeää, että kiinteistön kuormaa ja mahdollisesti yksittäiskuormia on mahdollista mitata. Mittaamiseen voidaan käyttää läpimittaavaa tai virtamuuntajiin perustuvaa mittaustapaa. Vaihtoehtoisesti olemassa olevan AMR-mittarin pulssitietoa voidaan pyrkiä hyödyntämään. Tällöin optisen pulssin lukemiseen käytetään langatonta lukijaa, joka lähettää pulssitiedon ohjainlaitteelle. Mahdollisuuksien mukaan voidaan pyrkiä hyödyntämään myös kärkitietoon perustuvaa AMR-mittarin S0-pulssia. Haasteina näissä pulssitiedoissa on, ettei näistä selviä erikseen verkosta tulevaa ja verkkoon syötettävää energiaa, jolloin esimerkiksi omaan käyttöön menevää omatuotantoa on vaikeampi optimoida (Green Energy Finland 2018; Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

#### 4.4.4 Lämmityskuormien ohjaaminen

Hankitun ohjausjärjestelmän takaisinmaksun kannalta merkittävän energiansäästö- ja kysyntäjoustopotentiaalin sähkölämmitteisissä kohteissa tarjoaa lämmityksen tarkka ohjaus. Tällöin lämmityskuormia on mahdollista ohjata tilakohtaisesti käyttäjän ohjauksiin perustuen ja yllälämmitystilanteita välttämällä. Lisäksi ohjainlaite oppii kokemuksen pohjalta, paljonko kiinteistön rakenteet varastoivat lämpöenergiaa. Tämän tiedon perusteella järjestelmä pystyy arvioimaan mahdollisuudet kysyntäjoukseen ilman, että käyttäjän olosuhdevaatimuksista poiketaan. Vastaavasti järjestelmä pystyy ennakoimaan, milloin lämmitys tulee aloittaa, jotta tilakohtainen lämpötila on saavutettu käyttäjän asettamana ajan-kohtana (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

Lämmitysryhmiä on mahdollista ohjata suoraan keskukselta ryhmäkohtaisten kontaktoreiden avulla. Tällöin ohjainlaitteen hallitsema relekortti ohjaa kärkitiedoillaan ryhmäkohtaisesti lämmityspiirejä tilakohtaisen lämpötilanmittaukseen perustuen. Haasteena tässä on, että olemassa olevassa kohteessa lämmityskuormien ryhmittely määrittelee pitkälti, mitkä tilat ovat erikseen ohjattavissa (liite B) (There Corporation 2018). Toinen vaihtoehto on, että asennetaan langattomasti ohjattavat releet hallitsemaan huonekohtaisesti lämmityslaitteiden kytkentää. Tällöin tilassa olevan lämmittimen vaihejohdin kytketään releen läpi tämän välittömässä läheisyydessä, jolloin on mahdollista hallita jokaista lämmitintä erikseen (liite A) (Optiwatti 2018). Kummassakin tilanteissa lämmittimen alkuperäinen termostaatti ohjataan lämpötilaan, johon tämä saa maksimissaan nousta. Näin ollen mahdollisessa vikatilanteessa termostaatti varmistaa, ettei laite jää jatkuvaan lämmitystilaan. Markkinoilla on myös langattomilla termostaateilla varustettuja sähkölämmittimiä. Tällaiset laitteet voidaan suoraan kytkeä ohjainlaitteelle ja hallita näin lämmitystä tilakohtaisesti ilman erillistä kontaktoriohjausta. Tällaista ratkaisua voidaan harkita, jos lämmittimet on tarkoitettu uusiksi saneerauksen yhteydessä.

Jos kiinteistön päälämmitysmuotona toimii jokin lämpöpumppujärjestelmä (MLP, PILP tai VILP), tälle voidaan mallista riippuen asettaa erilaisia tilaohjauksia. Näissä tilanteissa

ohjainlaitteen relekortilla voidaan luoda kärkitietoja pumpulle, jonka perusteella pump-pujärjestelmä tekee aseteltuja muutoksia toimintaansa. Lämpöpumpun tukiessa Smart grid-toimintoja, voidaan myös näitä tilaohjauksia ohjata relekortin kahdella kärkitiedolla. Mikäli kärkitiedoille ei ole mahdollista luoda kaapeliyhteyttä laitteen ja keskuksen välille, niin ohjaukset voidaan hoitaa laitteen vierelle asennettavalla langattomalla relekortilla (liitteet B ja C). Lämpöpumpulle voidaan mallista riippuen luoda yhteys myös jollakin väyläteknikalla, jolloin kommunikaatio protokollaa tukevalle ohjainlaitteelle voidaan toteuttaa tätä kautta.

Monessa kiinteistössä on asennettu ilmalämpöpumppu (ILP) tukemaan päälämmitys-järjestelmää. Myös tämä on mahdollista kytkeä energianhallintajärjestelmän ohjaukseen. Tällöin yleensä käytössä on langattomalla yhteydellä toimiva ohjainlaite (liitteet A ja B). Tämä ohjainlaite asennetaan ilmalämpöpumpun välittömään läheisyyteen, jolloin se kaukosäätimen tavoin ohjaa ilmalämpöpumppua infrapunayhteyden avulla. Ohjainlaitteen tulee olla sellainen, että siihen on esiasennettu kyseisen ilmalämpöpumpun merkkikohtaiset ohjauksikäskyt. Ilmalämpöpumpun ohjaaminen on tärkeää energiansäästöä tavoitellessa, sillä tämän tulisi sähkölämmitteisessä kiinteistössä olla aina ensisijainen lämmitys-muoto mahdollisuuksien mukaan. Näin ollen ohjainlaite asettaa aina ilmalämpöpumpulle pykälän korkeamman asetuslämpötilan, kuin mitä muille sähkölämmittimille on asetettu. Tällä varmistetaan, että ilmalämpöpumpusta saadaan mahdollisimman suuri potentiaali käytettyä hyväksi (Optiwatti 2018; There Corporation 2018).

Kohteet, joissa on lämmitysmuotona sähkölämmiteinen vesikiertoinen lämmitys tai sähkövastuksilla varustettu öljykattila, on myös mahdollista kytkeä energianhallintajärjestelmän ohjaukseen. Sähkölämmitteisessä lämminvesivaraajassa vastuksia voidaan ohjata vuorokauden potentiaalisimmille tunneille sähkön tuntihinnan tai omatuotannon perusteella. Tämä voidaan toteuttaa keskuksella kontaktoria ohjaamalla tai tarvittaessa varaajan läheisyyteen asennetulla langattomalla relekortilla ja vastuksia ohjaavalla kontaktorilla (liite B). Öljylämmityskohteissa voidaan sähkövastuksia ohjata vastaavalla periaatteella. Tällöin energianhallintajärjestelmällä voidaan pyrkiä optimoimaan lämmitystavan käyttö öljyn ja sähkön hintoihin perustuen. Öljypoltinkohteessa tulee huomioida myös polttimen hallinta samalla. Tällaisia valmiita kattilan yhteyteen asennettavia langattomia ohjainyksiköitä on erikseen esimerkiksi Fortumin Fiksu-valikoimassa (liite B) (There Corporation 2018).



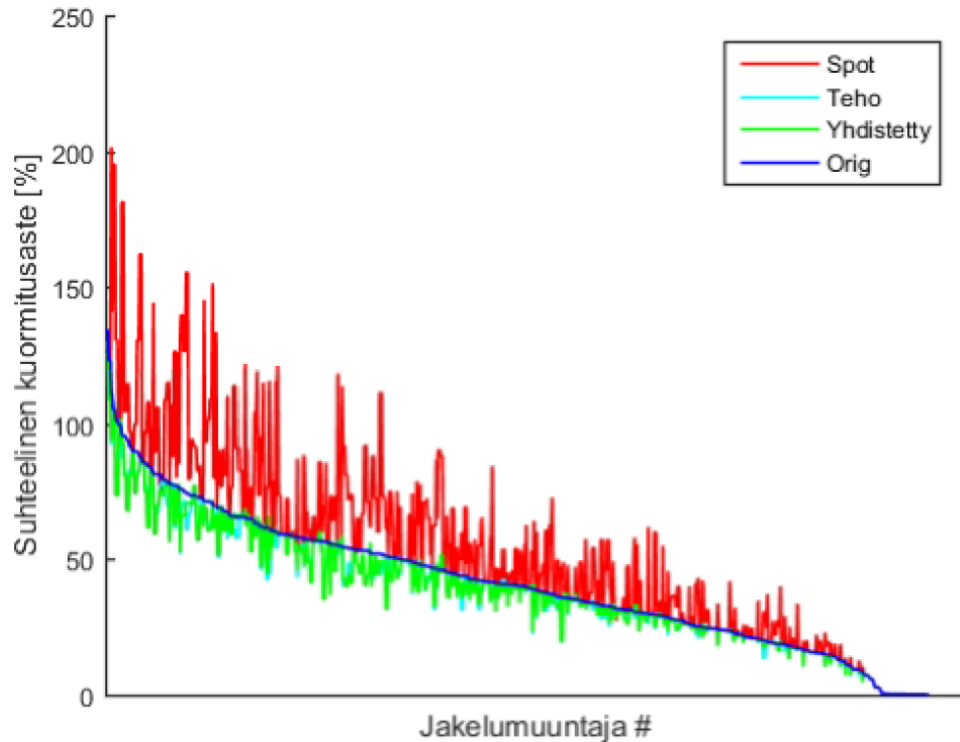
## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Energiamurroksen vaikutus pienkiinteistöön

Energiajärjestelmä on murrosvaiheessa. Tämä on seurausta ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi vaadituista toimenpiteistä, jotka ohjaavat vähentämään fossiilista energiantuotantoa ja siirtymään näin vähemmän joustaviin tuotantomuotoihin. Tämän myötä kulutuksen on toimittava entistä joustavammin, joka vaatii älykkäitä ratkaisuja koko energiajärjestelmän rakenteisiin.

Pienkiinteistön käyttäjälle tämä tuo mahdollisuuksia osallistua eri tavoin toteutettaviin kysyntäjoustop ratkaisuihin. Tähän mennessä kuluttajaa on kannustettu kuormien ajoittamiseen tietyille ajanjaksoille tariffipohjaisilla sopimusmuodoilla. Tällä hetkellä kuluttajan on mahdollista osallistua jatkuvaan kysyntäjoustop sähkömarkkinoiden spot-hintaan perustuvilla sähkösopimuksilla, jotka kannustavat ohjaamaan kulutusta hetkille, jolloin tuotantoa on eniten tarjolla. Toinen tapa osallistua kuluttajana kysyntäjoustop on hankkia ulkoisen palveluntarjoajan ohjausjärjestelmä kiinteistön kuormien hallintaan. Tällöin aggregaattorina toimivan palveluntarjoajan ohjauksessa olevien kiinteistöjen kuorma on yhteensä riittävän iso, jotta tätä voidaan myydä sähkömarkkinoille. Lisäksi muutamilla sähköverkkoyhtiöillä on jo tarjolla pienasiakkaille tehotariffiin pohjautuva siirtosopimus, joka ohjaa kuluttajaa rajoittamaan kiinteistön huipputehoa. Myös tällainen huipputehon hallinta on osa kuluttajien muodostamaa kysyntäjoustop.

Jotta pienkiinteistön kuormien hallinta ei vaadi toteutuakseen jatkuvasti ohjauksia tekevää käyttäjää, tulee näiden ohjaustoimien tapahtua automaattisesti niin, että käyttäjän asettamat olosuhdevaatimukset toteutuvat taloudellisesti mahdollisimman kannattavalla tavalla. Tähän tarkoitukseen on kodin energianhallintajärjestelmä (HEMS). Tämän järjestelmän tarkoitus on hallita kiinteistön sähköenergian kulutusta, tuotantoa ja varastointia, mahdollisimman älykkäästi käyttäjän vaatimukset, sääennusteet, sähkön hinnat ja aggregaattorin kysyntäjoustop-ohjaukset huomioiden. Tyypillisesti markkinoilla olevat energianhallintajärjestelmät pyrkivät optimoimaan kiinteistön toimintoja nimensä mukaisesti energian kulutuksen näkökulmasta. Nykyisen spot-hintoihin perustuvan kysyntäjoustop lisääntyessä merkittävästi, vaikuttaa isossa mittakaavassa kasvattavasti jakeluverkon huipputehoihin (kuva 35) (Honkapuro et al. 2017). Tämän myötä myös tehonhallinnan merkitys kasvaa, jonka vuoksi huipputehoon perustuva sähkön siirron laskutus on perusteltu ratkaisu jatkossa myös pienkiinteistöjen kohdalla. Siirryttäessä tehotariffipohjaiseen laskutukseen, tulee energianhallinnan lisäksi optimoida kuormien ohjausta myös kiinteistön huipputehojen näkökulmasta. Nämä ovat kaksi eri asiaa, jolloin ohjausjärjestelmän on kyettävä optimoimaan käyttäjän kannalta paras ratkaisu energian- ja tehonhallinnan näkökulmista.



**Kuva 35.** Jakelumuuntajien suhteellinen kuormitusaste eri ohjaustavoilla (Honkarpuro et al. 2017).

Osana energiamurrosta voidaan pitää myös pienkiinteistön sähköverkkoon liitettäviä sähköautojen latauspisteitä, sekä sähkön omatuotantoa ja varastointia. Nämä tuovat mukanaan kasvavan tarpeen kiinteistön energianhallinnalle. Sähkön omatuotannon taloudellinen kannattavuus pohjautuu isolta osin siihen, että suurin osa tuotannosta on mahdollista käyttää suoraan omaan käyttöön. Tämä voidaan saavuttaa parhaiten ohjaamalla kiinteistön kuormia hetkille, jolloin tuotantoa on tarjolla, sekä varastoimalla yli oman kulutuksen menevä tuotanto kotiakun avulla. Myös sähköauton akkujen odotetaan mahdollistavan lisääntyneen kapasiteetin energian varastointiin, mutta V2G-toiminnon mahdollistavat ratkaisut kotikäyttöön ovat vielä harvassa.

Sähköautojen latauksen, kotiakkujen ja lämmityskuormien älykkäillä ohjauksilla on myös iso merkitys kiinteistön huipputehojen hallinnassa. Sähköauton latauslaitteiden ja lämpöpumppujen lisävastusten dynaamisella ohjauksella on mahdollista optimoida laitteille maksimaallinen teho kiinteistölle asetetun huipputehon sallimissa rajoissa. Kotiakun varastoja purkamalla voidaan tarvittaessa lisätä näiden laitteiden tehoa hetkinä, jolloin kiinteistön huipputehon rajoitus estäisi muutoin riittävän tehon tarjoamisen laitteille.

## 5.2 Muutokset kiinteistön sähköverkon suunnitteluun

Suunnittelu ja varautuminen kiinteistön energian- ja tehonhallintaan, sähkön omatuotantoon, kotiakkuihin ja sähköautojen latauspisteiden lisäämiseen tuo uudenlaisia vaatimuksia myös kiinteistön sähkösuunnitteluun. Jotta suunnittelussa on mahdollista huomioida näiden laitteiden ja toimintojen suunnittelijalle asettamat vaatimukset, tulee kiinteistön sähköverkko pystyä hahmottamaan toiminnallisena kokonaisuutena yksittäisten laitteiden sijaan.

Kiinteistön sähkökeskuksia suunnitellessa tärkeää on hahmottaa riittävät tilavaraukset, jotta tarvittavat toiminnallisuudet on mahdollista toteuttaa myös kiinteistön muuttuvissa tarpeissa. Tämän työn neljännessä luvussa on tuotu esiin keskuksilta vaaditut tilavaraukset erilaisissa kokonaisuuksissa. Huomioitava on, että osa laitteista on kytkettävä ryhmäkeskuksen sijaan kiinteistön mittauskeskukseen, jolloin riittävät tilavaraukset myös mittauskeskukseen on suunniteltava. Jotta nämä eri keskuksiin liitettävät laitteet pystyvät toimimaan yhtenä toiminnallisena kokonaisuutena, tulee tiedonsiirto keskusten välillä mahdollistaa. Tämän myötä pelkkä nousukaapeli ja verkkoyhtiön ohjaukset mahdollistava ohjauskaapeli eivät enää riitä, vaan nousukaapelin rinnalle on varattava riittävä ohjauskaapeli kärkitietojen välittämiseksi, sekä yleiskaapelointi väyläpohjaisten tiedonsiirtojen mahdollistamiseksi.

Keskusten välisen tiedonsiirron lisäksi ohjattavuutta on lisätty kiinteistön eri laitteille. Tämän myötä sähkösuunnittelussa on osattava huomioida ohjauksien tai niihin varautumisen vaikutus eri järjestelmien kaapeloinnille ja tilavarauksille. Energian- ja tehonhallinnan toteuttamiseksi on tärkeää, että ohjausten toteuttaminen on huomioitu ainakin lämmitysjärjestelmien, lämpimän käyttöveden, kiuasristeilyn, sähköauton latauksen, sähkön omatuotannon sekä kotiakkujen kohdalla.

Energian- ja tehonhallinnan kannalta on myös oleellista, että kiinteistön reaaliaikaista kulutusta ja tuotantoa voidaan luotettavasti mitata kuormien ohjausten optimoimiseksi. Erilisten mittausten ja mittaustiedon välittäminen on osattava huomioida osana suunnittelua. Uuden AMR 2.0-mittarin toiminnallisuudet ovat vielä selvitysvaiheessa, mutta uuden kiinteistön suunnittelussa on pyrittävä olemassa olevan tiedon perusteella huomiomaan myös tämän vaatimukset.

Suunnitellessa mahdollisimman helposti ohjattavissa ja muunneltavissa olevaa kiinteistön sähköverkkoa, tulee ohjattavuus huomioida kuormien ryhmittelyssä. Tavoitellessa tarkoituksenmukaista ja tarkkaa lämmityksen ohjausta, tulee tilojen lämmityksiä pystyä ohjaamaan toisistaan erillään. Sähkölämmittimillä varustetussa kiinteistössä tämä voidaan toteuttaa hajautetusti jokaisen lämmittimen yhteydessä tai keskitetysti ryhmäkeskukselta käsin. Keskukselta ohjaamisen mahdollistamiseksi tulee lämpökuormat ryhmitellä erikseen vähintään tyyppikohtaisesti, jolloin esimerkiksi lämminvesivaraaja, muka-

vuuslämmittimet ja kiukaan kanssa risteilevät lämmittimet ovat ohjattavissa muista lämmityksistä erikseen. Energianhallinnan kannalta optimaalisin vaihtoehto olisi kuitenkin mahdollistaa jokaisen huoneen ohjaaminen erikseen asetettujen aikaohjelmien mukaisesti.

Jos kiinteistöön suunnitellaan omatuotannon ja kotiakun varassa toimivaa saarekekäyttöä sähkökatkotilanteissa, niin tämä tulee ottaa ryhmittelyssä huomioon. Tällöin saarekekäytössä toimivat kuormat on ryhmiteltävä erikseen niin, että niiden syöttö voidaan eritellä muista ryhmistä.

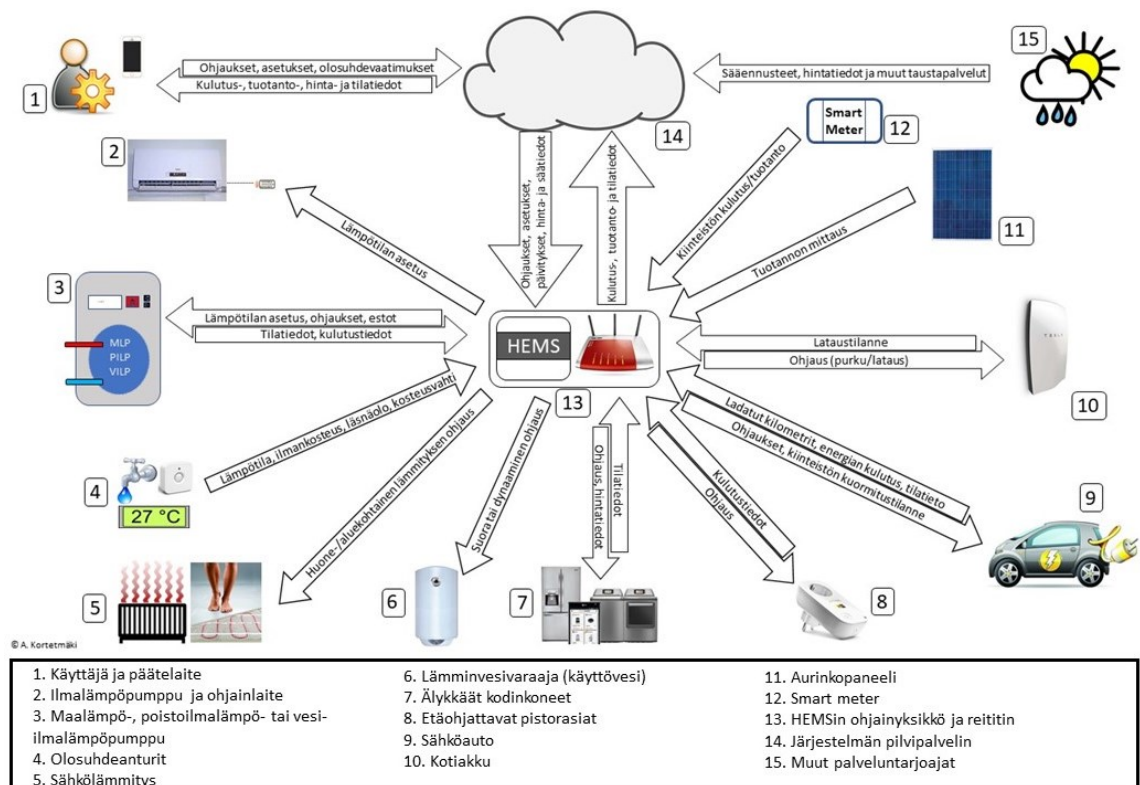
Olemassa olevassa rakennuskannassa on merkittävä potentiaali kysyntäjoustoon erityisesti sähkölämmitteisten pienkiinteistöjen kohdalla. Kotimaiset energianhallintajärjestelmien ovat tyypillisesti suunniteltu myös jälkiasennettavaksi valmiiseen kohteeseen. Tällöin haasteeksi saattaa muodostua keskusten tilavaraukset ja ryhmittelyt, sekä tiedonsiirron toteutus. Näissä kohteissa keskuksia voidaan laajentaa erillisillä laajennusmoduuleilla. Fyysisten ohjauskaapeleiden puuttuessa tiedonsiirto pyritään yleensä toteuttamaan erilaisilla langattomilla yhteyksillä tai käyttämällä PLC-tekniikkaa olemassa olevaa sähköverkkoa pitkin.

### 5.3 Kiinteistön energianhallinta

Kiinteistön energianhallintajärjestelmä (HEMS) voidaan ymmärtää kokonaisuutena, jossa sähköenergiaa mittaavat, kuluttavat, tuottavat ja varastoivat laitteet on tiedonsiirron tasolla yhdistetty näitä hallinnoivaan ohjauslaitteeseen. Tämä ohjauslaite on edelleen yhdistetty reitittimen välityksellä taustalla toimivaan palveluntarjoajan pilvipalvelimeen, joka mahdollistaa käyttäjän hallita kiinteistöä internetiin liitettyllä laitteellaan. Lisäksi pilvipalvelimen kautta on mahdollista yhdistää järjestelmään ulkoisten tahojen tarjoamia palveluja, kuten sähkön spot-hinnat ja sääennusteet, joiden avulla järjestelmä pystyy hallitsemaan tähän kytkettyjä laitteita optimaalisella tavalla.

Energianhallintajärjestelmä voi ohjata kiinteistön kuormia monen eri ohjausperiaatteen perusteella. Suoraa energiansäästöä järjestelmällä voidaan toteuttaa esimerkiksi ohjaamalla kiinteistön sähkölämmitystä optimaalisella tavalla. Tällöin voidaan tiloja lämmittää käyttäjän läsnäolojen perusteella, jolloin esimerkiksi koko kiinteistön lämpötilaa laskeetaan työpäivän ajaksi ja tämän jälkeen tiloja lämmitetään erikseen luodun aikataulun pohjalla. Lämmitystä tulee voida hallita niin, että energiatehokkaimmat laitteet (lämpöpumput) pyrkivät ensisijaisesti hoitamaan lämmityksen ja sähkölämmittimet kytkeytyvät päälle vasta tarvittaessa. Myös lämmityksen tarkkuudella on merkitystä energiansäästön kannalta. Riittävän tarkalla mittauksella ja ohjauksella voidaan välttää tilojen yllilämmitys ulkoisten kuormien lisääntyessä.

Jos kiinteistöön on lisätty omatuotantoa esimerkiksi aurinkopaneelien muodossa, kiinteistön kuormia tulee ohjata siten, että omaan käyttöön menevän tuotannon osuus pystytäisiin maksimoimaan. Tällöin energianhallintajärjestelmällä on merkittävä rooli esimerkiksi varaavien kuormien ajoittamisella huipputuotannon ajankohdille. Lisätessä kiinteistöön kotiakku tai sähköauton lataus, niin on energianhallintajärjestelmän tehtävänä hallita näiden käyttöä käyttäjän kannalta parhaalla tavalla. Kumpaaikin näistä voidaan pyrkiä hyödyntämään yli oman kulutuksen menevän omatuotannon hyödyntämiseen. Jos kiinteistössä on spot-hintaan perustuva sähkösopimus, on energianhallintajärjestelmällä merkittävä rooli pyrkiä hyödyntämään kiinteistön kuormia ja sähkövarastoja halvimmille tunneille. Kalliimmilla tunneilla taas järjestelmä ohjaa akkuvarastoja kiinteistön kuormille, sekä ohjaa vähemmän kriittisiä kuormia pois päältä. Tämä on myös välillinen tapa, jolla kiinteistö voi osallistua sähköverkon tuotannon ja kulutuksen tasapainottamiseen omalla kysyntäjoustollaan. Mikäli palveluntarjoaja toimii sähkömarkkinoilla itsenäisenä aggregaattorina, voidaan kiinteistön vähemmän kriittisiä laitteita ohjata hetkellisesti pois päältä käyttäjän sallimissa rajoissa, jolloin kiinteistön kuormat osallistuvat tällä tavoin kysyntäjoustoon. Kuvaan 36 on koostettu tässä työssä käsitelty kodin energianhallintajärjestelmä ja siihen mahdollisesti liitetyt laitteet. Kuvassa on esitetty, mitä informaatiota näiden eri osapuolien välillä voitaisiin välittää.



**Kuva 36.** Informaation kulku energianhallintajärjestelmään liitetyssä ympäristössä.

Kodin energiahallintajärjestelmät ovat vasta tuloillaan Suomen markkinoille, mutta näiden rooli kiinteistön hallinnassa on muuttumassa merkittävästi. Suomessa on jo muutamilla verkkoyhtiöillä otettu käyttöön sähkön siirtomaksuissa huipputehoon pohjautuva

hinnoittelu ja tämän odotetaan asteittain tulevan lähitulevaisuudessa käyttöön myös muille kuluttajille. Tämän jälkeen kiinteistön energianhallinta ei yksin riitä asiakkaan kustannusten minimoimiseksi, vaan optimaalisimpaan ratkaisuun vaikuttaa myös mitausajanjaksolla toteutunut huipputeho. Sähköenergian ja sähkötehon hallinta ovat kaksi eri asiaa ja esimerkiksi kuormien samanaikainen ohjaaminen vuorokauden halvimmille tunneille nostaa samalla kiinteistön tehoa. Myös sähkötehon hallinta on suunniteltu toteutettavaksi ulkoisen palveluntarjoajan avulla, jolloin näiden järjestelmien tulee mukautua samanaikaiseen sähköenergian ja -tehon hallintaan kuluttajan tarpeet ja kustannukset huomioiden. Tällaisia Suomen markkinoille valmiita ratkaisuja ei tiettävästi muualla ole valmiiksi tarjolla, vaan eri ohjausjärjestelmätoimittajien tulee tähän jatkossa sopeutua. Haastavaksi tällaisten järjestelmien suunnittelemiseksi tekee se, ettei vielä ole valmista esitystä sille, miten tämä tehopohjainen hinnoittelu tullaan tarkalleen toteuttamaan. Tällä hetkellä tehomaksun sisältävän siirtosopimuksen saa valittua jo muutamilta verkkoyhtiöiltä, mutta vakioitua tapaa näiden hinnoittelulle ei ole. Valitessa kiinteistöön uutta ohjausjärjestelmän toimittajaa, on kuitenkin hyvä varmistaa, millä tavalla tällä on valmiudet siirtyä tulevaisuudessa myös kiinteistön huipputehon hallintaan.

## **5.4 Kiinteistön ohjausratkaisut osana talotekniikan suunnittelua**

Erityisesti teollisuusympäristöissä kytkin- ja relepohjaisissa ohjauksissa on aina mietittävä, miten järjestelmä toimii turvallisesti, jos ohjausjännite syystä tai toisesta katkeaa. Uudet pienikiinteistön ohjausratkaisut perustuvat kasvavissa määrin langattomien yhteyksien ja internet-yhteyden varaan. Tällöin tarkastelun kohteeksi tulee ottaa tilanteet, joissa laitteiden välinen tai reitittimen ja pilvipalvelimen välinen yhteys katkeaa tai se palautuu katkenneesta tilanteesta takaisin. Tämä on erityisen tärkeää sellaisissa tapauksissa, joissa esimerkiksi kuormanhallinta tai lämmityslaitteiden ohjaus pohjautuu tällaiseen yhteyteen. Tällöin ei saa syntyä tilanteita, joissa kiinteistön pääsulake ylikuormittuu tai lämmitys ohjautuu pois päältä pelkän tiedonsiirtoyhteyden ongelmien takia. Esimerkiksi, jos sähköauton latauslaitteen dynaaminen kuormanhallinta toimii Wi-fi-yhteyden välityksellä, niin yhteyden katketessa lataustehon tulee laskea automaattisesti turvalliselle tasolle. Erilaisten langattomien ohjauksien ja internettiin kytkettyjen laitteiden lisääntyessä pienikiinteistöissä, tulee tällaiset tilanteet tuoda mukaan osaksi talotekniikan suunnittelua ja jonkin osapuolen vastuualuetta.

Pienikiinteistön ohjausratkaisuilla on kasvava merkitys osana toimivaa talotekniikan kokonaisuutta. Tämän takia tarpeenmukaisen ja muunneltavissa olevan ohjausratkaisun suunnittelu tulee ottaa mukaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Kokonaisuutena toimiva integraatio tulee olla mietitty yhteistyössä eri osapuolien kanssa. Vain tällä tavalla voidaan suunnitella kiinteistön sähköverkko, joka palvelee tie-

donsiirtomahdollisuuksilla ja tilavarauksilla mahdollisimman hyvin myös ohjausratkaisun toimittajaa. Tällä tavoin voidaan myös varmistaa talotekniikan turvallinen toiminta tiedonsiirtoyhteyksien katketessa tai ohjausjärjestelmän vikatilanteissa.

Ohjausjärjestelmät ja erilaiset pilvipalvelulla varustetut laitteet toteuttavat yhteytensä kiinteistön reitittimen kautta langattomasti Wi-fi-yhteydellä tai langallisesti yleiskaapeloinnin avulla. Tämän takia tulee reitittimen sijainti ja laatu suunnitella osaksi ohjausratkaisua niin, että sen on mahdollista palvella mahdollisimman helposti ja luotettavasti tähän kytkettyjä laitteita. Tulevaisuudessa kiinteistöstä kerätyn tiedon määrä lisääntyy ja siirrytään entistä enemmän internet-yhteyteen perustuviin eri toimittajien ohjausratkaisuihin. Tällöin myös tietoturvan merkitys kasvaa entisestään. Talotekniikkaan liittyviä tietoturvariskejä ei voi jättää käyttäjän vastuulle, vaan myös nämä tulee ottaa huomioon osana suunnitteluprosessia.

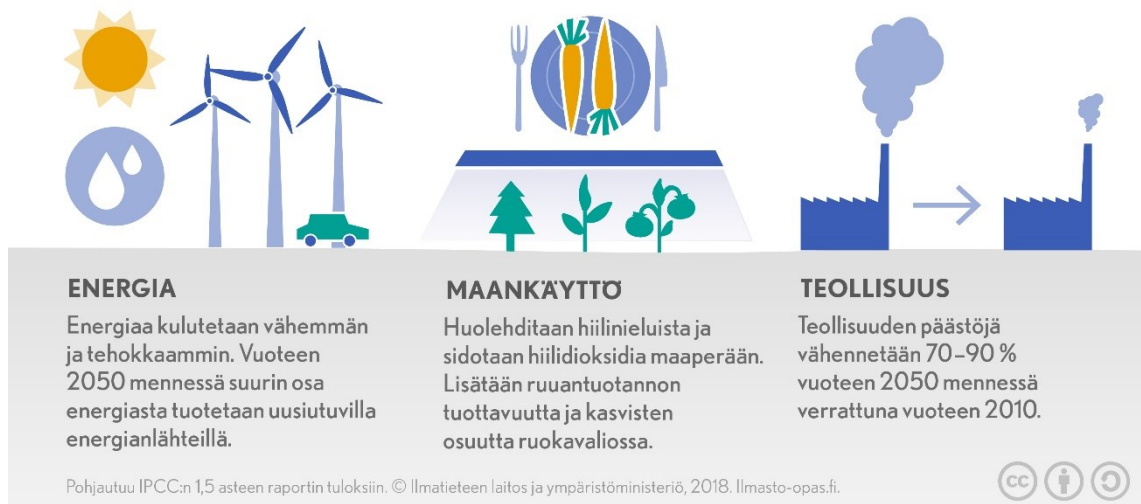
## 5.5 Dokumentointi

Perinteisesti talotekniikan suunnittelussa on ollut selkeät mallit sille, mitä suunnitelmia tulee eri osapuolien kohteeseen tuottaa. Uudessa toimiympäristössä keskeisimmät komponentit eivät ole enää pelkästään LVI- ja sähkösuunnittelijan valitsemat ratkaisut suunnitelmineen, vaan kiinteistöön liitetään mahdollisesti usean eri toimittajan ohjausratkaisuja ja älykkäitä laitteita. Tällöin eri osapuolien käyttöönsä saamat dokumentit ovat pitkälti laitetoimittajan varassa. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa käyttäjälle luovutetaan lopulta useita eri valmistajien ohjeita ja dokumentteja yhdessä talotekniikan suunnittelijoiden tuotosten kanssa. Näitä dokumentteja ei välttämättä ole yhteensovitettu toisiinsa, jolloin käyttäjä ja teknisiä palveluja tarjoavat tahot ovat jatkossa haastavassa tilanteessa huolto-, saneeraus- tai korjaustoimia toteuttaessa. Vastaavasti lisätessä olemassa olevaan kiinteistöön eri toimijoiden järjestelmiä, ei tilaaja välttämättä osaa vaatia asianmukaisia muutoksia olemassa oleviin dokumentteihin, vaikka näihin olisi muutoksia syntynyt.

Dokumentointi on yksi osa-alueista, joka vaatii jatkossa eri osapuolten välistä integraatiota, sekä selkeitä vähittäisvaatimuksia myös uusille osapuolille. Ohjausjärjestelmien toiminta tulisi jatkossa esittää selkeästi esimerkiksi toimintaselostuksen ja järjestelmäkaavion muodossa. Lisäksi ratkaisut tulee sisällyttää osaksi muita suunnitelmia siltä osin, kun ne näihin vaikuttavat. Tilaajalle tulisi kiinteistön valmistuessa luovuttaa koostettu ”talon ohjekirja”, jossa on samassa materiaalissa esitetty kiinteistön eri laitteiden toiminnallisuudet ja vaaditut huoltotoimenpiteet. Kiinteistön suunniteltu toiminta koko elinkaaren ajan voidaan varmistaa ainoastaan sillä, että asianmukaiset huolto-, säätö- ja korjaustoimenpiteet on mahdollista toteuttaa oikein ja ajallaan. Lisäksi liitettäessä jälkikäteen uusia teknisiä järjestelmiä kiinteistöön, on toimittajan kannettava vastuu siitä, että muutokset eivät vaikuta heikentävästi kiinteistön suunniteltuun toimintaan kokonaisuutena.

## 5.6 Uusimmat julkaisut energiamurroksen kiihdyttäjinä

Meneillään oleva energiamurros on seurausta ilmastomuutoksen rajoittamiseksi tehdyistä ja suunnitelluista toimenpiteistä, jotka vaativat merkittäviä muutoksia koko energiajärjestelmään. Merkittävä askel kansainvälisiin toimiin tämä oli 2015 solmittu Pariisin ilmasopimus, johon osallistuivat lähes kaikki maailman maat (Yhdysvallat irtautui sopimuksesta 1.6.2017). Tämän pohjalta valmistui lokakuussa 2018 paljon huomiota saanut hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) ilmastoraportti, joka koosti yhteen tieteelliset tutkimukset ilmaston lämpenemisen vaikutuksista. Raportin tärkein viesti on esittää, mikä vaikutus ilmaston lämpenemisen rajoittamisella 1,5 asteeseen olisi verrattuna 2,0 asteeseen suhteessa esiteolliseen aikaan. Raportin pohjalta on tehty poliittisille päättäjille koostettu tiivistelmä ”Global Warming of 1,5 °C”, joka esittää entistä kovempia keinoja yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi. Kuvassa 37 on ilmatieteen laitoksen ja ympäristöministeriön ilmasto-oppaassa koostama kuva vaadittavista toimenpiteistä tavoitellun 1,5 asteen saavuttamiseksi (Ympäristöministeriö 2016; IPCC 2018; Ilmasto-opas).



**Kuva 37.** IPCC:n raportin tulokset ohjaavat nopeisiin ja radikaaleihin muutoksiin maapallon lämpenemisen rajoittamiseksi 1,5 asteeseen (Ilmasto-opas).

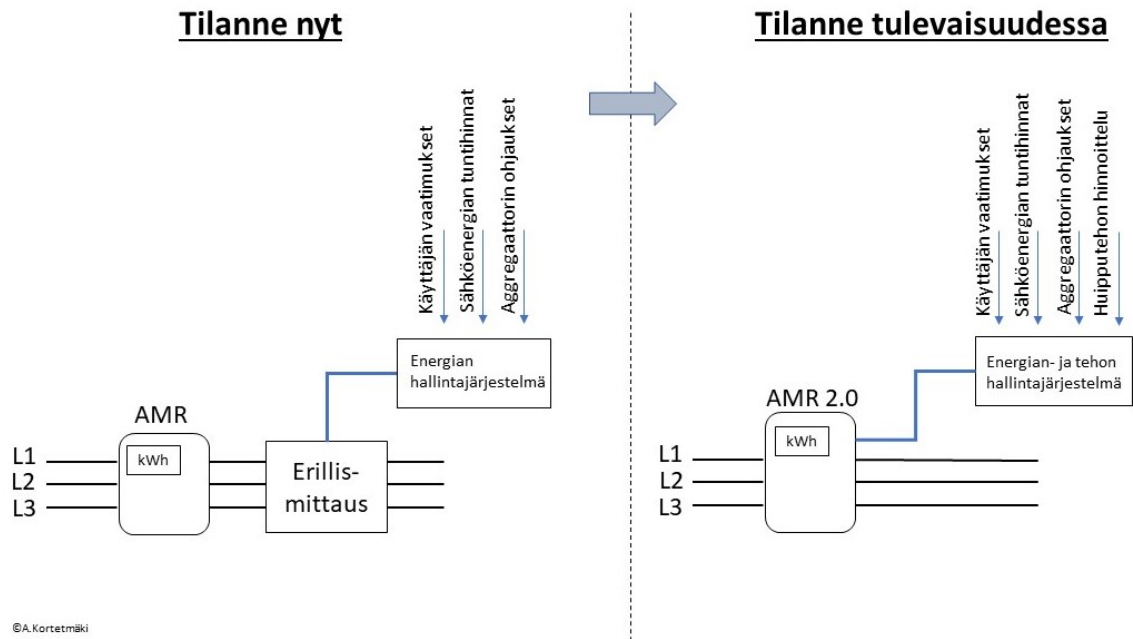
Suomi toimii jäsenenä kansainvälisessä energiajärjestössä IEA:ssa, joka jäsenmaidensa kesken toteuttaa yhteistyötä energiapolitiikan eri alueilla. IEA julkaisi 23.10.2018 Suomelle kohdistetun energiapolitiikan arvioinnin, joka esittää energiajärjestelmän nykytilan, sekä toimenpiteitä kansallisten energiatavoitteiden saavuttamiseksi. Raportissa on tiivistetty neljä keskeisintä kehotusta Suomen hallitukselle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Raportin mukaan hallituksen tulee ohjata energiajärjestelmää vähähiiliseen tulevaisuuteen vuoteen 2050 ulottuvilla kehyksillä, jotta yritykset voivat tehdä pitkän aikavälin investointipäätöksiä erityisesti energiateknologian innovaatioissa. Energiapolttoainelajien verotuksia ja tukia tulee tarkastella heijastamaan näiden koko hiilisisältöä, jotta edistettäisiin vähäpäästöisiin tekniikoihin siirtymistä erityisesti CHP-sähköntuotannossa



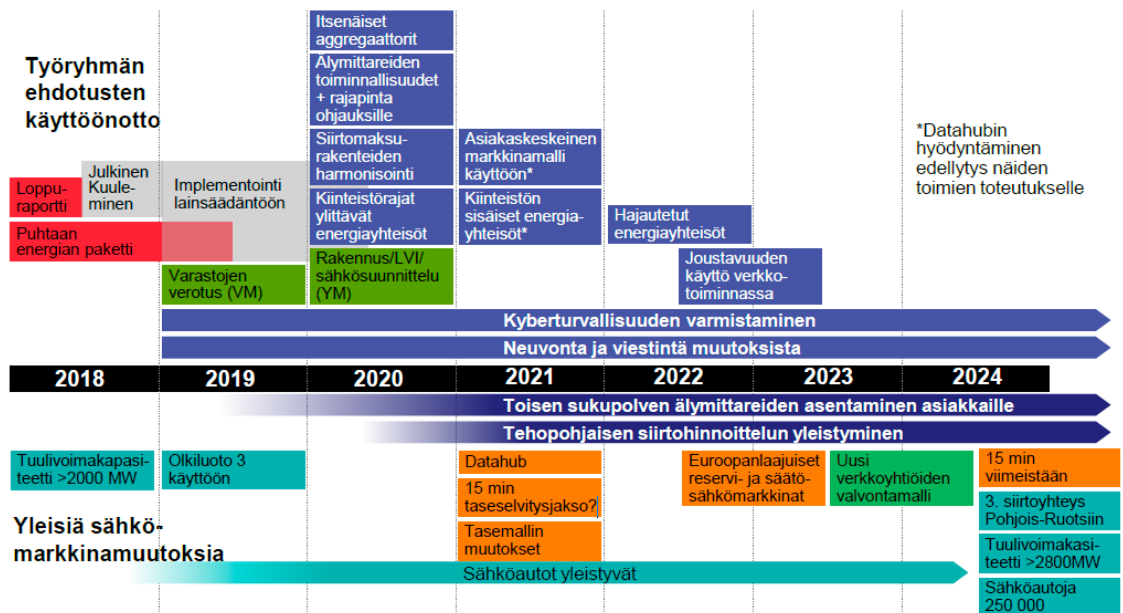
ja liikenteen saralla. Kuljetusalalla pyritään edistämään ajoneuvojen tehokkuuden kehittämistä sekä nollapäästöisten autojen (erityisesti sähköautojen) käyttöönottoa. Tavoitteena on puolittaa öljynkäyttö kestäväällä tavalla vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi raportti kehottaa edistämään vuoropuhelua pohjoismaisten ja baltialaisten naapureiden kanssa ilmasto- ja energiapolitiikan kehittämisessä. Tämän työn näkökulmasta tärkeää huomio on, että IEA uskoo Suomen hyötyvän erityisesti tuulivoimaan, sähköautoihin ja akkuvarastoihin siirtymisestä, sekä arvioi suomalaisten siirtyvän nopeasti näihin teknologioihin (IEA 2018).

Työ- ja elinkeinoministeriön tilaama ja älyverkkotyöryhmän tekemä loppuraportti ”joustava ja asiakaskeksinen sähköjärjestelmä” julkaistiin 24.10.2018. Tämän julkaisun voidaan odottaa ohjaavan merkittävästi päätöksiä, joiden perusteella Suomen sähköjärjestelmää kehitetään tulevina vuosina. Julkaisu esittää myös useita suosituksia, jotka tukevat tässä työssä käsiteltyjen pienkiinteistön energian- ja tehonhallinnan menetelmien tarvetta tulevina vuosina.

Älyverkkotyöryhmän loppuraportti pitää tärkeänä siirtymistä markkinaehtoiseen kysyntäjouston ohjaamiseen ulkoisten palveluntarjoajien toimesta. Tämän pohjalta perinteinen verkkoyhtiöiden AMR-mittarin välityksellä tapahtuvat aikaohjaukset lopetetaan 30.4.2021 mennessä, mikä avaa merkittävästi markkinoita kolmannen osapuolen energianhallintajärjestelmille. Vuodesta 2020 alkaen näille ulkoisille palveluntarjoajille ehdotetaan mahdollisuutta toimia itsenäisenä aggregaattorina eri sähkömarkkinapaikoilla, jolloin tämän ei tarvitse tapahtua enää asiakkaan sähkömyyjän kautta. Loppuraportti esittää myös vähimmäisvaatimukset uuden sukupolven AMR-mittareille. Merkittävänä vaatimuksena on fyysinen tiedonsiirtorajapinta kiinteistön ohjauksen käyttöön, joka lisää mittarin hyödynnettävyyttä osana kodin hallintajärjestelmää (kuva 38). Toimenpiteiden implementointi lainsäädäntöön odotetaan tapahtuvan jo tulevina vuosina, jonka takia näiden asioiden huomioiminen osana uuden kiinteistön suunnittelua on osattava huomioida kaikissa uusissa kohteissa. Merkittävä muutos kiinteistön ohjaamisen kannalta on myös verkkoyhtiöiden asteittainen siirtyminen huipputehoon pohjautuvaan hinnoitteluun, joka asettaa uudenlaisia vaatimuksia energianhallinnan lisäksi myös kiinteistön huipputehon hallintaan. Tavallisen kuluttajan on hyvin haastavaa ymmärtää käsitteenä tehon- ja energianhallinnan merkitys omassa arjessaan. Lisäksi näiden elementtien optimointi taloudellisesti mahdollisimman kannattavaksi on manuaalisesti ohjattuna hyvin vaikea toteuttaa. Tämä luo lisääntyvän tarpeen älykkäälle ohjausjärjestelmälle, joka optimoi kiinteistön toimia käyttäjän asettamien reunaehdoin niin, että ratkaisu on taloudellisesti mahdollisimman kannattava sähkön siirrosta vastaavan verkkoyhtiön ja energian myynnistä vastaavan sähköyhtiön laskutusperiaatteiden summana. Tämä tuo uusia vaatimuksia markkinoilla oleville ohjausjärjestelmien tarjoajille, joiden toiminnot tällä hetkellä optimoivat kiinteistön kuormia pääasiassa energianhallinnan näkökulmasta. Kuvassa 39 on esitetty älyverkkotyöryhmän esittämiä toimenpiteitä arvioituina toteutumisajankohtina (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018).



Kuva 38. Kodin hallintajärjestelmä nyt ja tulevaisuudessa.



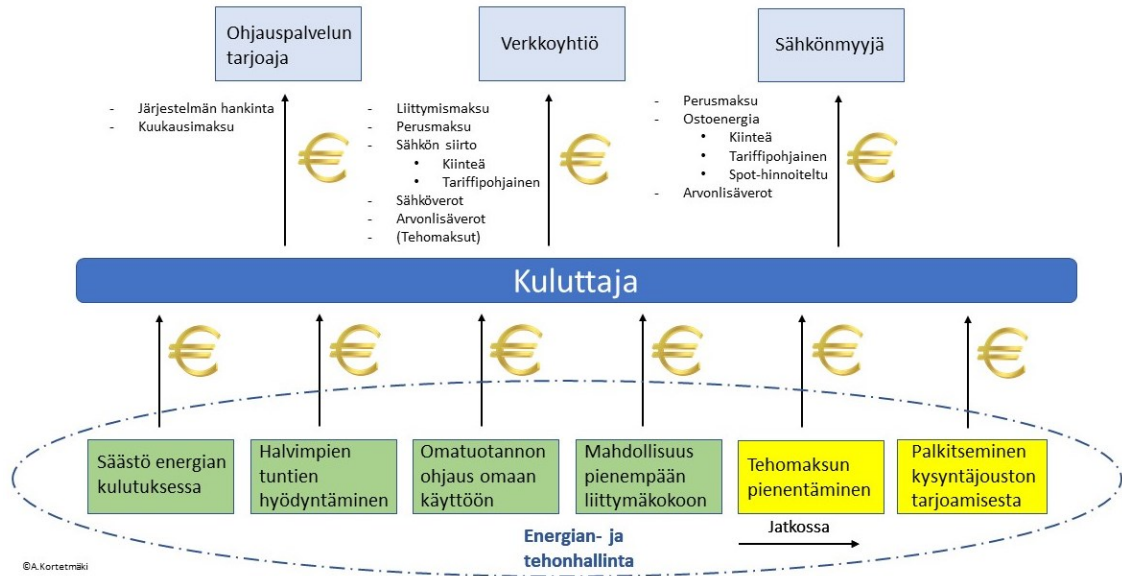
Kuva 39. Älyverkkotyöryhmän ehdotuksien toteutusjärjestys.

## 5.7 Työn tavoitteiden toteutuminen ja tarpeet jatkotutkimuksille

Tämän työn alkuperäinen tarkoitus oli kehittää kiinteistön sähkökeskuksien vaatimuksia vastaamaan muuttuvan ympäristön tarpeita. Työn myötä on kuitenkin noussut esille, ettei

pelkästään sähkökeskusten vakiomallia muuttamalla voida yksin edistää kaikkien toimijoiden ratkaisuja, vaan kiinteistön sähköverkko on kyettävä suunnittelemaan kokonaisuutena, joka palvelee mahdollisimman hyvin nykyisiä ja tulevia tarpeita. Sähkökeskuksien kohdalla tähän voidaan varautua parhaiten tuntemalla suunniteltujen laitteiden vaatimat tilavaraukset ja huomioimalla nämä keskusten suunnittelussa. Lisäksi kasvava tarve eri laitteiden ohjattavuudelle on huomioitava riittäväillä riviliitin- ja yleiskaapelointivarauksilla kummassakin kiinteistön keskuksessa. Perusteet näille vaatimuksille on koostettu aiemmin kuvassa 34.

Kiinteistön omistajalle peruste teknisten järjestelmien hankinnalle on tyypillisesti paremmat olosuhteet ja taloudellisesti saadut hyödyt. Kuormien ohjattavuus sellaisenaan mahdollistaa olosuhteiden hallinnan lisäksi taloudellista hyötyä vähentyneen energiankulutuksen kautta, sekä ohjaamalla kuormia halvemmille tunneille. Lisäksi ohjauksien mahdollistaessa kiinteistön pienemmän huipputehon, on tilaajan mahdollista säästää pienemmän liittymäkoon valinnalla. Jatkossa siirryttäessä enemmissä määrin myös tehopohjaiseen sähkön siirtomaksun hinnoitteluun, älykkäät ohjausratkaisut tuovat mahdollisuuden säästää myös huipputehoa rajoittamalla. Lisäksi itsenäisten aggregaattoreiden myötä saattaa kuluttajalle avautua erilaisia ansaintamahdollisuuksia tarjoamalla kuormillaan kysyntäjoustopotentialia palveluntarjoajalle. Lisättäessä kiinteistöön myös omatuotantoa, sähkön varastointikapasiteettia sekä sähköauton lataustoimintoja mahdollisesti V2G-ominaisuudella varustettuna, tulee näiden myötä erilaisia tapoja saada laskennallisia säästöjä tai ansaintamekanismeja. Nykyisillä markkinoilla edellä mainittujen ratkaisujen perustelu tilaajalle taloudellisen näkökulman kannalta voi osoittautua haastavaksi. Kuitenkin tällä hetkellä tehtävät suunnitteluratkaisut vaikuttavat kiinteistön kustannuksiin vuosikymmeniksi eteenpäin. Siksi olisi hyvin tärkeää tutkia kootusti eri ratkaisujen kannattavuuksia tällä hetkellä, sekä tehdä erilaisten skenaarioiden perusteella arvioita näiden potentiaalista tulevana vuosina. Kun tilaajalle ja suunnittelijoille on esittää selkeitä arvioita säästöpotentiaalista ja tulevaisuuden suuntaviivoista, on tällöin helpompi perustella itselle tai asiakkaalle investointeja, jotka mahdollistavat kiinteistön joustavuuden jatkossa (kuva 40).



**Kuva 40.** Kuluttajalle syntyvät säästöt kustannuksissa energian- ja tehonhallinnan avulla.

Erilaisten ohjausratkaisujen ja älykkäiden laitteiden lisääntyminen tuo vaatimuksia myös suunnittelun rajapintoihin integraation lisääntyessä eri osapuolien välillä. Samalla tiedon siirron ja tietoturvan merkitys kasvaa, johon perinteisessä pienkiinteistön suunnittelussa ei välttämättä ole varauduttu. Jatkossa vastuurajapinnat suunnittelun eri osapuolille on selvitettävä. Samalla on mietittävä, millä taholla on riittävä ymmärrys vastata kiinteistön suunnittelun integraatiosta, jotta eri osapuolien ratkaisut toimivat saumattomasti yhteen ja näiden yhteensovittamisesta on myös varmistuttu ennen kohteen luovuttamista asiakkaalle.

Tällä hetkellä erilaiset HEMS-ympäristöt ja muut ohjausratkaisut ovat enemmän tai vähemmän sidottuna yhteensopivien laitteiden valintaan ja viimeistään ohjausjärjestelmää vaihtaessa tullaan tilanteeseen, jossa edellisen laitetoimittajan komponentit eivät välttämättä ole enää hyödynnettävissä. Tähän ongelmaan ei välttämättä ole löydettävissä kaikkia osapuolia miellyttävää kiinteistöautomaation standardia, joka selventäisi kerralla yhteensovittamisen tuomat haasteet. Suomessa ollaan edelläkävijänä siirtymässä malliin, jossa kiinteistön tehon- ja energianhallinta sekä kysyntäjoustomarkkinat tullaan välittämään kuluttajalle ulkoisen palveluntarjoajan välityksellä. Lisäksi tulevat AMR 2.0-mittarit tarjoavat uudenlaisia toiminnallisuuksia kiinteistön sähköverkossa hyödynnettäväksi. Tämä on kokonaisuus, johon ei välttämättä löydy valmiita ratkaisuja muualta maailmasta. Toimintatavat ja ratkaisut tulevat varmasti vakiintumaan tulevaisuudessa markkinaehtoisesti, mutta olisi myös tärkeää selvittää, että miltä osin Suomessa voitaisiin edelläkävijänä pyrkiä avaamaan ja vakioimaan ohjausten ja mittausten ratkaisut niin, että toimikentästä ei tehtäisi pienkiinteistön suunnittelijoille ja käyttäjille liian monimutkaista.

Tavalliselle kuluttajalle pelkästään nykyinen sähköenergian ja sähkön siirron erillinen laskutus saattaa vaikuttaa epäselvältä. Tulevaisuudessa kuluttajalla on hyvin monimuotoiset tavat saada säästöä sähkölaskuissaan, sekä ansaita itsenäisen aggregaattorin välityksellä kiinteistönsä kuormien tai sähkön varastoinnin ohjauksella. Tämän takia vastuu kuluttajan etujen ajamisesta ohjautuu suunnitteluvaiheessa eri suunnittelijaosapuolille ja käytön aikana ohjausratkaisun tarjoajalle. Valveutuneelle kuluttajalle on kuitenkin hyvin tärkeää ymmärtää, mistä syntyneet kulut ja säästöt syntyvät. Tämä vaatii riittävän ajoissa aloitettua ja laadukasta kuluttajien valistamista. Näiden asioiden esittäminen riittävän selkeässä muodossa tarjoaa paljon tehtävää alan materiaalia tuottaville tahoille. Lisäksi koko Smart grid-ympäristö tarjoaa hyvin uudenlaisen ympäristön. Samalla tulee hyvin suuri määrä täysin uusia käsitteitä ja toimintamalleja, joiden ymmärtäminen voi olla alan ammattilaisille ja erityisesti poliittisille päättäjille hyvin haastavaa. Tämän takia on erittäin tärkeää muuttuvassa ympäristössä koostaa mahdollisimman selkeästi esitettyä materiaalia alan muutoksista, jotta kaikille osapuolille on mahdollista saada ymmärrys siitä, mitä meillä on oleva energiamurros tuo mukanaan. Esimerkkinä tällaisesta materiaalista voisi olla niin kuluttajille kuin ammattilaisillekin suunnattu selkeäkielinen ”opas kodin energiamurrokseen”. Tässä oppaassa olisi tiivistetysti esitetty, miten tavallinen koti on muuttumassa lähitulevaisuudessa fyysisten laitteiden, tiedonsiirron ja kustannusten osilta. Samaa olisi hyvä koostaa mahdollisimman kattavasti alan uudet termit, jotka on selitetty kuviin ja esimerkkeihin sitoen niin, että jokainen lukija nämä ymmärtää.

## LÄHTEET

ABB Group. (2018). ABB sähkölämmitysyksikkö SLY1.3. Saatavissa (viitattu 13.10.2018): [http://www.asennustuotteet.fi/catalog/16504/product/24855/SLY1.3\\_FIN1.html](http://www.asennustuotteet.fi/catalog/16504/product/24855/SLY1.3_FIN1.html).

AVD. (2018). How does AVD work. Saatavissa (viitattu 04.10.2018): <https://www.avdfire.com/how-does-avd-work>.

Batterysafetysolutions. (2018). N-EXT Fire extinguishers. Saatavissa (viitattu 05.10.2018): <https://www.batterysafetysolutions.com/#section-ourproducts>.

Circontrol. (2016). The ultimate EV charger synchronized with your home. Saatavissa (viitattu 05.06.2018): <http://circontrol.com/wp-content/uploads/Circontrol-BeON-Datasheet.pdf>.

Energiateollisuus ry. (2014). Sähkötöimitusehdot. Saatavissa (viitattu 25.10.2018): [https://energia.fi/files/1054/Sahkontoimitusehdot\\_STE\\_2014\\_20160118.pdf](https://energia.fi/files/1054/Sahkontoimitusehdot_STE_2014_20160118.pdf).

Energiateollisuus ry. (2016). Tuntimittauksen periaatteita. Saatavissa (viitattu 05.07.2018): [https://energia.fi/files/1153/Tuntimittausuusositus\\_paiv\\_20161012.pdf](https://energia.fi/files/1153/Tuntimittausuusositus_paiv_20161012.pdf).

Energiavirasto. (2018). Sähkön pientuotanto kovassa kasvussa. Aurinkosähkön-tuotantokapasiteetti 2.5-kertaistui vuodessa. Saatavissa (viitattu 06.07.2018): [https://www.energiavirasto.fi/media/-/asset\\_publisher/ooKNxg1qkv7p/content/sahkon-pientuotanto-kovassa-kasvussa-aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-2-5-kertaistui-vuodessa](https://www.energiavirasto.fi/media/-/asset_publisher/ooKNxg1qkv7p/content/sahkon-pientuotanto-kovassa-kasvussa-aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-2-5-kertaistui-vuodessa).

Energiavirasto. (2018). Sähkön hintatilastot. Saatavissa (viitattu 07.08.2018): <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>.

Energiewende Team. (2018). Analysis: How developing nations are driving record growth in solar power. Saatavissa (viitattu 16.06.2018): <https://energytransition.org/2018/01/analysis-how-developing-nations-are-driving-record-growth-in-solar-power/>.

Ensto. (2018). Enston kotisivut. Saatavissa (viitattu 09.04.2018): <https://www.ensto.com/fi>.

Ensto. (2016). The smart future of vehicle-to-grid and vehicle-to-home. Saatavissa (viitattu 18.07.2018): [https://www.ensto.com/globalassets/brochures/ev-charging/ensto\\_ev\\_v2g\\_article.pdf](https://www.ensto.com/globalassets/brochures/ev-charging/ensto_ev_v2g_article.pdf).

Euroopan komissio. (2014). Kestävää, luotettavaa ja kohtuuhintaista energiaa eurooppalaisille. Saatavissa: <https://publications.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/664e7979-229e-4326-b7e5-cbf4c51545ed>

Fingrid. (2018). Kysyntäjoustop markkinapaikat. Saatavissa (viitattu 15.09.2018): <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/markkinapaikat/>.

Fronius. (2018). Fronius Solar battery. Saatavissa (viitattu 27.04.2018): <http://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/home/storage-units/fronius-solar-battery/fronius-solar-battery-4-5>.

Fronius. (2018). Ohmpilot manuaali. Saatavissa (viitattu 17.11.2018): <https://www.fronius.com/ohmpilot-manuals>.

Genius-group. (2018). PyroBubbles® for extinguishing. Saatavissa (viitattu 18.10.2018): <https://www.genius-group.de/en/products/extinguishing-with-pyrobubbles/>.

Green Energy Finland. (2018). Yritysvierailu 14.06.2018. Kimmo Huomanin haastattelu.

Guoxiu, W. (2017). Energy Storage World Forum. Saatavissa (viitattu 19.05.2018): <https://energystorageforum.com/energy-storage-technologies/introduction-solar-energy-energy-storage>.

Honkapuro, S. & Auvinen, K. (2016). Blogi: Sähkön kysyntäjoustop kasvu edellyttää hintakannustimia ja rakentamisen ohjausta. Saatavissa (viitattu 13.06.2018): <http://smartenergytransition.fi/fi/sahkon-kysyntajoustop-kasvu-edellyttaa-hintakannustimia-ja-rakentamisen-ohjausta/>

Honkapuro, S., Haapaniemi, J., Haakana, J., Lassila, J., Partanen, J., Lummi, K., Rautiainen Antti, Supponen, A., Koskela, J. & Järventausta, P. (2017). Jakeluverkon tariffirakenteen kehitysmahdollisuudet ja vaikutukset. Saatavissa (viitattu 26.08.2018): [http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/143710/Tariffirakennetutkimus\\_LUT\\_TUT\\_raportti\\_final.pdf?sequence=2](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/143710/Tariffirakennetutkimus_LUT_TUT_raportti_final.pdf?sequence=2).

Hyyryläinen, M., Piirainen, S. & Määttä, K. (2015). Ansvar-hanke, Miten varaudut autojen muuttuviin energiajärjestelmiin, Oulun ammattikorkeakoulu, Oulu. Saatavissa (viitattu 26.10.2018): <https://www.oamk.fi/fi/palvelut-ja-yhteistyo/laboratoriot/auto-ja-moottorilaboratorio/projektit/varautuminen-ajoneuvojen-muuttuviin-energiajarjestelmiin/>

IEA. (2018). Energy Policies of IEA Countries Finland 2018, unknown Centre, Helsinki. Saatavissa (viitattu 28.10.2018): <https://webstore.iea.org/energy-policies-of-iea-countries-finland-2018-review>.

IEA (2011). Technology Roadmap: Smart Grids, OECD Publishing, Paris. Saatavissa (viitattu 11.07.2018): [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids\\_roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf)

IEC. (2017). IEC 61851-1:2017 Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements. Saatavissa (viitattu 01.11.2018): <https://webstore.iec.ch/publication/33644>

Ilmasto-opas. (2018). IPCC:n 1,5 asteen raportin pohjalta tehdyt infografiikat. Saatavissa (viitattu 26.10.2018): <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/videot-ja-visuaalisoinnit/-/artikkeli/404aab9f-7b8a-4e6c-a14a-0199af721c00/ipcc-1-5-infografiikat.html>.

Investing news. (2018). Top Cobalt Production by Country. Saatavissa (viitattu 03.11.2018): <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/cobalt-investing/top-cobalt-producing-countries-congo-china-canada-russia-australia/>.

IPCC. (2018). Global warming of 1.5 °C. Saatavissa: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>.

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. & Belonogova, N. (2015). Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkko-yhtiöille (DR pooli): Loppuraportti, Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnän\\_jousto\\_loppuraportti.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnän_jousto_loppuraportti.pdf)

Jäspi. (2018). Älyvaraaja. Saatavissa (viitattu 17.11.2018): <https://www.alyvaraaja.fi>.

Koskela, J., Lummi, K., Mutanen A., Rautiainen, A. & Järventausta, P. (2018). Utilization of Electrical Energy Storage with Power-Based Distribution Tariffs in Households. Hyväksytty julkaistavaksi lehdessä IEEE Transactions on Power Systems.

Kosonen, A. (2017). Antti Kosonen Aurinkosähkön mahdollisuudet -info, Salo 12.4.2017. Saatavissa: <http://www.yrityssalo.fi/attachements/2017-04-18T10-02-35136.pdf>.

Kuleshov, D., Peltoniemi, P., Kosonen, A., Nuutinen, P., Huoman, K., Lana, A., Pääkkönen, M. & Malinen, E. (2018). Assessment of economic benefits of battery energy storage application for the PV-equipped households in Finland. Applied Energy.

Lazard. (2017). LAZARD'S LEVELIZED COST OF STORAGE ANALYSIS - VERSION 3.0. Saatavissa: <https://www.lazard.com/media/450338/lazard-levelized-cost-of-storage-version-30.pdf>.

Lazard. (2017). LAZARD' S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS —VERSION 11.0. Saatavissa: <https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf>.

LG Chem. (2016). Resu10H installation manual. Saatavissa (viitattu 28.10.2018): [http://solarjuice.com.au/wp-content/uploads/2016/12/RESU10H\\_Installation-Manual\\_ver1.0\\_161201.pdf](http://solarjuice.com.au/wp-content/uploads/2016/12/RESU10H_Installation-Manual_ver1.0_161201.pdf).

Messuvierailu. 2018. Light + Building, Frankfurt.

M Laihanen, A Karhunen & T Ranta. (2016). The role of local renewable energy sources in regional energy production: The case of South-East Finland, International Journal of Energy and Environment, Vol. 7(1), pp. 89. Saatavissa: [https://www.ijee.iee-foundation.org/vol7/issue1/IJEE\\_07\\_v7n1.pdf](https://www.ijee.iee-foundation.org/vol7/issue1/IJEE_07_v7n1.pdf)



Makkonen, H., Tikka, V., Lassila, J., Partanen, J. & Silventoinen, P. (2014). Demonstration of smart charging interface in Green Campus, 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications, IEEE, pp. 1-10. Saatavissa: <https://www.semanticscholar.org/paper/Demonstration-of-smart-charging-interface-in-Green-Makkonen-Tikka/fd64ed85edbaa1436f00daad2c5beddd2b173415>

Mayfield, R. (2012). The highs and lows of photovoltaic system calculations. Saatavissa (19.07.2018): <https://www.ecmweb.com/green-building/highs-and-lows-photovoltaic-system-calculations>.

Mennekes. (2018). Mennekesin kotisivut. Saatavissa (viitattu 26.07.2018): [www.mennekes.co.uk/](http://www.mennekes.co.uk/).

Motiva. (2012). Lämpöä omasta maasta - Opas maalämmöstä. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampo\\_omasta\\_maasta\\_maalampopumput.10752.shtml](https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampo_omasta_maasta_maalampopumput.10752.shtml)

Mäkinen, J. (2017). Aurinkosähkö osana energiamurrosta PV-voimalan suunnittelijan opas suunnittelu – toteutus - ylläpito. Saatavissa: <https://www.jamk.fi/globalassets/tapahtumakalenteri--events/teknologian-tapahtumat/aurinkosahkojarjestelmat-5.10.2017/aurinkosahko-osana-energiaturrosta-pv-voimalan-suunnittelijan-opas-ii.pdf>

Nibe, E.S.O. (2018). Nibe F1255 - Asentajan käsikirja. Saatavissa (viitattu 02.11.2018): <https://www.nibe.co.uk/nibedocuments/20785/331335-3.pdf>

Optiwatti. (2018). Jani Kannisen ja Ari Tolosen puhelinhaastattelut 24.8.2018, 31.8.2018 ja 7.9.2018.

Orrberg, M. (2017). ST-käsikirja 40: AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS, Sähköinfo Oy. Saatavissa: <http://kauppa.sahkoinfo.fi/product/1405>

OVO Energy. (2018). Introducing the OVO Vehicle-to-grid charger. Saatavissa (viitattu 07.06.2018): <https://www.ovenergy.com/electric-cars/vehicle-to-grid-charger>.

Palola, I., Sailo, S., Haapasalo, A. & Lasen, F. (2016). Fingrid ja There Corporation, Kysynnänjouston pilottiprojekti, Fingrid. Saatavissa: <http://docplayer.fi/25708737-Kysynnänjouston-pilottiprojekti.html>.

Parviainen, V. (2018). Haastattelu 23.04.2018, Ville Parviainen, Kehityspäällikkö, Ensto Solutions.

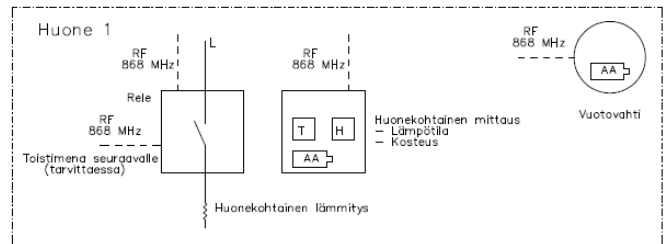
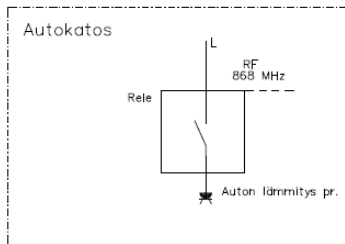
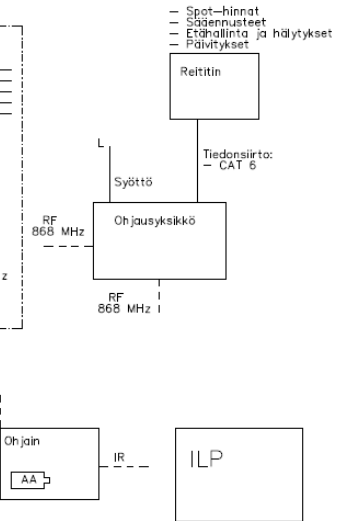
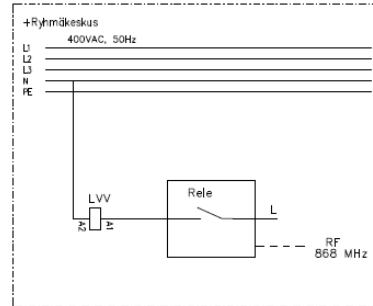
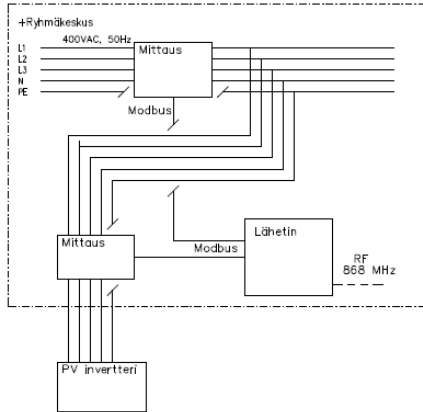
Phoenix contact. (2018). Sähköajoneuvot. Saatavilla (viitattu 13.09.2018): <https://www.phoenixcontact.com>.

Pöyry. (2017). AMR 2.0 - Seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareiden vähimmäistoiminnallisuudet. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017/6a2df7e6-a963-40c0-b4d8-d2533fbca488/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017.pdf>

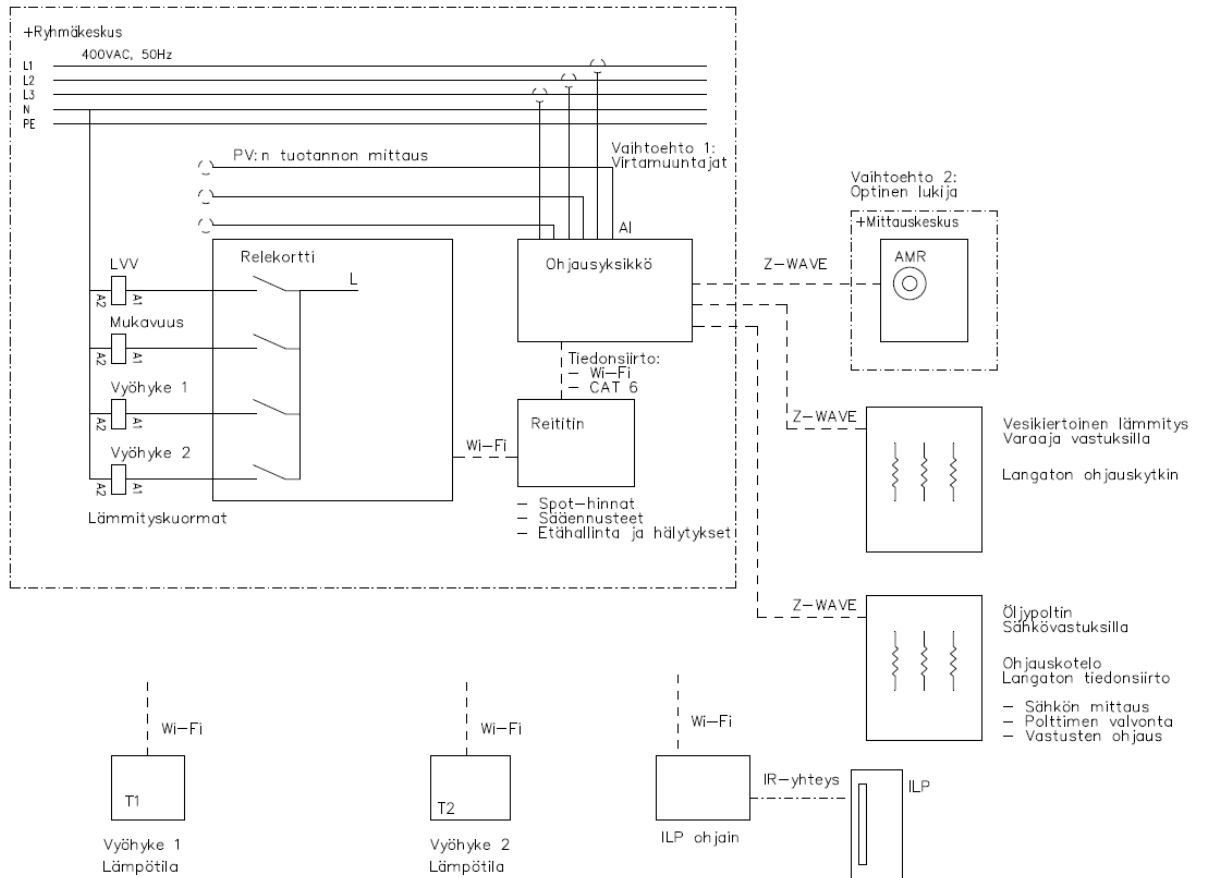
- Raiko, M. & Honkasalo, N. (2012). Biopolttoaineiden soveltuminen säätötehon tuotantoon. Saatavissa: [https://www.vtt.fi/files/projects/biohiili/markku\\_raiko.pdf](https://www.vtt.fi/files/projects/biohiili/markku_raiko.pdf)
- Raivio, K. (2018). Puhelinhaastattelu 15.10.2018, Kari Raivio, uRecycle Group.
- Rautiainen, A. (2015). Aspects of Electric Vehicles and Demand Response in Electricity Grids, Tampere University of Technology. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/files/3707357/rautiainen\\_1327.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/3707357/rautiainen_1327.pdf)
- Rautiainen, A., Repo, S. & Järventausta, P. (2010). Intelligent charging of plug-in vehicles. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/intelligent-charging-of-plug-in-vehicles\(2925a3b6-938f-4ef2-b88d-bfd265942889\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/intelligent-charging-of-plug-in-vehicles(2925a3b6-938f-4ef2-b88d-bfd265942889).html).
- Selonen, T. (2018). Sähköpostihaastattelu 07.03.2018, Caruna Oy.
- SESKO. (2018). Sähköajoneuvojen lataussuositus 2018. Saatavissa (viitattu 09.08.2018): [https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin\\_aihealueita/sahkoautot\\_ja\\_latausjarjestelmat/lataussuositus](https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/lataussuositus)
- SFS 6000. (2017). Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-712: erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät.
- SMA. (2018). EEBus for the Smart Home. Saatavissa (viitattu 17.07.2018): <https://www.sma.de/en/eebus-uniform-communication-standard.html>.
- Smartecno. (2018). Järjestelmän rakenne. Saatavissa (viitattu 29.09.2018): <https://smartecno.fi/>.
- The Smarter E Europe-messut, München. (2018).
- SULPU. (2017). Myytyjen lämpöpumppujen määrä. Saatavissa (viitattu 18.08.2018): <https://www.sulpu.fi/tilastot>.
- Sähkötieto ry. (2016). ST-ohjeisto 7 - Sähkölämmityksen ohjaus ja säätö. Saatavissa: <http://kauppa.sahkoinfo.fi/product/1289>.
- TEM. (2016). 100-prosenttisesti uusiutuviin energialähteisiin perustuva energiajärjestelmä. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/3570111/100+prosenttia+uusiutuva+tarkastelu.pdf/8e4ee341-77c5-4447-b6ce-1f2686a3daec/100+prosenttia+uusiutuva+tarkastelu.pdf.pdf>
- TEM. (2018). Työ- ja elinkeinoministeriön kotisivut, Älyverkot. Saatavissa (viitattu 13.06.2018): <https://tem.fi/alyverkot>.
- TEM. (2017). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, Työ- ja Elinkeinoministeriö. Saatavissa: [https://tem.fi/documents/1410877/2772829/332\\_2017\\_Tulevaisuuden+energia\\_2030\\_2050.pdf/4f1c0ec0-58fc-4c1c-9297-7f90ac01615b/332\\_2017\\_Tulevaisuuden+energia\\_2030\\_2050.pdf.pdf](https://tem.fi/documents/1410877/2772829/332_2017_Tulevaisuuden+energia_2030_2050.pdf/4f1c0ec0-58fc-4c1c-9297-7f90ac01615b/332_2017_Tulevaisuuden+energia_2030_2050.pdf.pdf).

- Tesla. (2018). Powerwall 2 AC owner's manual  
Saatavissa (viitattu 19.10.2018): [https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/powerwall\\_2\\_ac\\_owners\\_manual.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/powerwall_2_ac_owners_manual.pdf).
- Tesla. (2018). Puhelinhaastattelu 27.07.2018, Teslan tekninen tuki.
- There Corporation. (2018). Yritysvierailu 04.06.2018. Sami Sailon haastattelu.
- Trafi. (2018). Trafim tilastotietokanta. Saatavilla (viitattu 18.07.2018):  
[http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi\\_Liikennekaytossa\\_olevat\\_ajoneuvot/?tablelist=true&rxid=714713ea-4df2-4b82-8e0a-68b51dad9956](http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/?tablelist=true&rxid=714713ea-4df2-4b82-8e0a-68b51dad9956).
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2018). Älyverkkotyöryhmän loppuraportti - Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä, Älyverkkotyöryhmä. Saatavissa: <https://tem.fi/julkaisu?pubid=URN:ISBN:978-952-327-346-7>.
- Vattenfall. (2018). Pörssisähkösopimusten suosio kasvaa Suomessa – onko järkeä vai ei. Saatavissa (viitattu 19.10.2018): <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/alykkaastikotona/porssisahkosopimusten-suosio-kasvaa-suomessa/>.
- Vaughan, A. (2017). All Volvo cars to be electric or hybrid from 2019, The Guardian. Saatavissa (viitattu 13.04.2018): <https://www.theguardian.com/business/2017/jul/05/volvo-cars-electric-hybrid-2019>.
- Virta. (2017). Public bidirectional EV charging point installed to Finland. Saatavissa (viitattu 16.06.2018): <https://www.virta.global/news/the-first-public-bidirectional-ev-charging-point-to-finland>.
- Vuorilehto, K. (2018). Dosentti Kai Vuorilehdon puhelinhaastattelu 12.09.2018.
- Ympäristöministeriö. (2016). Pariisin ilmastopimus. Saatavissa: <http://www.ym.fi/pariisi2015>.
- Zhou, B., Li, W., Chan, K.W., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X. & Wang, X. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 61 pp. 30-40. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/299444783\\_Smart\\_home\\_energy\\_management\\_systems\\_Concept\\_configurations\\_and\\_scheduling\\_strategies](https://www.researchgate.net/publication/299444783_Smart_home_energy_management_systems_Concept_configurations_and_scheduling_strategies)
- Älyverkkotyöryhmä. (2016). Suomen älyverkkovisio. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/%C3%84lyverkkovisio+final/9ddc2545-586e-4574-8195-ef9987a07151/%C3%84lyverkkovisio+final.pdf>

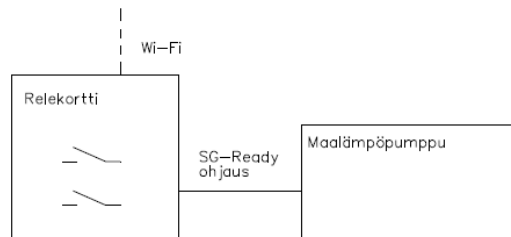
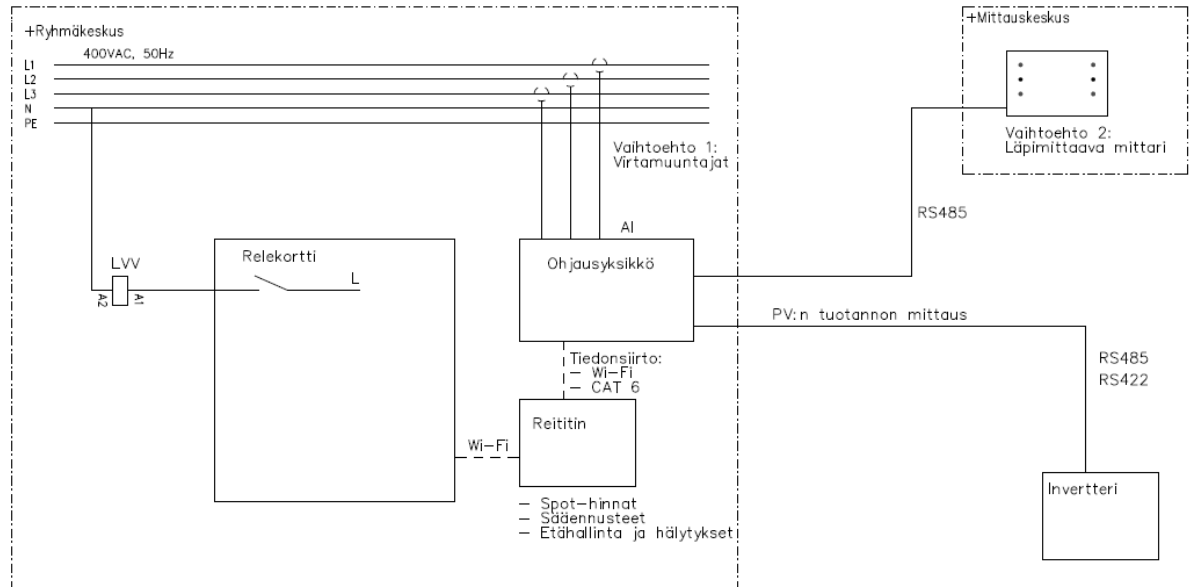
# LIITE A: OPTIWATIN TOIMINTAPERIAATE (TEHTY HAASTATTELUJEN POHJALTA)



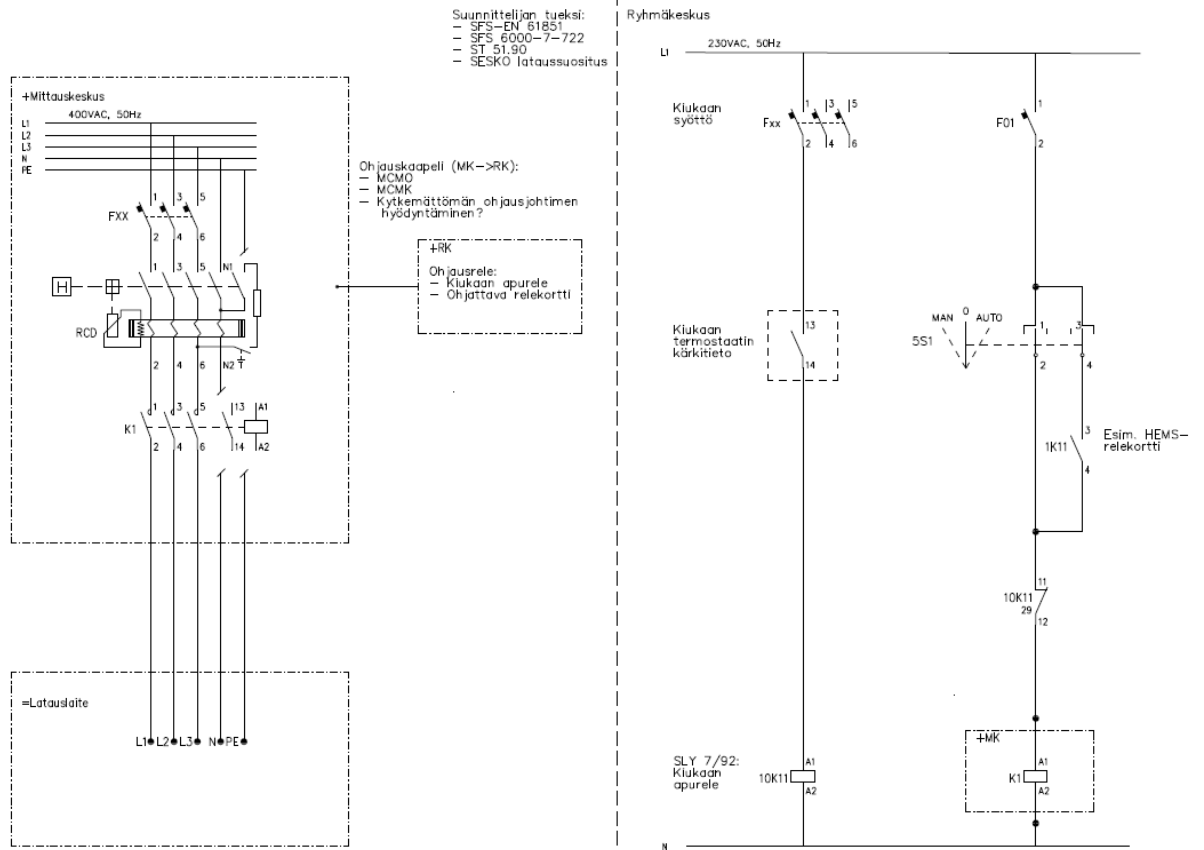
## LIITE B: THERE CORPORATION TOIMINTAPERIAATE (TEHTY HAASTATTELUJEN POHJALTA)



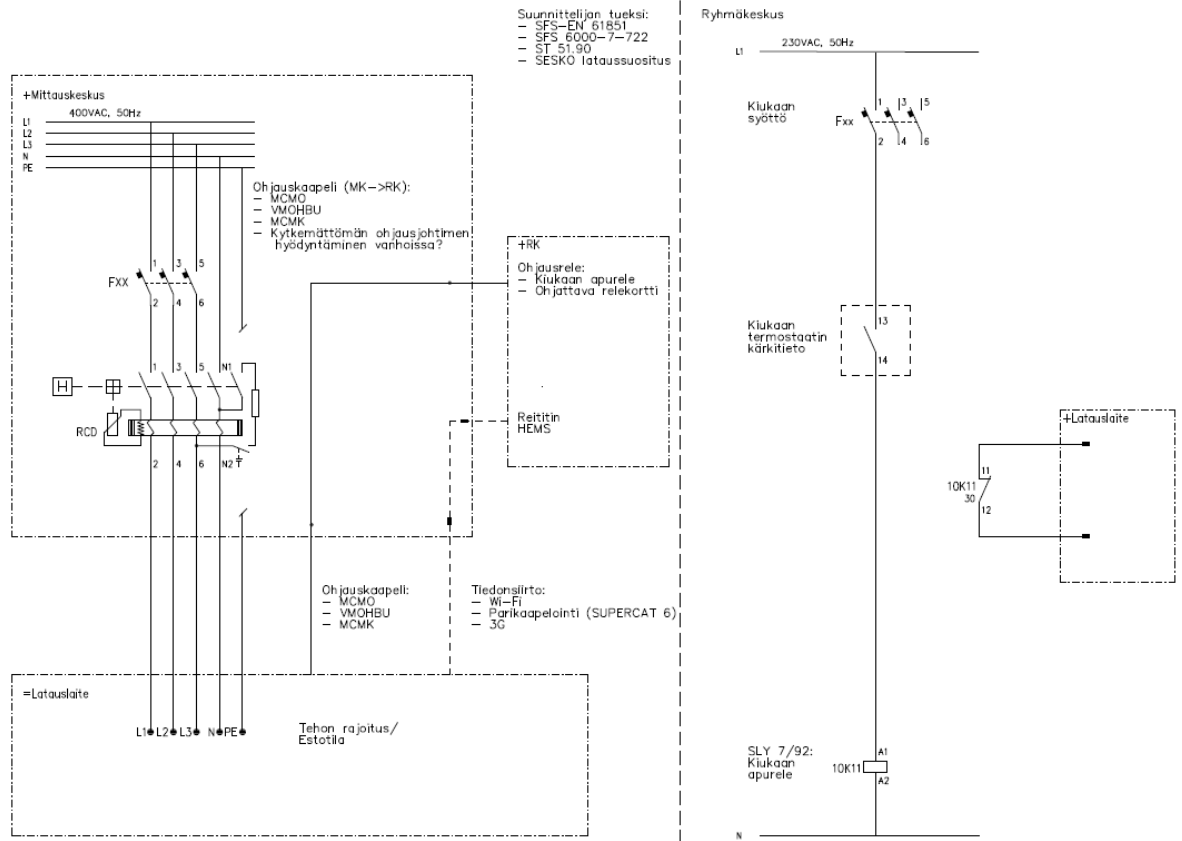
## LIITE C: GREEN ENERGY FINLAND TOIMINTAPERIAATE (TEHTY HAASTATTELUJEN POHJALTA)



# LIITE D: LATAUSLAITTEEN KONTAKTORIOHJAUS KIUASRIS-TEILYLLÄ

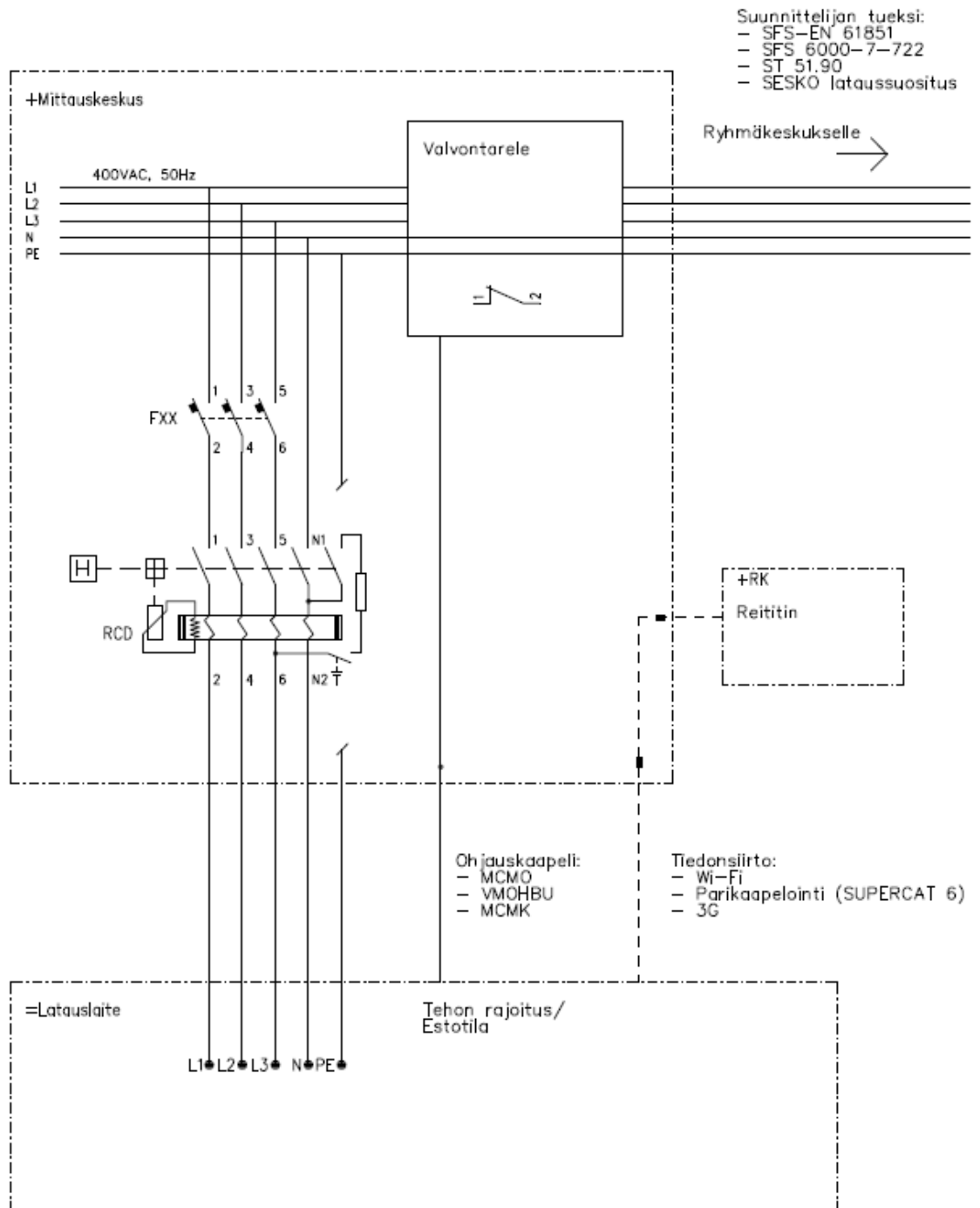


# LIITE E: LATAUSLAITTEEN OHJAUS KÄRKITIEDOLLA

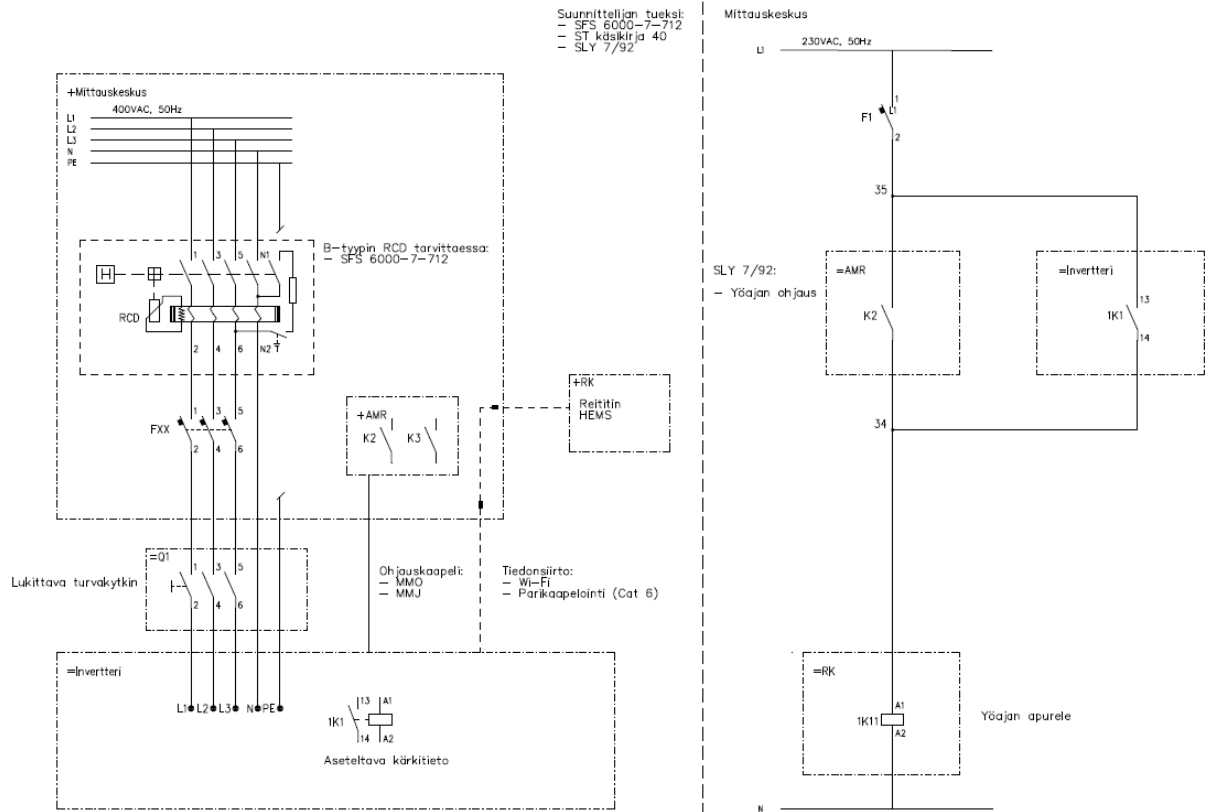




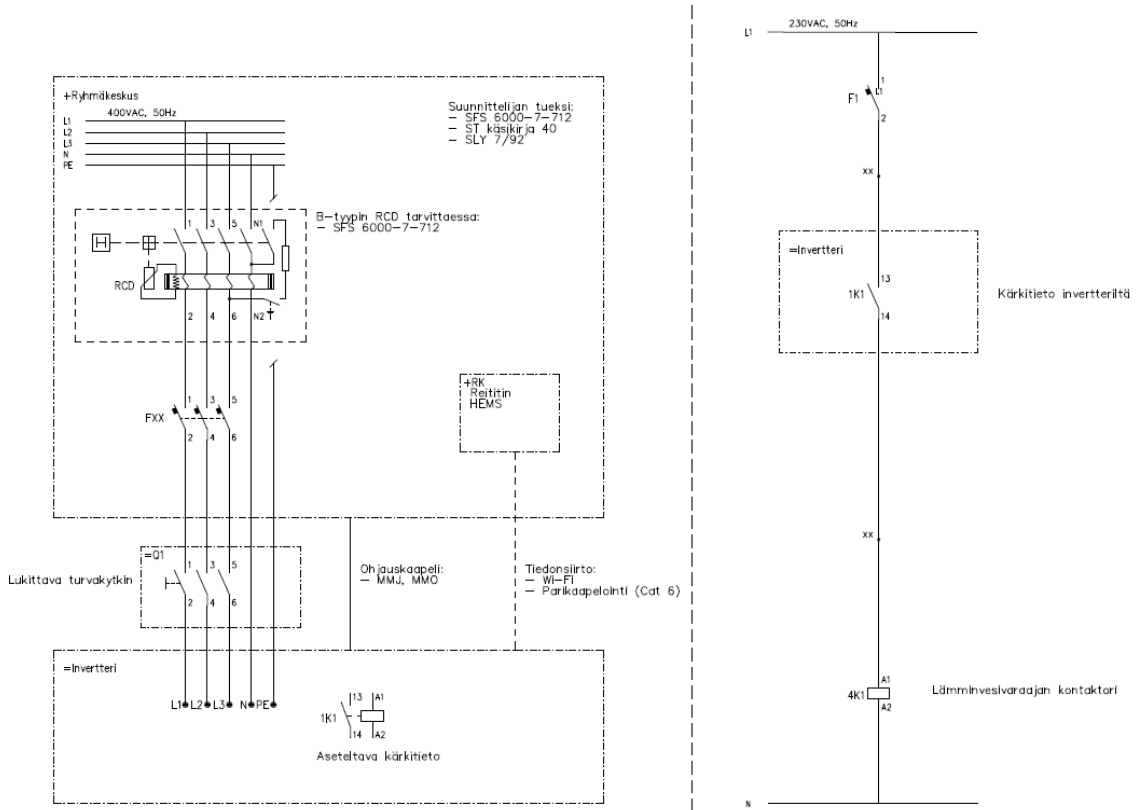
## LIITE F: LATAUSLAITTEEN OHJAUS VALVONTARELELLÄ



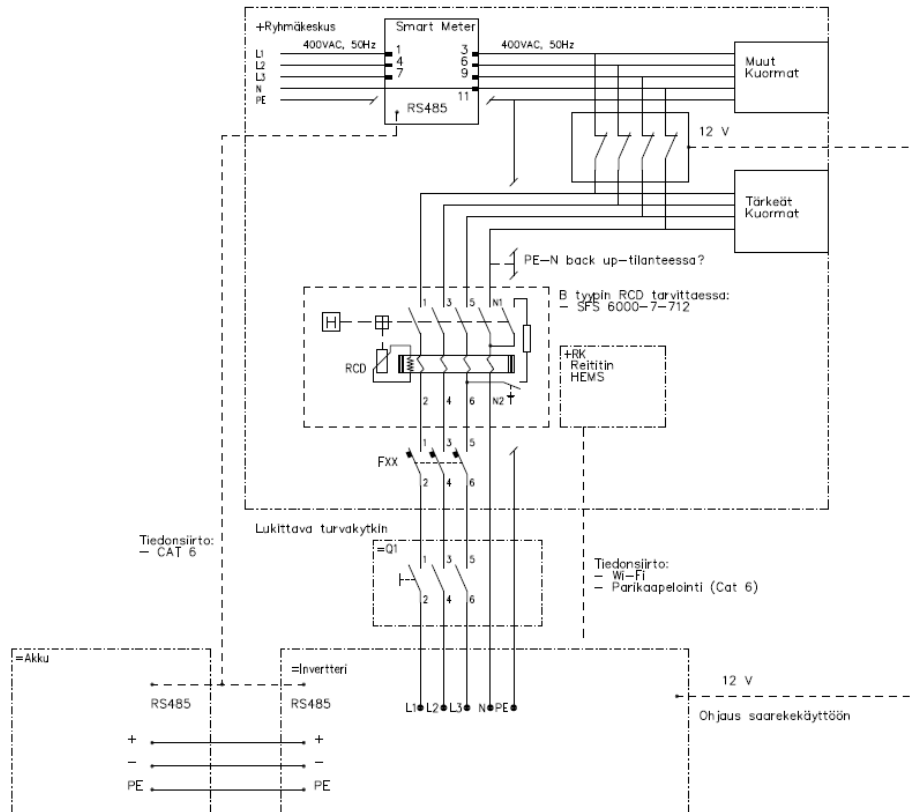
# LIITE G: AURINKOPANEELIN INVERTTERIN KYTKENTÄ MITTAUSKESKUKSEEN JA OHJAUS ASETELTAVALLA KÄRKITIEDOLLA



# LIITE H: AURINKOPANEELIN INVERTTERIN KYTKENTÄ RYHMÄKESKUKSEEN JA OHJAUS ASETELTAVALLA KÄRKITIEDOLLA



# LIITE I: KOTIAKUN INVERTTERIN KYTKENTÄ SAAREKEKÄYTTÖMAHDOLLISUUDELLA



Suunnittelijan tueksi:  
 - SFS 6000-7-712  
 - ST käsikirja 40  
 - SLT 7/92  
 - Tuotteen manuaalit

## LIITE J: LÄMMINVESIVARAAJAN OHJAUS FRONIUS OHMPILOT-LAITTEELLA (MUOKATTU FRONIUKSEN MANUAALISTA)

