Tampereen yliopisto

Ari Härkönen

AURINKOPANEELIEN HYÖDYNTÄMINEN SÄHKÖAUTON LATAUKSESSA

Kandidaatintutkielma
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Lauri Aaltonen
Elokuu 2025

TIIVISTELMÄ

Ari Härkönen: Aurinkopaneelien hyödyntäminen sähköauton latauksessa
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Elokuu 2025

Työssä tarkoituksena oli tarkastella aurinkopaneelien tuottamaa sähköenergiaa sähköauton latauksessa. Työssä tarkastellaan aurinkosähkön perusteita, aurinkopaneelien rakennetta ja toimintaperiaatteita, sähköauton lataustekniikkaa, lataustapoja ja miten mahdollisimman tehokkaasti käytetään aurinkosähköä omaan käyttöön. Työssä on käytetty esimerkkinä 18 paneelia hyödyntävää omakotitaloa, jossa automaatiojärjestelmän avulla on seuranta energian tuotannosta ja kulutuksesta.

Työssä selvisi, että parhaiten ja helpoimmalla omaan käyttöön aurinkoenergiaa saa käytettyä hankkimalla älykkään latauslaitteen, joka tukee auringon ylijäämä latausta. Se kuinka paljon omaan käyttöön aurinkoenergiaa menee, vaikuttaa paljon tuotetun energian arvoon. Aurinkoenergiaa kannattaa hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti omaan käyttöön, jolloin investointikustannukset saadaan mahdollisimman nopeasti katettua ja sähköautoilu on ympäristöystävällisempää, kun on käytetty uusiutuvaa aurinkoenergiaa.

Avainsanat: Sähköauto, lataus, aurinkopaneeli, aurinkovoima, älykäslataus, kustannusten optimointi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☒ Ei
☐ Kyllä

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Tämä kandityön aihe on syntynyt kiinnostuksesta sähköautoilua kohtaan. Minua kiinnostaa erityisesti sähköautot sekä erilaiset uusiutuvat energiaratkaisut ja niiden hyödyntäinen yhdessä. Työssä hyödynsin perheeni käytössä olevan kotiautomaatiojärjestelmän keräämiä tietoja ja perheeni käytössä ollutta sähköautoa. Aihe on henkilökohtaisesti kiinnostava ja haastavaksi nousikin tiedon selittäminen sopivan yksityiskohtaisesti ja selkeästi. Toivon siinä nyt onnistuneeni.

Haluan lämpimästi kiittää kandiohjaajaani Lauri Aaltosta tuesta ja kandityöhön liittyvistä kommenteista. Lisäksi haluan kiittää myös perhettäni ja läheisiäni tuesta.

Tampereella, 8.8.2025

Ari Härkönen

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 1
2. AURINKOVOIMAN TEORIA 2
2.1 Aurinkokenno 2
2.2 Aurinkopaneelin toimintaperiaate 4
2.3 Aurinkovoimalan ja paneelin pääkomponentit 4
2.4 Aurinkovoimalan asennus ja tuotantoon vaikuttavat tekijät 6
3. SÄHKÖAUTON LATAUS 8
3.1 Lataus 8
3.2 Kuormanhallinta ja sen ominaisuudet 9
3.3 Mode 2-Sukolataus 10
3.4 Mode-3 - Peruslataus 11
3.5 Mode- 4 - Pikalataus 11
3.6 Lataustehon vaikutus latausaikaan 12
3.7 Akun teoriaa 13
4. ENERGIAYHTEISÖ 15
4.1 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö 15
4.2 Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö 16
4.3 Hajautettu eli virtuaalinen energiayhteisö 17
4.4 Aurinkovoimalan säätely ja luvitus 17
5. HINTA-ANALYYSI 19
5.1 Kustannusten minimointi 19
5.2 Tehomaksu 20
5.3 Aurinkoenergian arvon laskeminen 20
6. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT 28
6.1 Kotiakku 28
6.2 Kaksisuuntaiset laustekniikat 29
7. YHTEENVETO 31
8. LÄHTEET 32

LYHENTEET JA MERKINNÄT

A2	Ruostumaton teräs
AC	Vaihtovirta
BMS	Battery managment system
CCS2	Latausstandardi
CHAdeMO	Latausstandardi
CP	Control Pilot (Tietoa siirretään auton ja laturin välillä tämän kautta)
DC	Tasavirta
EVA	Etyleeni-vintyyliasetaatti kalvo (kapselointikalvotyyppi)
EPE	Koekstruudattu kalvo (kapselointikalvotyyppi)
kW	Kilowatti (tehon yksikkö)
kWh	Kilowattitunti (energian yksikkö)
LFP	Litium-rautafosfaatti (akkukemia)
MW	Megawatti (tehon yksikkö)
NMC	Litiumnikkelimagnaanikobolttioksidiakku
POE	Polyolefiinielastomeerikalvo (kapselointikalvotyyppi)
PP	Proximity pilot (Kaapelin lukittumisesta vastaava tiedonsiirtokanava)
V2G	Vehicle-to-grid Energian siirto ajoneuvosta sähköverkkoon
V2H	Vehicle-to-home Energian siirto ajoneuvosta kodin sähköverkkoon
V2L	Vehicle-to-load Energian siirto ajoneuvosta kuormaan
Wh	Wattitunti
Wp	Wattipiikki
WTLP	Kulutus- ja päästömittaustapa

1. JOHDANTO

Täyssähköautot ovat yleistyneet nopeasti viime vuosina. Sähköisen autokaluston lisääntyessä, on mahdollisimman kustannustehokas lataus taloudellisesti järkevää. Samalla tulisi välttää sähköverkolle tulevia piikkikuormituksia. Myös aurinkopaneelijärjestelmät ovat lisääntyneet nopeasti viime vuosina. Vuoden 2020 lopussa verkkoon liitetty pientuotantokapasiteetti oli hiukan alle 300 MW. Vuoden 2023 lopussa verkkoon liitettyä kapasiteettiä oli jo yli 900 MW. Aurinkovoiman asennetun kapasiteetin arvioidaan kasvavan myös nopeasti tulevaisuudessa. [1]

Tässä työssä tarkastellaan, miten sähköautoja ja aurinkopaneeleita voidaan hyödyntää mahdollisimman kustannustehokkaasti pientalon näkökulmasta. Esimerkiksi kvartaalin Q4/2024 lopussa Suomessa liikkui 118 297 kpl täyssähköautoa [2]. Jotain nopeasta kehityksestä voidaan päätellä kahden vuoden takaisesta lukemasta eli Q4/2022. Silloin täyssähköisiä autoja oli 44 889 kpl [3]. Kahden vuoden aikana on sähköautoja tullut liikenteeseen lisää yli 73 000 autoa.

Toisessa luvussa käsitellään aurinkovoiman tuotannon teoriaa, aurinkosähköjärjestelmän muodostamaa kokonaisuutta, sekä sen komponentteja. Lisäksi luvussa perehdytään aurinkopaneelin tuotantoon vaikuttaviin asioihin. Kolmannessa luvussa käsitellään sähköauton latausstandardeja ja pistoketyyppejä. Lisäksi käsitellään kuormanhallintaa, sähköauton erilaisia lataustapoja ja sähköauton akun toimintaa. Neljännessä luvussa käydään läpi kaikki energiayhteisö muodot ja niiden hyötyjä ja haittoja. Lisäksi käydään lävitse aurinkovoiman säätelyä ja lupa-asioita. Viidennessä luvussa tarkastellaan sähkönkokonaishinnan muodostumista Suomessa. Sähkönkokonaishinnalla tarkoitetaan hintaa, joka sisältää sähkönsiirtohinnan sekä sähköenergian hinnan. Tarkastellaan, mitkä asiat siihen vaikuttavat, ja mihin asioihin on mahdollista itse vaikuttaa. Lisäksi käsitellään älykästä sähköautonlatauslaitetta auton latauksessa ja miten sen avulla pystytään minimoimaan kustannuksia ja sitä kautta parantamaan takaisinmaksuaikaa. Luvussa esitetään, miten sähkön omakäyttö vaikuttaa, siitä saatavaan rahalliseen hyötyyn. Kuudennessa luvussa pohditaan nykyisiä tekniikoita sähkön varastoimiseen ja sen mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön. Lisäksi pohditaan tulevaisuuden näkymiä ja sitä millaisia tekniikoita tulevaisuudessa on mahdollista hyödyntää.

2. AURINKOVOIMAN TEORIA

Suomessa on viime aikoina herätty aurinkosähkön potentiaaliin. Sen johdosta aurinkosähkön tuotanto on kasvanut nopeasti pientuotannon ja teollisen aurinkovoiman puolella. Pientuotantoon määritellään kaikki alle 1 MW kokoiset aurinkovoimalat. Pientuotanto kasvoi vuoden 2023 aikana 299 MW, joka vastaa jopa 47 % kasvua. [1] Maapallolle saapuu 14,5 sekunnissa sama energia määrä, jonka ihmiskunta kuluttaa vuorokaudessa. Kuitenkaan ihmiskunnalla ei ole teknologiaa, jolla energiaa saataisiin auringon säteilystä näin tehokkaasti talteen. Maapallolla aurinkoenergian kannalta parhaassa mahdollisessa paikassa päiväntasaajalla kokonaissäteily on noin 2500 kWh/m^2 vuoden ajalta. Suomen korkeudella vuoden säteilysumma on noin 900 kWh/m^2 suuruusluokkaa. Pohjois-Suomessa hiukan vähemmän ja eteläisessä Suomessa enemmän. Nämä erot johtuvat päivän pituudesta, kuinka korkealle aurinko nousee ja missä kulmassa paistaa. Lisäksi rannikon seudulla tuulee enemmän, jolloin on pilvettömämpää. [4]

Ympäristöystävällisten ja uusiutuvien sähkönvalmistusmuotojen, kuten tuulen ja aurinkosähkön käyttöön liittyy myös haasteita. Vesivoima on myös uusiutuvaa energiaa, mutta sitä ei rakenneta enää paljoa, kun kaikki hyvät vesivoimapaikat on jo valjastettu vesivoiman käyttöön. Nämä haasteet syntyvän sään vaikutuksesta tuotannon suuruuteen. Sähköjärjestelmän pitää olla tasapainossa joka hetki. Tämä tarkoittaa sitä, että kulutuksen ja tuotannon on oltava samansuuruista. Sääriippuvaisten tuotantomuotojen tuotanto riippuu sääolosuhteista, jolloin tuotanto vaihtelee eri päivien välillä. Kun on hyvät tuotanto-olosuhteet, energiaa tuotetaan paljon, jolloin sitä joudutaan varastoimaan erilaisiin ratkaisuihin. Näistä energiavarastoista voidaan energiaa käyttää silloin, kun syntyvää tuotantoa on vähemmän. Energiavarastoja, kuten akkuvarastot, kehitetään koko ajan tehokkaammiksi ja sitä kautta niiden käyttö myös lisääntyy tulevaisuudessa. [4]

2.1 Aurinkokenno

Aurinkokennoja voidaan valmistaa muutamasta eri valmistusmateriaalista, mutta yleisimmät niistä ovat yksi- tai monikiteinen pii. Markkinoilla on käytössä myös muusta materiaalista valmistettuja paneeleita, kuten ohutkalvokennoja. Aurinkokennot valmistetaan kahdesta erityyppisestä puolijohdemateriaalista eli n- ja p-tyypin puolijohteesta. Jos kennot olisi valmistettu kokonaan samasta puolijohdemateriaalista, kenno ei silloin toimisi, koska silloin ei muodostuisi toiselle puolelle positiivista varausta ja toiselle puolelle negatiivista varausta. Puolijohteet nimensä mukaisesti johtavat, mutta huonommin kuin joh-

dinmateriaalit ja eristävät huonommin kuin eristeet. Yleisesti puolijohteita ei käytetä yksinään. Niihin sekoitetaan muita alkuaineita, joilla pystytään parantamaan materiaalin ominaisuuksia. [5]

Ensimmäinen aurinkokennoa muistuttava kenno rakennettiin jo vuonna 1883, mutta nykyaikanakin käytettävä piipaneeli kehitettiin 1954 [6]. Siitä lähtien on jo kehitetty kolmen eri sukupolven aurinkosähköratkaisuja. Kaupallisessa käytössä on yksi- ja monikide piipaneeleita. Kyseiset paneelit perustuvat jo vuonna 1954 kehitettyyn paneeliin [5]. Näillä kaupallisissa sovelluksissa olevissa paneeleissa päästään tavallisesti noin 15–20 % hyötysuhteisiin [7]. Yksikiteinen piipaneeli kehitettiin ennen monikiteistä paneelia. Kaikista kehittyneimmäksi tekniikaksi on noussut yksikiteinen piipaneeli. Se on samalla myös kaikista vanhinta tekniikkaa, jolloin sitä on pystytty kehittämään pisimpään. Yksikiteinen ja monikiteinen piipaneeli valmistetaan hiukan eri tavoin. Paneelien valmistustapa vaikuttaa hiukan kustannuksiin. Yksikiteisellä piipaneelilla on suuremmat valmistuskustannukset ja suurempi hyötysuhde kuin monikiteisellä piipaneelilla. Kuitenkin monikiteinen piipaneeli on yleisempi pientuotannon voimaloissa. [5]

Kehittyneempiä ovat toisen sukupolven paneelit, jotka ovat rakenteeltaan ohutkalvokennoja [8]. Sekä ensimmäisen ja toisen sukupolven paneelit perustuvat pn-liitokseen ja valosähköiseen ilmiöön. Ohutkalvokennoja on käytössä useissa sovelluksissa esimerkiksi parvekelaseissa ja kaiteiden lasituksessa [9]. Ohutkalvokennon valmistaminen on ympäristöystävällisempää ja kustannustehokkaampaa kuin perinteisen kennoratkaisu. Kenno valmistetaan lisäämällä lasiin ohut sähköä johtava kerros. [8] Tällöin kenno voidaan integroida useisiin materiaaleihin, kuten lasiin ja muoviin. Ohutkalvotekniikalla valmistettu paneeli saadaan lähes läpinäkyväksi. Ohutkalvopaneeleita pystytään valmistamaan usealla eri tekniikalla [8]. Ohutkalvopaneelien negatiivisena ominaisuutena voidaan mainita niiden matalahko hyötysuhde. Niiden hyötysuhde on 9–11 prosenttia. [5] Ohutkalvoteknologialla saadaan kerättyä vähän paremmin auringon hajasäteilyä kuin ensimmäisen sukupolven piipaneelilla. Aurinkopaneelin keräämä kokonaissäteily muodostuu suorasta auringon säteilystä sekä hajasäteilystä. Hajasäteilyä tulee esimerkiksi pilvistä heijastumalla, maasta/ katoista heijastumalla ja muista kohteista heijastumalla. [5]

Kolmannen sukupolven paneelit ovat lähes kokonaan tutkimusasteella. Esimerkkinä kolmannen sukupolven paneelista voidaan mainita nanokidekennot. [5] Näissä kolmannen sukupolven paneeleissa ei ole pn-liitokseen perustuvaa sähkökenttää, vaan elektronien liike perustuu kemialliseen reaktioon.

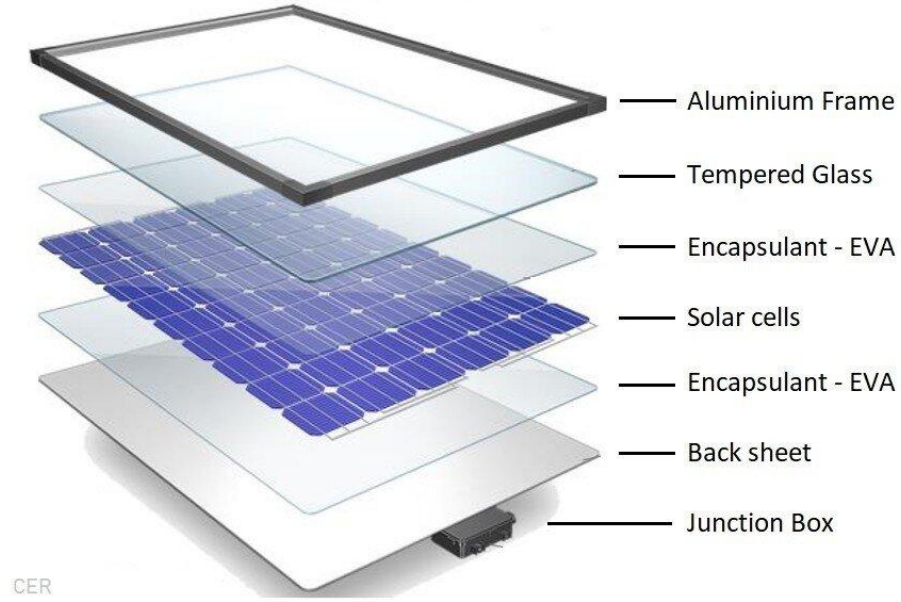
2.2 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkopaneelit keräävät auringon säteilyä ja muuttavat sen sähköenergiaksi. Prosessi alkaa silloin, kun auringon valoa osuu paneelin pintaan ja aurinkosähköiset solut muuttavat sen energiaksi. Tämä perustuu valosähköiseen ilmiöön. [5] Auringon säteily koostuu fotoneista. Nämä fotonit osuvat paneelin pn-liitokseen, kun fotonit osuvat paneelin pintaan, negatiiviseesti varautuneet elektronit irtoavat atomeistaan ja energia alkaa virrata vapaasti. [10] Tällöin negatiivisten elektronien jälkeensä jättämät aukot muodostavat syntyvän sähkökentän yhdessä elektronien kanssa. [10] Aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa tasavirtaa, joka on tarpeen muuttaa vaihtovirraksi siihen tarkoitetulla vaihtosuuntaajalla eli invertterillä. Invertteriin syötetään aurinkopaneelien tuottamaa tasavirtaaja ja sieltä saadaan vaihtovirtaa. Riippuu invertteristä, onko tämä saatu energia 1- vai 3-vaiheista. Nykyisin käytetään monissa tapauksissa 3-vaiheisia invertereitä.

2.3 Aurinkovoimalan ja paneelin pääkomponentit

Aurinkovoimalassa on kolme pääkomponenttia. Nämä ovat aurinkopaneelit itse, paneelien kiinnitystarvikkeet ja invertteri. Lisäksi tarvitaan myös apukomponentteja, joita ovat turvakytkimet, vikavirtasuojakytkimet, paneelien välinen ja lopulta invertteriin menevä DC-kaapelointi, paneelien potentiaalintasaus kiinnitettynä talon suojajohtimeen ja aurinkosähköjärjestelmän merkintä varoitustarroin. [11] Aurinkopaneelit jaetaan yleensä yhteen tai useampaan paneeliketjuun. Aurinkopaneelit kytketään sähköisessä mielessä sarjaan. [11] Tällä saavutetaan korkeampi jännite, joka parantaa energiatehokkuutta. Tällöin tarvitaan pienempi virta saman tehon aikaansaamiseksi. [12] Huonoina puolina sarjaan kytkennällä on herkkyys varjostukselle ja yksittäisen paneelin suorituskyvylle. [12]

Aurinkopaneelin rakenteen muodostuminen on kuvatta alla kuvassa 1.



Kuva 1. Aurinkopaneelin rakenne [13]

Kuvaan 1. on eritelty vielä näkyviin aurinkopaneelin rakenne. Aurinkopaneeli koostuu 6:sta pääkomponentista. Aurinkopaneelin lasilla on suuri merkitys, sen tarkoituksena on suojata aurinkokennoja ympäristöolosuhteilta. Lisäksi sillä on rooli valon keräämisessä ja välittämisessä. Aurinkopaneelin lasin tärkeimpiä ominaisuuksia on muun muassa laaja spektrin talteenotto, erinomainen valonläpäisykyky ja vankka iskunkestävyys. Aurinkopaneelin lasiin on erilaisia pinnoitteita, joiden tehtävänä on pitää lasi paremmin puhtaana. Toinen pääkomponentti on kapselointikalvo. Sen tärkeimpiä tehtäviä on kennojen suojaus. Kalvolta vaaditaan hyvää läpinäkyvyyttä ja säänkestävyyttä. Myös kalvo eristää veden ja suojaa paneelia kosteudelta ja korroosiolta. Yleisesti käytössä olevia kalvoja on kolme. Nämä ovat EVA eli etyleeni-vintyyliasetaatti-kalvo, POE eli polyolefiinielastomeeri-kalvo ja EPE eli koekstruudattu-kalvo. Kolmantena on aurinkopaneelin sydän eli aurinkokennot. Neljäntenä komponenttina on takalasi. Sitä käytetään suojaamaan aurinkokennoa ympäristön vaikutuksilta. Taustalevyn väreinä käytetään yleensä valkoista, mustaa ja läpinäkyvää. Viidentenä osana on aurinkopaneelin kehys, se on yleisesti alumiinia. Kehys antaa paneelille rakenteellista tukea ja suojaa paneelin reunoja kolhuilta ja kulumiselta. Viimeisenä osana voidaan pitää paneelin kytkentäkoteloa. Sen kautta saadaan siirrettyä paneelien tuottama virta invertterille. [13]

Invertteri eli vaihtosuuntaaja on laite, joka muuttaa aurinkopaneelinen tuottaman tasasähkön verkon vaihtosähköksi. Sen avulla kytketään aurinkopaneelit kiinteistön sähköverkkoon. Invertteri mahdollistaa itsetuotetun sähkön käytön sekä ylijäämäsähkön

myynnin verkkoon. Invertterillä on tärkeitä ominaisuuksia. Niistä tärkein on muuntaa sähköä hyvällä hyötysuhteella ja turvallisesti. Muita ominaisuuksia sille ovat muun muassa yhdistää siihen sopiva määrä aurinkopaneeleita, kestää mahdollisimman kauan toimintakuntoisena ja olla sähkö- ja paloturvallinen. Yleisesti invertteriin pystyy kytkemään noin 1,5 kertaisesti paneelitehoa, mutta invertteri leikkaa tuotannon nimellistehonsa suuruiseksi. Invertteri valmistajat yleisesti määrittää, että paneelitehoa voidaan laittaa 1,5 kertaisesti nimellistehoonsa nähden. [14] Verkkoinvertterin hyötysuhde on tyypillisesti 95–98 %. [26] On olemassa muutamia erityyppisiä invertereitä. String-invertterissä paneelit kytketään yhteen tai muutamaan ketjuun ja sitten invertteriin. Toinen invertterityyppi on mikroinvertteri. Tämä edustaa hajautettua tekniikkaa, siinä yhdistetään vain 1–2 paneelia samaan invertteriin. Tässä haittapuoleksi tulee korkeat yksikkökustannukset ja potentiaalisesti suuri huoltokohteiden määrä. Hyvinä puolina varjostukset ja muiden paneelien suorituskyky vaikuttaa vähemmän. Kolmas invertteri tekniikka on DC-optimoija. Tämä edustaan mikroinvertterin ja string-invertterin välimuotoa. Tällä tekniikalla saavutetaan samat edut kuin mikroinvertterillä, kustannukset pysyvät alemmalla tasolla. [15]

Kiinnitysteline on tärkeä osa aurinkosähköjärjestelmää. Tämä on tärkeässä roolissa, koska paneelien tarvitsee pysyä paikallaan, vahingoittamatta alla olevia rakenteita tai paneelia itseään. Yleisesti kiinnitysjärjestelmä pitää paneelit paikallaan lappeen mukaisesti. Yleisesti on käytetty 1-tai 2-kerrostelinettä. Materiaalina näissä on ruostumaton teräs (A2) tai alumiini. Yksikerrosteline on yksinkertainen ja edullinen. Kaksikerrosteline on 1-kerrostelinettä tukevampi rakenteeltaan. Tässä rakentamistavassa menee enemmän materiaalia, niin myös hinta on korkeampi. Toisaalta paneelien alle jää enemmän tuuletustilaa, joka parantaa paneelien tuotantoa. Korkeampi tuotanto muodostuu, kun paneelien alle jää tilaa, joka viilentää paneeleita ja mahdollistaa korkeamman tuotannon. [16]

2.4 Aurinkovoimalan asennus ja tuotantoon vaikuttavat tekijät

Aurinkopaneelien asennuksessa yleensä katon lappeen suunta määrittää, mihin suuntaan paneeli asennetaan. Jos paneelien suunnan pääsee vapaasti valitsemaan, niin vuositasolla etelään suunnattu paneeli tuottaa kaikista eniten. Asennuksessa on myös tärkeää, että tila mihin ne asennetaan, on varjoton. Tällainen tila löytyy yleisesti helpoiten katolta. [17]

Suomessa paras vuosituotanto saavutetaan, kun paneelit asennetaan noin 40–50 asteen kulmassa suoraan etelään, optimaalisen asennuskulman suuruus kuitenkin riippuu

maantieteellisestä sijainnista. Aamuaurinkoa pystytään hyödyntämään asentamalla paneelit itään päin. Tällöin tuotanto on kuitenkin noin 25 % pienempi, kun suoralla etelään suunnatulla paneelilla. Ilta-aurinkoa hyödyntävän kannattaa asentaa paneelit länteen päin, silloinkin tuotanto on noin 25 % pienempi kuin etelään asennetuilla. Väli-ilmansuunnilla kaakko ja lounas päästään lähes etelän tasoiseen tuotantoon, joka jää vain noin 7 %:n päähän etelän tuotannosta. Pohjoiseen, koilliseen ja luoteeseen päin ei kannata asentaa aurinkopaneeleita niiden heikon tuotannon takia. [17]

Lämpötilan muutokset vaikuttavat aurinkopaneelin suorituskykykyyn. Aurinkopaneelit testataan standardiolosuhteiden perusteella kennojen lämpötilan ollessa 25 astetta, säteilyvoimakkuuden $1000\ \mathrm{w/m^2}$ sekä ilmamassan ollessa 1,5. Aurinkopaneelien kennot lämpenevät ympäröivää olosuhdetta nopeammin, jolloin kennon lämpötila voi olla jopa 20–30 astetta kuumempi kuin ympäristön lämpötila. Tähän kuitenkin vaikuttaa asennustapa, siten että pääseekö tuuli jäähdyttämään kennoja. Kaksipuoleiselle paneelille on muuten samat testiolosuhteet, mutta taustapuolelle lisätään $135\ w/m^2$ taustasäteilyä. [18] Riippuen teknologiasta mitä käytetään aurinkopaneelissa, lämpötilan vaikutus on 0,22–0,38 % per asteen nousu paneelin nimellistehosta. Lämpötilakertoimen vaikutus lämpötilan noususta johtuen on negatiivista eli laskee paneelin suorituskykyä. Lämpötilakerroin on usein unohdettu, mutta tärkeä komponentti paneelin suorituskyvyn kannalta. Usein ei huomioida lämpötilan vaikutusta paneelin suorituskykyyn. [18] Otetaan esimerkiksi 380 Wp paneeli kesäisessä 25 asteen lämpötilassa tuottaa 336–354-W riippuen paneelin teknologiasta.

3. SÄHKÖAUTON LATAUS

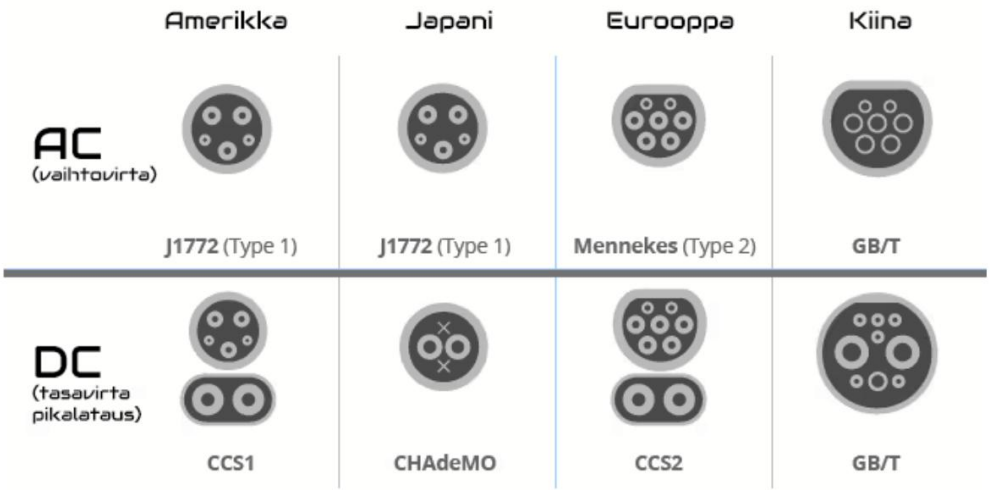
Mediassa usein pelotellaan vaikealla sähköauton latauksella. Etenkin julkisen latauksen palvelun tarjoajia on useita. Näitä ovat esimerkiksi ABC- lataus, K-lataus, Fortum Charge & Drive, Neste ja St1. Yleisesti jokaisen palveluntarjoajan palveluun täytyy rekisteröityä, syöttää luottokortin tiedot ja hyväksyä palveluehdot. Ennen latauksen käynnistämistä menikin helposti 10 minuuttia. Toisella kerralla menee vain muutama minuutti, kun tilit ovat jo valmiina. RFID- tunnisteella ladattaessa latauksen aloitus on vieläkin nopeampaa. Onneksi nykyään lähimaksaminen on yleistynyt latausasemilla. Palveluntarjoajista ainakin Nesteen ja St1:n latauskentillä on mahdollista maksaa pankkikortin lähimaksulla.

Kotona omakotitalossa lataaminen on onneksi helppoa. Kotiin tultaessa laitetaan latausjohto autoon kiinni ja auto latautuu helposti yön aikana täyteen. Tällöin seuraavana päivänä voi lähteä taas täydellä akulla. Kerros- ja rivitalossa kotona lataus on haastavampaa, koska taloyhtiö vaikuttaa, saako ladata vai ei. Taloyhtiön tapauksessa voidaan joutua suurentamaan liittymää jo muutaman lämmitystolpan lisäämistä varten. Nykyaikaisessa taloyhtiössä on onneksi asennettu sähköauton latausasemia ja valmiutta asentaa niitä tulevaisuudessa.

3.1 Lataus

Lataus voidaan jakaa vaihtovirtaan (AC) ja tasavirtaan (DC) lataukseen. AC-latausta käytetään kodeissa ja DC-latausta kauppojen ja huoltoasemien pihassa. DC-latauksen hankintakustannukset ovat huomattavasti suurempia kuin AC-latauksen, jonka takia DC-latausta käytetään yleisesti vain julkisissa latauslaitteissa. Tasa- ja vaihtovirtalatauksessa käytetään erilaisia liittimiä. DC latauksessa yleisimmät ovat CCS2 ja CHAdeMO, joista CCS2 on Euroopassa huomattavasti yleisempi. [19] Käytännössä kaikissa Euroopassa myydyistä uusissa autoissa on CCS2 latausliitäntä. Amerikassa käytettävä pikalatausstandardi on CCS1, se on melkein samanlainen kuin CCS2, mutta siihen on vaihdettu type-1 pistokkeen yläosa. Kiinassa yleisesti pikalataus standardina käytetään GB/T liitäntää. [19]

Sähköautojen alkaessa yleistyä, niissä saatettiin käyttää Type-1 liitäntää. Se on nykyisissä autotoista vaihtunut Type-2 liitäntää, jonka on yleisemmin käytetty pistoketyyppi Euroopassa. [19] Kuvassa 2. on esitetty sähköautojen latauspistokkeiden eri tyypit.



Kuva 2. Kuvassa sähköauton latausstandardit ja niiden pistokkeen muoto [19]

3.2 Kuormanhallinta ja sen ominaisuudet

Sähköauton lataus täydellä 11 kW teholla on aika suuri verrattuna tyypilliseen sulakekokoon, joka on omakotitalossa tyypillisesti 3x25A. Kun kustannuksia halutaan minimoida, on järkevää, ettei sulakekokoa kasvateta turhaan. Jos sulakkeet palavat usein, niin silloin kannattaa harkita dynaamista kuormanhallintaa sulakkeiden korotuksen sijasta. Kuormanhallinta toimii aina samalla periaatteella, mutta siihen on olemassa erilaisia variaatioita. Nämä variaatiot ovat langallinen, langaton ja HAN-portin kuormanhallinta. Kaikista vanhanaikaisin toteutustapa on langallinen asennus. Tässä tavassa yleensä asennetaan sähkökeskukseen energiamittari ja vedetään latausasemalle datakaapeli. Useimmiten nykypäivänä käytetään langatonta dynaamista kuormanhallintaa, kuten Go-e Controller, joka asennetaan kiinteistön sähkökeskukseen. Kaikista uusin tapa luoda dynaaminen kuormanhallinta, on kuormanhallinnan toteuttaminen sähköenergiamittarista. Tässä tavassa luetaan mittarin HAN-portista tietoa 10 s välein. Tätä porttia pystyy myös hyödyntämään laajalti kotiautomaatiojärjestelmissä. [20]

Dynaamisen kuormanhallinnan ideana on suojella pääsulakkeita palamiselta ja taata maksimaalinen sähkön saanti auton laturille [20]. Usein tavallisessa omakotitalossa on 3x25A pääsulakkeet. Jos autonlaturi maksimiteholla, eli 3x16A, tällöin muuhun käyttöön ei jää kuin 3x9A. Pelkästään esimerkiksi pesukone aiheuttaa niin suuren virran yhteen vaiheeseen että 25 A ylittyy. Tällaisessa tilanteessa dynaaminen kuormanhallinta rajoittaa automaattisesti latausvirtaa. Kun talossa ei ole muuta kuormaa, auto saa tällöin mak-

simaalisen tehon. Vaikka auton tehoa jouduttaisiin kuormanhallinnan toimesta rajoittamaan, auto ehtii kuitenkin yön aikana lataantua. Yöllä on harvemmin kotitaloudessa paljoa kulutusta, että auton lataustehoa joutuisi silloin rajoittamaan.

Hankkiessa älykkään sähköauton latauslaitteen, kuten Go-e Gemini, saa käyttöönsä monia hyviä ominaisuuksia. Yhdessä Go-e Controllerin kanssa toimii dynaaminen kuormanhallinta hyvin, lisäksi pystyy hyödyntämään aurinkosähkön ylijäämän lataamista esimerkiksi sähköautoon. Go-e Controlleriin pystyy yhdistämään myös akun, jota voi käyttää aurinkosähkön ylijäämän säilytyspaikkana. Tällaisella älykkäällä latauslaitteella saadaan ajoitettua myös pörssisähkön hinnanseuranta ja lataus silloin kun energia on edullista. [19] Kuorman tehoa pystyy myös rajoittamaan 1,4–11 kW teholle ja ajastamaan latauksen tiettyyn aikaan. Lisäksi laturille pystyy kertomaan kuinka paljon energiaa pitää olla tiettyyn kellon aikaan mennessä ladattuna, tällöin laturi päättää itse mihin aikaan lataus kannattaa aloittaa.

Latausstandardien lisäksi voidaan puhua erilaisista lataustavoista. Näitä lataustapoja on neljä [21]. Nämä ovat Mode 1, 2, 3, ja 4. Mode 1-lataustapaa ei käytetä sähköautojen eikä plug-in-hybridien lataamiseen. Sillä ladataan kevyitä kulkupelejä, kuten sähköpolkupyöriä ja sähköskoottereita. [21] Tätä lataustapaa ei ole tarpeellista käsitellä tämän enempää, koska työ on rajattu sähköautoihin ja pientaloihin.

3.3 Mode 2-Sukolataus

Mode-2 lataustavassa autoa ladataan suko-laturilla, eli laturin toinen pää laitetaan tavalliseen pistorasiaan ja toisessa päässä on autoon sopiva Type-2 latauspää. Tämän lataustavan kanssa pitää olla tarkkana virran suuruuden kanssa, ettei lataa liian suurella virralla liian pitkään. Tavalliset pistorasiat eivät kestä tunteja jatkuvaa latausta isolla virralla. Tämä liittyy latauksen aiheuttamaan lämpöön. Suurella virralla lataus aiheuttaa lämpenemistä ja sulamisriksiä kaapeleissa ja pistokkeessa. Yleensä tällaiset laturit ovat rajoitettu 8 A:n virtaan. Myös sukopistoke on tuettava siten, ettei siihen kohdistu välitöntä vetoa [19]. Type-2 liitin lukittuu autoon latauksen alkaessa. Kuitenkaan sukopistorasiaan laitettava pistoke ei lukitu. Tätä lataustapaa on tarkoitettu käytettäväksi vain väliaikaisesti eikä jokapäiväisessä käytössä. Jokapäiväiseen käyttöön olisi suositeltavaa hankkia Mode 3- luokan latausasema.

3.4 Mode-3 - Peruslataus

Tämä on kaikista suositeltavin lataustapa kaikille sähköautoille ja plug-in-hybrideille. Tässä lataustavassa ladataan yleensä kiinteästä latausasemasta. Tällä lataustavalla lataaminen on helppoa, melko nopeaa ja turvallista. Tässä käytetään vain type-2 pistokkeita ja jolloin pystytään varmistamaan, että käytetyissä kaapeleissa riittävät virtaominaisuudet. Myös tässä lataustavassa tarvitaan 30 mA:n B-tyypin vikavirtakatkaisijaa. [21] Tällöin pystytään takaaman, että lataaminen on turvallista. Vikavirtakatkaisijan tarkoitus on katkaista virta vikatilanteessa. Se katkaisee virran silloin, kun virtaa vuotaa ympäristöön enemmän kuin vikavirtakatkaisijan nimellisarvo on. Tällöin osa virrasta ei palaa takaisin nollajohdinta pitkin. Tällaisessa tilanteessa johdin on usein vaurioittunut. Tässä lataustavassa kaapelin molemmat päät lukittuvat toinen autoon ja toinen latausasemaan, ellei latausasemassa ole kiinteää kaapelia [19]. Kaapelin lukittumista ohjataan Proximity pilot (PP) nimisen liittimen kautta. Tämän avulla varmistetaan, että kaapelin lukitus on onnistunut. Auton ja latausaseman välillä kulkee tiedonsiirtokanava. Control Pilotin (CP) kautta liikkuu tietoa latauslaitteen ja auton välillä. Tällä kanavalla pystytään varmistamaan turvallinen lataus kaikille osapuolille. Tällöin kaapelia ei saa irti kytkettyä, kuin vasta silloin kun kaapelissa ei kulje virtaa eikä jännitettä. [22]

3.5 Mode- 4 - Pikalataus

Mode-4 lataus tunnetaan paremmin nimellä pikalataus tai suurteholataus [19]. Tässä käytetään tasavirtaa eli DC- muotoista jännitettä. Laturissa on aina kiinteä johto. Laturin teho voi nousta jopa 400 kW:iin. Tällä lataustavalla käytetään kahta eri jännitetasoa ja ne vaikuttavat myös latauksen nopeuteen. Nämä tasot ovat 400V ja 800V [23]. Nykyisin lähes kaikki asennettavat pikalaturit ovat 800V, nämä kuiteinkin tukevat 400V:n tekniikkaa myös.

Auto ja laturi keskustelevat tässä lataustavassa huomattavasti enemmän kuin aikaisemmin läpikäydyissä. Tietoa auton ja laturin välillä siirtyy Control Pilotin (CP) kautta. Control pilotin käyttämä jännite muoto on matala jännitteinen kanttiaalto. Tämän kautta auto kertoo laturille esimerkiksi maksimilataustehon, millä pystyy virtaa ottamaan vastaa, akun varaustilanteen, akun jännitteen ja lämpötilan. Autoilijan liittäessä latauskaapelin autoon, se lukittuu kiinni autoon eikä silloin enää pysty ajamaan. Seuraavassa vaiheessa auto ja latauslaite sopivat jännite- ja virtarajoista. Jos yhteensopivuudessa on ongelma silloin, lataustapahtuma katkeaa turvallisuussyistä. Sen jälkeen auto ilmoittaa olevansa val-

miina lataukseen. Tällöin auto tarkistaa kaapelin lukituksen ja tarkastaa tasasähköjohtimien eristyksen. Jos auton eristysmittauksen mukaan johtimet ovat kunnossa, silloin auto pyytää haluamansa testivirran maksimissaan kahden ampeerin virralla. Tässä vaiheessa auto estää energian pääsyn akustolle ja mittaa jännitettä, kun latauslaite nostaa jännitettä. Latauslaitteen ja auton akuston välinen jännite-eron ollessa enintään 20 volttia, auto yhdistää sähkön syötön akustolle. Sen jälkeen auto pyytää latauslaitteelta tehonsiirtoa ja kertoo latauslaitteelle haluamansa tehomäärän. Näiden vaihteiden jälkeen lataus viimein käynnistyy. Tätä latauslaitteen ja auton keskenään käymää tiedonvaihtoa kutsutaan kättelyksi. Kättely kestää jokaisessa lataus tapahtumassa eri ajan, mutta yleisesti alle 60 sekuntia. [22]

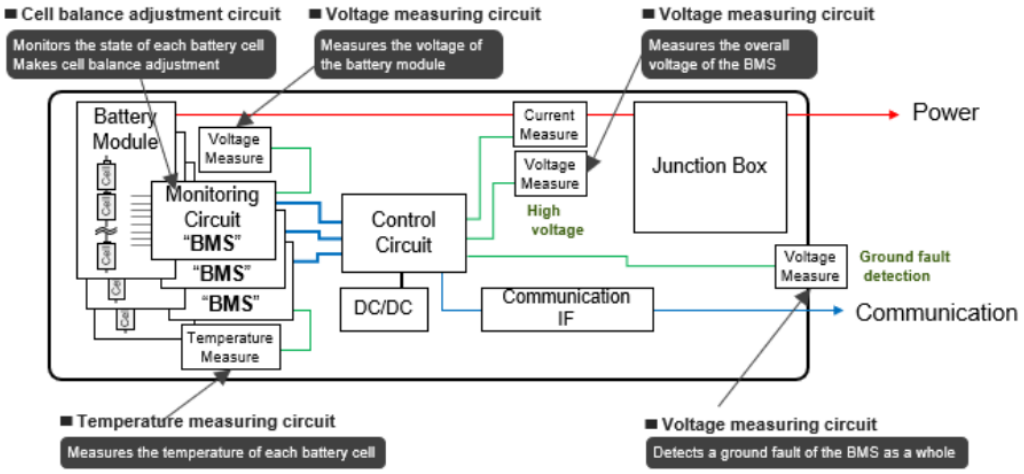
3.6 Lataustehon vaikutus latausaikaan

Eri latausnopeuksilla saa eri määrän toimintamatkaa samassa ajassa. Yleisesti Mode-2 lataustavan 8 A:n virralla saa 10 km toimintamatkaa tunnin latauksella. Mode-3 lataustavalla vastaavalla virtamäärällä saadaan noin 30 km toimintamatkaa tunnin latauksella. Kun latauslaite on täydellä teholla, saadaan tyypillisesti noin 60 km toimintamatkaa tunnin latauksella. Autonlataustehoon vaikuttaa Mode-3-luokan laitteilla myös auton sisäisen laturin teho. Yleisesti täyssähköautoissa käytetään kolmivaihelaturia, kuitenkin joitakin poikkeuksia on olemassa. Ennen ladattavissa hybrideissä käytettiin yksi- tai kaksivaihelatausta, mutta nyt uudemmissa ladattavissa hybrideissäkin on jo kolmivaihelataus, yleensä 11 kW maksimiteholla. Sähköautoilla käytetään sisäisenä laturina 11 kW sekä 22 kW latureita. Näistä jälkimmäinen on huomattavasti harvinaisempi. Mode-4 lataustavalla erittäin moni muuttuja vaikuttaa siihen, kuinka paljon saadaan lisää toimintamatkaa. Näitä tekijöitä, jotka vaikuttavat on auton latauskäyrä, akun lämpötila, akun varaustila ja tietenkin kuinka paljon lataustolpasta saa tehoa irti. Lisäksi latauskentällä saattaa olla myös muita autoilijoita lataamassa ja tämä saattaa rajoittaa hiukan lataustehoa, jos kentän kapasiteetti on pieni. Esimerkiksi 800 V jännitetasoa käyttävä Audi ilmoittaa Q6 e-tronin 10–80 % latausväliksi 21 min, jolloin keskiteho on kunnioitettavat 190 kW. Keskiteholla laskettuna minuutissa tulee 16–18 km lisää toimintamatkaa, kun käytetään Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure (WLTP) kulutusta. Audin akun kapasiteetti on 94,9 kWh. [24] Vastaavasti 400 V jännitetasoa käyttävä Volkswagen ilmoittaa ID.4 GTX:n 10–80 %:n latausajaksi 28 min, jolloin keskiteho on 116 kW. Keskiteholla laskettuna minuutissa tulee keskimäärin 11 km lisää toimintaa, kun käytetään kulutuksena WLTP kulutusta. Tässä autossa on 77 kWh:n akku. [25]

3.7 Akun teoriaa

Sähköautoissa käytetään useita erilaisia akkutekniikoita. Perinteisesti käytössä on ollut NMC akku eli Litiumnikkelimagnaanikobolttioksidiakku. Tässä anodi on grafiittia. Tällä akkukemialla ollaan perinteisesti saavutetut parhaat ominaisuudet sähköauto käyttöön. Nykyään sähköautoihin on myös saapunut uudella akkukemialla kehitettyjä akkuja. Nämä ovat niin kutsuttuja ”rauta-akkuja” eli LFP-akkuja. Nämä ovat litium-rautafosfaatti akkuja. Tässä akkutyypissä katodimateriaali on litiumrautafosfaattia aikaisemmin käytetyn litiummetallioksidin sijaan. Tämän akkuna hyvänä puolena on, että tätä pidetään turvallisempana vaihtoehtona kuin NMC-akkua. Negatiivisena puolena on akun korkeampi paino, joka johtuu matalammasta energiatiheydestä verrattuna NMC-akkuun. [26]

Sähköauton akku valmistetaan useista tuhansista kennoista. Kennon jännite on yleisesti sähköautoissa käytettävissä kennoissa 3,2–3,7V. Kennot yleensä kytketään sarjaan, jolloin muodostuu moduuleita. [26] Akun lämpötilaa ja kennojen varausta tarvitsee hallita. Tällöin BMS eli battery managment system on tarpeellinen. BMS valvoo akun kennojen suorituskykyä yksilökohtaisesti ja poistaa niistä mahdolliset yksittäiset vaihtelut, jotta kennot toimivat yhdenmukaisesti [27]. Tämä tarkoittaa käytännössä kennojen varaustilan pitämistä samana. Tämä toteutetaan kuluttamalla enemmän energiaa olevista kennoista pois vastusten avulla. Tämä on toimintatapana halpa, mutta siinä menee energiaa hukkaa. Toinen tekniikka on ladata tyhjempiä kennoja energialla, joka otetaan täydemmistä kennoista. Tämä tekniikka on toteuttamiseltaan kalliimpi, mutta energiaa ei mene niin paljoa hukkaan. BMS mittaa kennoista, jännitettä, lämpötilaa sekä virtaa molemmin päin paljon ladataan tai kulutetaan. Lisäksi BMS mittaa kuinka paljon akussa on varaustilaa jäljellä. Kennojen jännite laskee sitä mukaan, kun kenno tyhjenee. Kennon jännitekäyrästä voidaan arvioida akun varaustilaa. [27]



Kuva 3. BMS: piirin toiminta [27]

Yläpuolella olevassa kuvassa on esitetty BMS-järjestelmän toimintaa. Kuvasta nähdään, kuinka akuston hallintajärjestelmä rakenteellisesti muodostuu. BMS valvoo akun kennojen jännitettä ja mitta akkukennojen lämpötiloja. Kennon tasapainotuspiiri tasapainottaa kennojen varaustilaa. On tärkeää, että kennoja ladataan ja puretaan tasaisesti. Kennojännite-erot pyritään pitämään mahdollisimman pieninä. Myös moduulin jännitettä, joka muodostuu useista kennoista mitattaan. Lisäksi mitataan koko BMS:n ulostulojännitettä. Tärkeässä osassa turvallisuutta on tunnistaa mahdolliset eristeviat akussa. Tämä on toteutettu jännitemittauksella. Keskellä kuvaa on BMS:n ohjausyksikkö se käsittelee mittausdataa ja ohjaa toimintaa mittausten perusteella. [27]

4. ENERGIAYHTEISÖ

Energiayhteisöt muodostuvat energiamuotojen ympärille (kaasu, sähkö, lämpö ja polttoaineet). Energiamuodoista tässä kuitenkin keskitytään vain sähköön. Energiayhteisöt tuovat kuluttajan uudella tavalla osaksi energiamarkkinoita. Energiayhteisön perusideana on energia omavaraisuuden kasvattaminen ja siten taloudellisen hyödyn tavoitteleminen. Energiayhteisössä tavallisesti investoidaan yhdessä isompaan järjestelmään niin tällöin yksikkökustannukset saadaan laskettua matalammalle tasolle. Taloyhtiöt ovat nousemassa merkittäväksi tekijäksi energiayhteisöissä. Niissä on ennalta jo opittu koordinoimaan erilaisia projekteja sekä yhteistä omaisuutta. Energiayhteisöjä on kolmea eri tyyppiä, joita tarkastellaan seuraavaksi. [28]

4.1 Kiinteistön sisäinen energiayhteisö

Kiinteistön sisäisen verkon mallissa sähkön tuotantolaitos/varasto sijaitsee kiinteistön alueella ja myös energiayhteisön jäsenet sijaitsevat samalla kiinteistöllä tai sitä vastaavalla kiinteistö ryhmällä. Sähkön jakamisperusteen mukaan valitaan toteutusvaihtoehto. Näitä vaihtoehtoja ovat hyvityslaskennalla toteutettu energiayhteisö, joita ovat paikallinen energiayhteisö ja aktiivisten asiakkaiden ryhmä. Toinen toteutustapa on takamittarointi. Tässä toteutustavassa ei käytetä hyvityslaskentaa. [29]

Hyvityslaskenta tuli mahdolliseksi vuoden 2021 alusta tulleen laki muutoksen seurauksesta. Ideana hyvityslaskelmassa on, että sähkö hyödynnetään kokonaan siinä käyttöpaikassa missä se on tuotettu. Mikäli kiinteistö ei kuluta kaikkea tuottamaansa sähköä se jyvitetään muille sähkönkäyttöpaikoille ennalta sovittujen jako-osuuksien mukaan. Jos käytössä ei olisi hyvityslaskelmaa kiinteistön sähkönkulutuksen ylittämä sähkö myyntäisiin spot-hinnan mukaisesti. Hyvityslaskennan ansiosta voidaan tehdä entistä suurempia voimaloita, ilman että sähköverkkoon myytävän sähkön osuus kasvaa. Hyvityslaskennassa käytetään sähköverkkoyhtiön sähkömittareita, jolloin mittareihinkaan ei tarvitse tehdä muutoksia. Energiayhteisössä jäsenet sekä niiden prosenttiosuudet ovat energia yhteisön tiedoissa ja ne hyvityslaskentaan datahub-palvelussa. [29]

Hyvityslaskennan käytössä on kuitenkin muutamia rajoitteita. Niitä ovat esimerkiksi energiayhteisön sähkönkäyttöpaikkojen tarvitsee olla liitetty sähkön jakeluverkkoon samalla liittymällä. Myös yksittäinen käyttöpaikka voi osallistua vain yhteen energiayhteisöön, joka hyödyntää hyvityslaskentaa. Siirtoverkkoyhtiön vastuulla on varmistaa, että sähkön käyttöpaikat sijaitsevat ilmoitetusti samassa liittymässä. [29]

Energiayhteisöllä on myös velvollisuuksia. Sen tarvitsee ylläpitää yhteisöön liittyviä tietoja ja ilmoittaa muutoksista verkonhaltijalle. Verkonhaltijan vastuulla on myös ylläpitää energiayhteisön tietoja datahub-palvelussa. Hyvityslaskentaa hyödyntävät tahot voidaan jakaa kahteen eli paikalliseen energiayhteisöön ja aktiivisten asiakkaiden ryhmiin. [29]

Paikallisen energiayhteisön jäsenet tai osakkaat voivat olla luonnollisia henkilöitä, kuntia tai yrityksiä. Tämä edellyttää kuitenkin, että näiden sähkönkäyttöpaikat sijaitsevat samalla kiinteistöllä ja ne ovat liitetty samalla sähköliittymällä paikalliseen jakeluverkkoon. Esimerkiksi kerrostalossa tämänlainen menetelmä olisi asukkaiden kannalta hyvä. Energiayhteisön on rekisteröidyttävä paikalliselle sähköverkkoyhtiölle. [29]

Aktiivisten asiakkaiden ryhmään kuuluvat voivat olla kuluttaja- ja yritysasiakkaita. Tässäkin tapauksessa sähkönkäyttö paikka tulee sijaita samalla kiinteistöllä ja tulee olla liittyneenä samalla liittymällä verkonhaltijan sähköverkkoon. Suurin ja keskeisin ero paikalliseen energiayhteisöön on, että aktiivisten asiakkaiden ryhmä eivät toimi oikeushenkilöiden kautta, vaan he määrittävät itse perustamissopimuksessa vastuut ja velvollisuudet. [29]

Viimeinen muoto on takamittarointi. Tässä ei käytetä hyvityslaskentaa. Kiinteistö omistaa tässä tapauksessa vain yhden sähkömittarin, joka mittaa koko sähköliittymän kulutusta. Kiinteistöä hallitseva taho esimerkiksi asunto-osakeyhtiö vastaa sähkön laskutuksesta. Tässä jokaisen asunnon omistajan ei tarvitse tehdä sähkösopimusta itse vaan päätetään yhteisesti hankkia vain yksisopimus. Tähän vaaditaan kaikkien osakkaiden päätös sekä yhtiökokouksen yksimielinen päätös. Lainsäädännön mukaan jokaisella osakkaalla täytyy kuitenkin olla mahdollisuus irrottautua takamittaroinista, jolloin takamittarointiin on hallinnollisesti haastavaa siirtyä. [29]

4.2 Kiinteistörajat ylittävä energiayhteisö

Kiinteistön rajat ylittävän energiayhteisön perustaminen on luvanvaraista toimintaa. Tähän on kuitenkin muutamia poikkeuksia. Monesti tuotantomahdollisuudet ovat paremmat jossain muualla kuin missä kulutus on. Sähkö tarvitsee siirtää erillisellä linjalla kulutuskohteeseen, tällöin sähkön siirrosta ei tarvitse maksaa siirtomaksua eikä yleensä veroja. Tällöin linjan tarvitsee olla oma ja sähkömarkkinalain mukaan jakeluverkon rakentaminen on sallittua, kun kyseessä on pienimuotoinen linja ja sillä liitetään sähköntuotantoa sähkönkäyttöpaikkaan tai sitä vastaavaan kiinteistöryhmän verkkoon. Tämä verkko ei saa olla yhteydessä paikalliseen jakeluverkkoon ja rakentajan tulee vastata sen turvalli-

suudesta, sähkönlaadusta ja muista luvista. Lisäksi verkon tarvitsee olla pienjännite alueella. Jos linjalla yhdistettäisiin tuotantoa useampaan kulutuspaikkaan pitää jokaisella kulutuspaikalla olla oma invertteri. Lisäksi tuotantolaitokset pitää olla fyysisesti erotettuna toisistaan. Esimerkiksi kahdella eri kiinteistöllä, joilla on omat sähköliittymät niin heillä ei voi olla yhteistä tuulimyllyä. Tuulimyllyä on mahdotonta jakaa fyysisesti eri osiin. Lisäksi kulutusta ja tuotantoa ei voida käyttää joustavasti, koska molemmilla pitäisi olla erilliset tuotantolaitteistot. Tällöin kannattaisi ajatella jonkin näköistä hyvitysmallia. [29]

4.3 Hajautettu eli virtuaalinen energiayhteisö

Virtuaalista energiayhteisö kutsutaan myös kuvaavammalla nimellä hajautettu energiayhteisö. Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne termiä hajautettu energiayhteisö. Tässä tuotanto ja kulutus voivat sijoittua eripuolille maata eri kiinteistöille. Silloin tuotanto ja kulutus yhdistetään toisiinsa siirtoverkkojen avulla. Eli tämä energiayhteisön muoto käyttää julkisia verkkoa, kun aikaisemmat käyttivät yksityistä verkkoa. Hajautetussa energiayhteisössä on pienin taloudellinen hyöty energiayhteisöistä. Tämä johtuu siitä, että kun käytetään siirtoverkkoja, joudutaan maksamaan verkkopalvelumaksu ja sähkövero. Tässä ei myöskään voi hyödyntää hyvityslaskentaa kuten aikaisemmissa menetelmissä. Hajautetun energiayhteisön etuja on mahdolliset sähkön tuotantoresurssien yhteishankinnat, jolloin yksittäiskustannus pienenee. Lainsäädännön puitteissa sähköyhtiön on mahdollista tarjota hajautettua energiayhteisöä palveluna. Sähköyhtiöitä ei kuitenkaan ole velvoitettu tähän. Hajautettuun järjestelmään voi liittyä ne kenellä on sähkösopimus kyseisen yhtiön kanssa. [29]

Naapuruston kanssa pystyy muodostamaan virtuaalisien energiayhteisön. Tämä ei ole yhtä kustannustehokasta kuin esimerkiksi kerrostalossa oleva. Tällöin naapureiden välillä pystyy ostamaan ja myymään itse tuotettua sähköä. Toisaalta siitä joutuu maksamaan myös siirtomaksun sekä veron.

4.4 Aurinkovoimalan säätely ja luvitus

Yleisesti aurinkovoimalat myydään kuluttajalle avaimet käteen periaatteella. Tällöin palvelun tarjoaja vastaa luvista ja aurinkovoimalan oikeasta ja sähköturvallisesta asentamisesta. Asennettavan järjestelmän inverterissä on oltava tekniikka, joka estää sähkön syöttämisen jakeluverkkoon mahdollisen sähkökatkoksen aikana. Aurinkosähköjärjestelmästä on laitettava siitä varoittava merkki sähköasennuksen liittymiskohtaan, energian

mittauskohtaan ja sähkökeskukseen. Asennustyön suorittaminen vaatii oikeutta sähkötöihin. Tämä vaadittava oikeus on S2 tässä tapauksessa. Järjestelmästä on tehtävä käyttöönottotarkastus. Siinä on laadittava kirjallinen tarkastuspöytäkirja. Se on urakoitsijan vakuutus, ettei asennettu järjestelmä aiheuta vaaraa ja se on kaikkien säädösten mukaan asennettu. Halutessaan kuluttaja pystyy tarkistamaan toimittajan oikeudet tehdä sähkötöitä. Tämän pystyy selvittämään näppärästi Tukesin toiminnanharjoittaja rekisteristä. Kuluttajan vastuulla on huolehtia, että aurinkopaneelit ovat ehjiä. Jos paneeli on rikkoutunut tai vaurioitunut se pitää korjauttaa. Jos korjaaminen ei ole mahdollista, se kannattaa poistaa käytöstä tai korvata uudella. Näin vältetään veden pääseminen sellaisiin paikkoihin, joihin sitä ei ole suunniteltu pääsevän. [30]

Tampereen kaupungin alueella aurinkovoimalan asentaminen ei pääsääntöisesti tarvitse rakennuslupaa. Tällainen voimala voi olla toteutettu joko aurinkokeräimin tai aurinkopaneelein. Ilman rakennuslupaa voimalan kuitenkin tarvitsee noudattaa tiettyjä ehtoja. Esimerkiksi paneelit on asennettava talon lappeen suuntaisesti yhtenäiseen suorakaiteeseen muotoiseen kokonaisuuteen. Lisäksi järjestelmä on suunniteltava ja huollettava pelastuslaitoksen laatiman aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeen mukaisesti. [31] Jos jostain näistä yllä mainituista ehdoista tahdotaan poiketa, täytyy sille hakea rakennuslupaa. Monissa muissa Suomen kaupungeissa on vastaavanlaiset käytännöt aurinkosähköjärjestelmän asennukselle.

5. HINTA-ANALYYSI

Suomessa sähkönhinta muodostuu kolmesta asiasta. Nämä ovat sähköenergian hinta, verkkopalvelumaksu sekä verot. [32] Kuluttaja-asiakas pystyy vaikuttamaan kilpailuttamalla sähköenergian hintaan, mutta verkkopalvelumaksuun ei pysty vaikuttamaan sillä siihen vaikuttaa, minkä verkkoyhtiön verkon alueella asuu. Sähkönsiirtoyhtiöt toimivat sähkönjakelussa luonnollisessa monopoliasemassa ja heidän hinnoittelua valvoo Energiavirasto. Energiavirasto on määritellyt jokaiselle valvontajaksolle kohtuullisen tuoton kriteerit ja niiden perusteella arvio sähköverkkoyhtiön hinnoittelua. Myöskään veroihin ei pysty vaikuttamaan. Toisaalta sähköveron suuruus on kaikille asiakkaille samansuuruinen toisin kuin sähkönsiirtomaksu. Järvi-Suomen energia toimii järvi Suomessa, pääosin Mikkelin ja Savonlinnan seudulla. Tämän siirtoyhtiön alueella tavallisen omakotitalon 25 A:n liittymän yleissiirron kuukausimaksu on 41,15 €/kk, tämän lisäksi sähkönsiirto on 4,76 snt/kWh [33]. Vastaavasti paikallisen sähköverkkoyhtiön hinnat ovat huomattavasti maltillisemmat. Tampereen Energian verkkopalveluhinnaston mukaan samanlaisen 25A liittymän perusmaksu on 5,33 €/kk ja siirtomaksu 3,20 snt/kWh [34]. Näiden yhtiöiden verkkorakenne eroaa huomattavasti toisistaan. Tampereen sähköverkon verkko on kaapeloitua verkkoa kaupunkialueella, kun Järvi-Suomen energian verkko on hajanaisempaa maaseutuverkkoa. Näiden ylläpitäminen on eri hintaista. Siirtohinnan suuruus vaikuttaa myös aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaikaan ja sen kannattavuuteen energian hinnan lisäksi.

5.1 Kustannusten minimointi

Asennettaessa aurinkopaneelit katolle tai maatelineeseen, on tärkeää pyrkiä optimoimaan mahdollisimman tarkasti tuotettu aurinkoenergia omaan käyttöön, jotta pystyttäisiin välttämään siirtomaksua. Silloin kun käytetään omatuotantoa omaan käyttöön, ei tarvitse maksaa tuotetusta kilowattitunneista siirtomaksua eikä energiasta mitään. Tällöin investointikustannus saadaan mahdollisimman nopeasti takaisin. Tuotannon ylijäämäsähköä pystyy myös myymään sähköyhtiölle. Tällöin myyntihinta muodostuu verottomasta tuntikohtaisesta spot-hinnasta. Energiakriisin aikana oli järkevää myydä kaikki mahdollinen sähköverkkoon, mutta nyt kesäiset hinnat ovat niin alhaisia, ettei se ole taloudellisesti järkevää.

Omakotitalossa on haastavaa saada pitkin päivää auringontuotannon suuruista kulutusta, ellei ole ladattavaa sähköautoa tai kiinteätä akkuvarastoa. Sähköauton latauksessa auringon ylijäämäsähköllä on hyvä olla kiinteä Mode 3- luokan latausasema, joka

tukee aurinkosähkölatausta. Esimerkkinä tällaisesta lataustaitteesta voidaan käyttää Beny 22kW latauslaitetta [35], siinä on dynaaminen kuormanhallinta sekä aurinkosähkön ylijäämä lataus. Toisena esimerkki latauslaitteena voidaan käyttää Go-e Geminiä [36]. Myös siinä on useita aurinkosähköön liittyviä ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia on esimerkiksi automaattinen tehosäätö auringon tuotannon mukaan. Lisäksi laturi osaa muuttaa kesken latauksen yksivaiheisesta kolmivaiheiseen ja toisinpäin. Aurinkosähköjärjestelmän tuottaessa ylijäämää, älykäs lataus alkaa lataamaan ja nostaa latausvirtaa aina kun on tarpeellista. Eli silloin pyritään minimoimaan verkkoon menevä sähkön määrä.

5.2 Tehomaksu

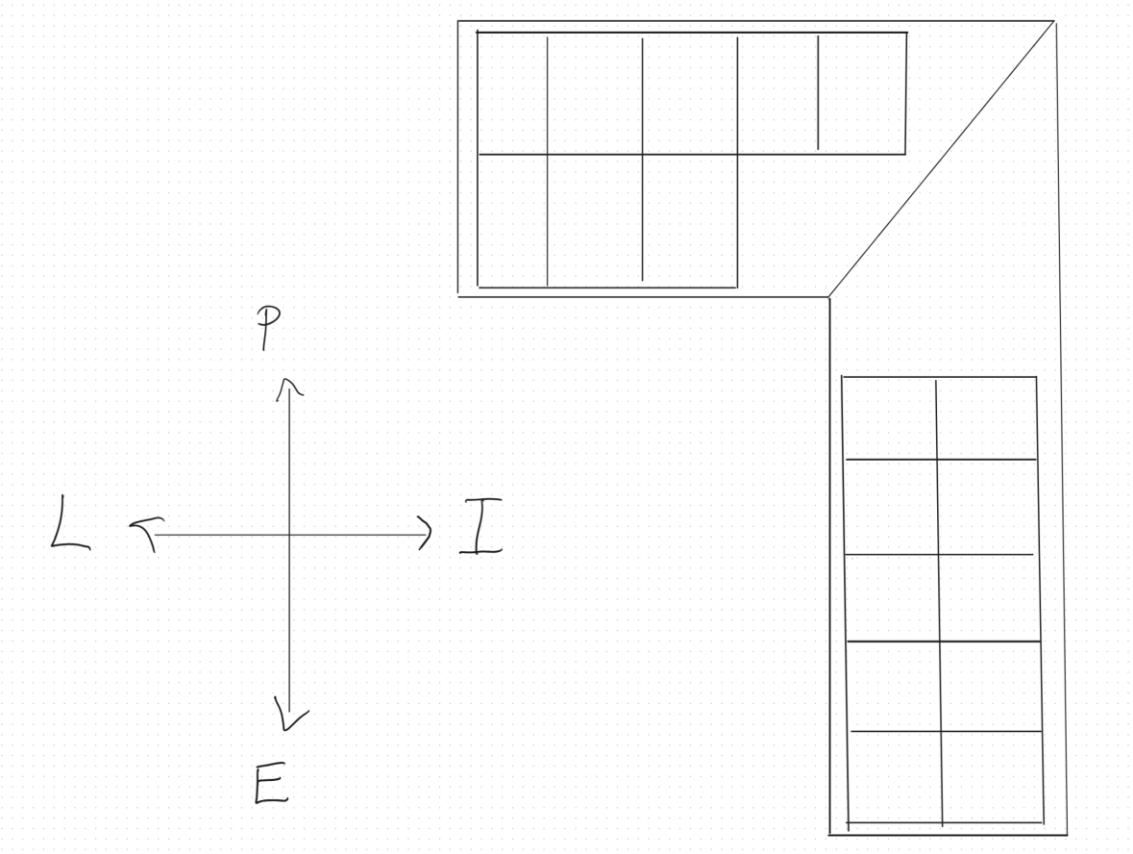
Joillakin alueilla on käytössä tehomaksu normaalin energian siirtomaksun ja kuukausimaksun lisäksi. Tällä pyritään vaikuttamaan kuluttajan käyttäytymiseen, verkkoyhtiön hinnoittelun tarkoituksena on pyrkiä välttämään suuria tehokuormia ja kuluttamaan energiaa mieluimmin matalammalla ja tasaisella teholla. Helen sähköverkon alueella on käytössä tehotariffi. Tämä määräytyy, joka kuukauden kolmanneksi suurimman tunnin keskitehon mukaan. Tehotariffin hinta on Helenin alueelle 1,61 €/kWh. [37] Jos kuluttaja on tottunut lataamaan sähköautoaan 11 kW teholla tällöin pelkästään tehotariffi aiheuttaa 17,71 €/kk kustannuksen. Jos vastaavasti rajoitetaan latausvirta 6 A:iin ja teho on tällöin 4 kW tehotariffin osuus on 6,44 €/kk. Tällöin pelkästään lataustehoa rajoittamalla saadaan kuukausitasolla 11,27 €/kk säästö. Kuluttajan kannattaa miettiä kannattaako pysyä sähkön yleissiirrossa vai vaihtaa aikasiirtoon. Näihin eri sopimuksiin vaikuttaa tehomaksu eri tavalla ja sähkönkäytön ajankohtaa muuttamalla voi saavuttaa huomattavaa säästöä.

5.3 Aurinkoenergian arvon laskeminen

Lasketaan aurinkoenergian omakäyttöarvoa. Tällöin joudutaan tekemään joitakin valintoja. Otetaan laskukohteeksi Lumme energian 24 kk sähkösopimus. Energian hinta on 8,38 snt/kWh. [38] Lisäksi verkkopalvelumaksuna käytämme esimerkissä Kouvolan KSS Verkon yleissiirtoa, jonka hinta on 4,09 snt/kWh [39]. Näistä tulee yhteensä 12,47 snt/kWh. Lisäksi tulee sähkövero, joka on veroluokassa 1 kahden desimaalin tarkkuudella ilmoitettuna 2,83 snt/kWh. Eli lopullinen sähkön kokonaishinta on 15,3 snt/kWh.

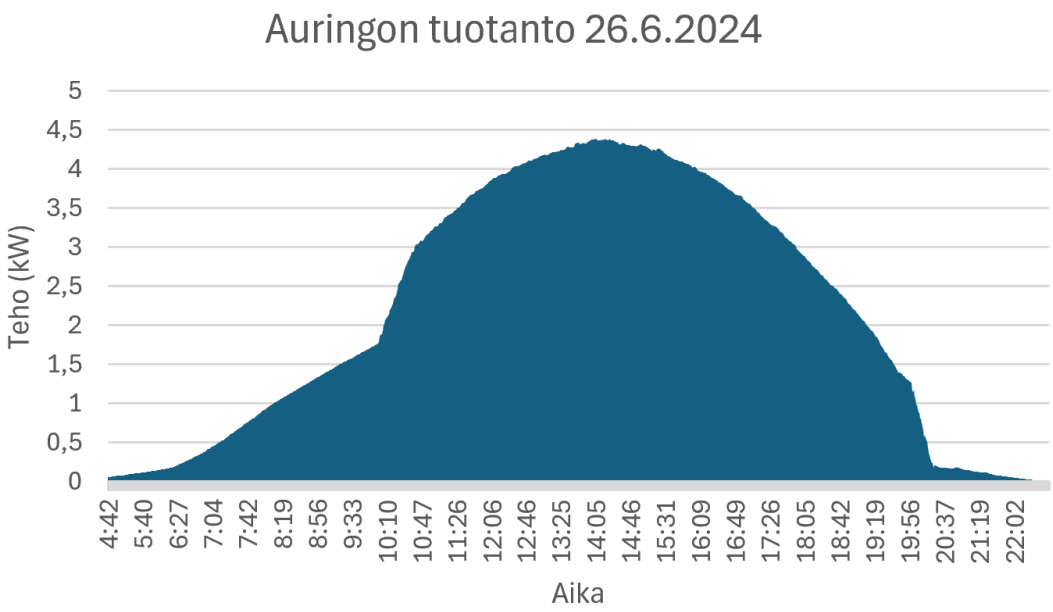
Tarkastellaan aurinkopaneelijärjestelmää, joka muodostuu 18 kpl 380 Wp paneelista ja 6 kW Froniuksen invertteristä. Näistä paneeleista 8 on suunnattu etelään ja 10 länteen. Paneelien asemoinnista on esitetty havainnekuva kuvassa 4. alapuolella. Eri ilmansuuntiin olevat aurinkopaneelikentät ovat omassa ketjussaan. Katon kaltevuuskulma on 22

astetta. Paneeleita ei puhdisteta talvisin naarmuuntumisriskin takia. Kesäisin paneelit on kerran huuhdeltu pahimman siitepölykauden jälkeen.



Kuva 4. Hahmotelma omakotitalon 18 paneelien asennuksesta

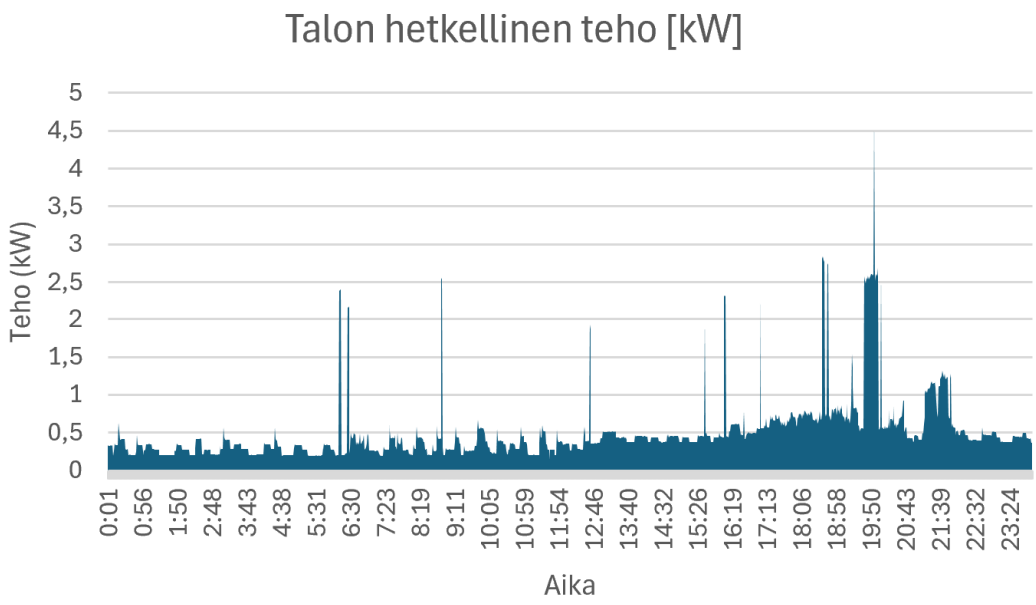
Kuvan 4. mukaisesti asennettujen aurinkopaneelien tuotannon määrät on siirretty suoraan invertteriltä kotiautomaatiojärjestelmä Loxoneen. Loxonesta on myös saatu myöhemmin käytettävät talon hetkellinen sähköteho sekä kokonaissähköteho. Aurinkotuotannon määrät luetaan 10 sekunnin välein, mutta tallennetaan vain minuutin välein. Talon kulutus ja hetkellinen kokonaisteho luetaan sekunnin välein ja tallennetaan myös minuutin välein. Useammin tallennettaessa arvoja tulisi todella paljon, jolloin olisi haastavaa käsitellä kaikkia luettuja arvoja.



Kuva 5. Kuvassa aurinkosähköjärjestelmän kesäpäivän tuotanto

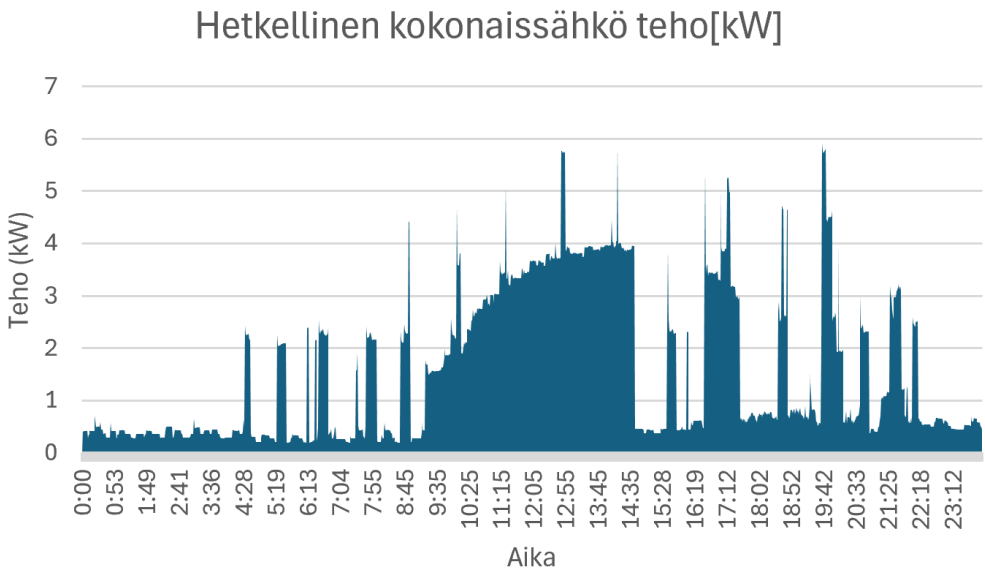
Yläpuolella esitetyssä kuvassa 5. on 26.6.2024 päivän aurinkosähkötuotanto. Kyseisenä päivänä järjestelmä tuotti 38,53 kWh. Päivän huipputehoksi tuli 4,38 kW, joka on 64 % järjestelmän piikkitehosta. Kaikkea aurinkotuotantoa ei kuitenkaan pysty käyttämään auton lataamiseen, koska talossa on muutakin kuormaa. Aurinkotuotannon profiili on suhteellisen hyvä. Noin klo 10 aikaan nopea tehon nousu johtuu varjostumisen poistumisesta. Aurinko nousee idästä niin tällöin länsilappeella olevat paneelit ovat varjostuneita. Auringon korkeus vaikuttaa miten varjostumat vaikuttavat tuotantoon.

Esimerkkiomakotitalon pohjasähkönkulutus vaihtelee 300–500 Wh/h välillä, joka on esitetty alapuolella kuvassa 6. Pohjasähkön kulutuksessa on mukana esimerkiksi jääkaappi, pakastin, ilmanvaihtokone ja kaikkien kodin laitteiden kuluttamat herätevirrat. Herätevirroilla tässä tapauksessa tarkoitetaan laitteiden kuluttamaa energiaa, kun ne ei ole käytössä, mutta silti kytkettynä verkkoon. Tässä ei ole mukana esimerkiksi maalämpöpumpun ja auton latauksen kuluttamaa energiaa. Kuormituspiikit ovat esimerkiksi vedenkeittimen, pesukoneen ja ruuanlaiton aiheuttamia.



Kuva 6. Talon sähkönkulutus ilman lämmitystä.

Alla olevassa kuvassa 7. on esitetty 26.6.2024 vuorokauden kokonaissähkönkulutus. Kuvassa huomataan helposti terävät piikit, jotka johtuvat maalämpöpumpun käynnistymiset sekä älykkään latauslaitteen tehonsäädöt auton latauksessa aurinkotehon mukaan. Noin klo 9:15 lataus on käynnistynyt ja siitä lataustehoa on säädetty ylöspäin aina tarvittaessa. Kuvassa huomataan myös, että noin klo 14.35 akku on tullut täyteen. Latauksen alkaessa auton akku on ollut jo melko täynnä. Kyseisen päivän aurinkovoiman omankäytönprosentti on 75 %, jolloin 25 % tuotannosta on myyty verkkoon.



Kuva 7. Vuorokauden kokonaissähkönkulutus.

Kaikki tuotantoenergia on pakko käyttää itse tai myydä, joten

$$E_{tuotanto} = E_{omakäyttö} + E_{hyöty}$$

Lasketaan seuraavaksi omakäyttöprosentti. Tämä kuvaa kuinka paljon energiasta on käytetty itse. Omakäyttöprosentin laskukaavana on käytetty omakäyttöprosentti (%) $\frac{E_{käyttö}}{E_{tuotanto}} * 100\%$. Kun omaan käyttöön meni 75 % se on 28,89 kWh, jonka arvo on

$$E_{omakäytöhyöty} = E_{omakäyttö} * tuotantomäärä$$

15,3 snt/ kWh*28,89 kWh = 4,42 €

Myyntiin menneen energian arvo sen päivän spot- hinnan keskihinnan mukaisesti. Käytetään vuorokauden spot-hinnan keskiarvoa helpottamaan laskentaa ja siitä syntyvä virhe on pieni, päivän tasaisen spot-hinnan takia. [36]

$$H_{myyntihyöty} = H_{myyntiin} * spot_{määrä}$$

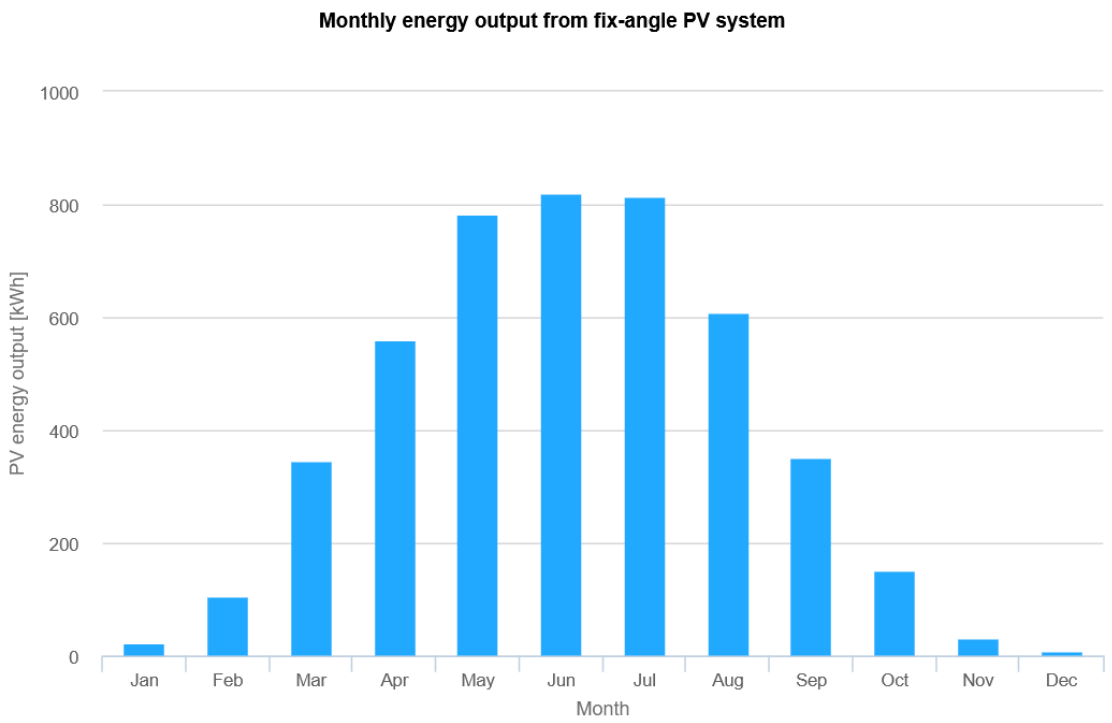
9,64 kWh*3,11 snt/kWh=0,299 €

$$H_{myyntihyöty} + H_{omakäyttöhyöty} = H_{kokonaishyöty}$$

Päivän aurinkosähkötuotannon yhteisarvo on siis nämä luvut yhteensä, josta saadaan 4,72 €.

Tutkimuksessa käytettiin auringon säteilyyn perustuvaa mallinnustyökalua vuosienergian laskennassa, joka laski vuosienergiaksi 4599 kWh [41]. Mallinnustyökaluun käytettiin todellisia aurinkosähköjärjestelmän arvoja. Paneelien tehoksi asetettiin 6,84 kWp, kattokulmaksi 22° ja sijainniksi Kouvola. Näillä asetuksilla saadaan ennuste vastaamaan hyvin toteutunutta tuotantoa, koska aikaisempina vuosina tuotannon suuruus on ollut 4400 kWh ja 4640 kWh. Seuraavaksi lasketaan erilaisilla omakäytön suuruuksilla rahallista hyötyä. Lasketaan myyntiin menneen sähkön hinta 1.4.2024-1.9.2024 välisen ajan pörssisähkön verottomana hintana. Tämän ajanjakson spot keskihinta on 3,03 snt/kWh. [40]

Aurinkopaneelien tuottaman energia jakautuu epätasaisesti eri kuukausille. Kuvassa 8. on esitetty ennuste esimerkkinä käytetyn omakotitalon tilanteesta.



Kuva 8. Ennustettu kuukausittainen tuotanto. [41]

Yllä oleva kuva havainnollistaa, miten tuotettu energia jakautuu kuukausittain. Kuvasta huomataan helposti, että touko-, kesä- ja heinäkuussa tuotantomäärät ovat samankokoisia. Huhti- ja elokuun tuotantomäärät ovat myös lähes samoja. Maalis- ja syyskuun tuotantomäärät ovat myös samankokoisia. Lasketaan karkealla laskentatavalla tuotannon hyötysuhde, kun tarkasti tulevaisuuden mallintaminen on mahdotonta. Taloudelliseen hyötyyn vaikuttaa vuosittaisen tuotannon lisäksi myös spot-hinta. Myyntiin menevä sähkö hinnoitellaan spot- tuntihinnan mukaisesti tuntikohtaisesti. Jos kotitaloudella on pörssisähkö, silloinkin kannattaa maksimoida omantuotannon käyttö, kun pörssisähkö on lähellä nollaa tai negatiivisen puolella. Se tällöin lyhentää aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaikaa. Tilanteessa, jossa pörssisähkö on nolla, omankäytön hyöty syntyy vain siirtomaksusta ja sähköveron välttämisestä. Taulukossa 1. on havainnollistettu omakäytön hyödyllisyyttä ja laskettu euromääräinen hyöty.

Omakäyttö (%)	Myynti (kWh)	Omakäyttö (kWh)	Myynti (€)	Omakäyttö (€)	Yhteensä
100	0	4599	0	703,65	703,65
90	459,9	4139,1	13,93	633,28	647,21
80	919,8	3679,2	27,87	562,92	590,79
70	1379,7	3219,3	41,80	492,55	534,35
60	1839,6	2759,4	55,74	422,19	477,93
50	2299,5	2299,5	69,67	351,82	421,49
40	2759,4	1839,6	83,61	281,46	365,07
30	3219,3	1379,7	97,54	211,09	308,63
20	3679,2	919,8	111,48	140,73	252,21
10	4139,1	459,9	125,42	70,136	195,78

Taulukko 1. Taulukossa esitetty tuotetun aurinkoenergian arvo eri omankäytön asteilla

Kuten yllä olevasta taulukosta pystytään helposti havaitsemaan, omakäyttö on ainakin vuoden 2024 kesän keskiarvohinnoilla kaikista taloudellisesti kannattavinta. Sähköautoa käyttämällä energiavarastona saadaan omakäyttöprosenttia nostettua, mutta ongelmana on se, ettei auto ole kotona päivällä, kun ihmiset ovat töissä. Päivällä tuotanto menee suurimmaksi osaksi myyntiin, mikä laskee omakäytönprosenttia. Korkeimpaan omankäytön osuuteen pääsee vain investoimalla kiinteään akkuun, johon energiaa pystyy lataamaan päivän tuotannon verran. Tämä edellyttää myös sen, että akku pystytään purkamaan ennen seuraavan päivän tuotannon alkamista.

Aurinkopaneelijärjestelmän hinta asennettuna on noin 1200 €/kW. Tällöin 6kW järjestelmän investointi kustannukseksi tulisi noin 7000–8000 €. Kyseisen suuruisella järjestelmällä vuosituotanto esimerkki omakotitalossa on ollut 4600 kWh vuodessa. Vuosittaisia operointikuluja järjestelmään liittyen ei synny ja fuel cost on myös nolla, kun energia syntyy auringosta. Järjestelmän kestoksi voidaan olettaa 25 vuotta. Tämä 25 vuotta on usein myös paneelivalmistajien käyttämän takuun pituus. Käytetään verkosta ostetulle sähkölle hintaa 15,3 snt/kWh. Vuosittainen säästö lasketaan yksinkertaistetulla kaavalla $Tuotto = tuotannon\ määrä * tuotannon\ hinta$. Vastaavasti investoinnin takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla:

$$Investoinnin\ takaisinmakusaika = (kW/€ * kW)/Tuotto$$

Vuosittainen säästö: $4600\ kWh * 15{,}3\ \frac{snt}{kWh} = 703{,}8€$

Investoinnin takaisinmaksuaika: $(1200\ €/kW * 6\ kW)/703{,}8€ = 10{,}23$ vuotta.

Tässä ei ole huomioitu mahdollisia korjauksia ja ikääntymiseen liittyviä asioita. Paneelien tuotantotehon laskemista, jolloin vuosituotanto myös vähenee. Nämä asiat huomioituna takaisinmaksuaika on oikeasti pidempi kuin 10,23 vuotta. Tähän vaikuttaa myös sähkön hinta, joka on oletettu laskussa samansuuruiseksi koko ajalle. Tämä takaisinmaksuaika toteutuu siinä tapauksessa, että kaikki tuotanto saataisiin itse käytettyä, joka ei todellisuudessa toteudu ikinä.

Lasketaan takaisinmaksuaika myös siten, että kaikki tuotanto myytäisiin verkkoon spot hinnan mukaan. Käytetään tässä aikaisemmin käytettyä keskihintaa 3,03 snt/kWh.

Vuosittainen säästö: $4600kWh * 3{,}03\ snt/kWh = 139{,}38€$

Investoinnin takaisinmaksuaika: $(1200\ €/kW * 6\ kW)/139{,}38€ = 51{,}65$ vuotta. Tässä tapauksessa investointi ei ole taloudellisesti järkevä, koska investoinnin takaisin maksu kestää kauemmin kuin järjestelmän arvioitu kesto. Yläpuolen esimerkillä havainnollistuu hyvin, että itsetuotettu sähkö on järkevämpää käyttää itse kuin myydä verkkoon.

Suomalaiset ajavat autoillaan keskimääräisesti vuodessa noin 13 800 km [42]. Puolestaan sähköautoilla ajetaan huomattavasti enemmän, noin 20 000–30 000 km vuodessa [43]. Ympärivuotuisena sähköauton kulutuksena voidaan ajatella noin 20 kWh/100 km. Tällä kulutuksella 30 000 km:n matkaan menee 6000 kWh energiaa. Puolestaan keskimääräinen ajomatka on 82 km päivässä, tällöin energiaa kuluu 16,6 kWh. Toisaalta kesällä sähköautokin kuluttaa vähemmän, pienemmän vierintävastuksen ansioista. Sähköauton kulutukseen vaikuttaa akun ja matkustamon lämmitys sekä jäähdytys, kesällä on tarvetta vain jäädyttää ja se on energiatehokkaampaa kuin lämmittäminen. Talvella lämpötila ero on suurempi, jolloin ilman lämpötilaa tarvitsee muuttaa enemmän. Kesällä kotiakkua on haastavaa pitää tarpeeksi tyhjänä, jotta sinne mahtuu seuraavan päivän tuotanto. Lisäksi kotiakun tarvitsisi olla melko suuri, jotta sinne mahtuu hyvin kokopäivän aurinkotuotanto, riippuen toki aurinkopaneelijärjestelmän suuruudesta ja suuntauksesta. Keväällä ja syksyllä, kun tuotantomäärät alkavat pienentyä, päivän tuotanto on helpompi kuluttaa. Sähköautoon kuitenkin energiaa saa varastoitua hyvin, kunhan se sattuu olemaan kotona kun aurinkotuotantoa tulee.

6. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Sähkönvarastointiin liittyvät erilaiset ratkaisut ovat nykyään ja tulevaisuudessa kovassa kehityksessä. Näitä ratkaisuja kehitellään, jotta voidaan varautua tuuli- ja aurinkovoimatuotannon heiluntaan ja sääriippuvuuteen. Heilunnalla tarkoitetaan tuulivoiman tuotannon määrän vaihtelemista päivä ja tuntitasolla tuuliolosuhteiden mukaisesti. Energian varastointi on tärkeää sähkön hinnan vaihtelun ehkäisemiseksi. Tähän on olemassa muutamia eri ratkaisuja. Iso sähkön hinnan vaihtelu kannustaa rakentamaan energiavarastoja ja hakemaan hyötyä sähkön hinnan vaihtelusta.

6.1 Kotiakku

Markkinoille on tullut viime aikoina runsaasti yrityksiä, jotka tarjoavat kotiakkuja. Kotiakku on kaikessa yksinkertaisuudessaan energiavarasto eli akku, mihin varastoidaan energiaa [44] Kotiakkujärjestelmän toimintaperiaate on yksinkertainen. Aurinkopaneelit tuottavat sähköä ja se energia, mitä ei kuluteta heti, varastoidaan kotiakkuun myynnin sijasta. Tällöin saadaan suurempi hyöty tuotetusta sähköstä. Kun aurinko ei paista, esimerkiksi yöllä, syötetään kotiakusta energiaa kiinteistön käyttöön. Jos kiinteistöllä on pörssisähkösopimus, voidaan akkua ladata kaikista halvimpina tunteina ja syöttää kiinteistölle, kun sähkö on kalliimpaa. Lisäksi mahdollisen sähkökatkon aikana kiinteistölle voidaan syöttää energiaa kotiakusta. Kuitenkin akkua kannattaa käyttää vain silloin kun saatu taloudellinen hyöty on suurempi kuin akun kulumisesta syntynyt kustannus. [45]

Toinen mahdollisuus on käyttää kotiakkua myös sähköverkon tasapainotuksessa säätösähkömarkkinalla. Jokin kaupallinen toimija kerää kotiakkuja vähintään yhden megavatin kokoisen poolin ja tarjoaa tätä Fingridin säätösähkömarkkinalle. Tästä maksetaan korvauksia sen akun omistajalle. [45] Tulevaisuudessa olisi myös mahdollista syöttää naapuriin tai koko naapurustolle sähköä, mikäli akku on sopivan kokoinen. Tällaiset saarekeratkaisut parantavat sähköisyyden pysyvyyttä myös myrkyn aikana. Paikallinen sähköyhtiö maksaa saarekekäytössä olleelle kotitaloudelle korvauksia. Tällaisessa tilanteessa akku kuitenkin pitäisi ladata täyteen edeltävinä päivinä, jos on mahdollisuus sähkökatkoille.

Kotiakut toteutetaan yleensä litiumionitekniikan avulla, jolloin saavutetaan jopa 20 vuoden käyttöikä. Nykyaikaiset akut ovat yleensä varustettu älykkäillä ohjausjärjestelmillä. Tällä järjestelmällä pystytään optimoimaan akun käyttöä ja ennakoida esimerkiksi sään muutoksia. [44]

Kotiakkuja on pääasiassa kahta eri tekniikkaa. Nämä ovat matala- ja korkeajänniteakut. Kotiakkujen kapasiteetti vaihtelee, mutta on yleisesti 5–20 kWh välillä. Molemmat akkutyypit ovat yleisesti käytettyjä kotiakussa, mutta niiden toiminta ja edut eroavat toisistaan. Matalajänniteakuissa jännitetaso on yleisesti 48 V tai sen alle. Matala jännitetaso tekee niistä turvallisempia käyttää. Matalajänniteakkua on helppoa laajentaa. Matalajänniteakkujärjestelmän etuja on turvallisuus matalan jännitteen ansiosta. Muita etuja on joustavuus. Matalan jännitteen huonona puolena tulee suurempi virta. Sekä suurissa järjestelmissä matalajänniteakku ei ole yhtä tehokas. Korkeajänniteakkujen jännitetaso on yleensä yli 150 V ja voi nousta jopa yli 600 V. Kun käytetään korkeaa jännitettä, tarvitaan pienempää virtaa. Tämän ansiosta korkeajänniteakut ovat tehokkaampia. Korkeajänniteakun hyviä puolia on tehokkuus, hyvä tehonpurkukyky sekä suuri kapasiteetti. Huonoina ominaisuuksina voidaan mainita niiden kalliimpi hinta sekä asennuskustannukset. [46]

6.2 Kaksisuuntaiset laustekniikat

V2G eli vehicle-to-grid, tarkoittaa tekniikkaa, jossa sähköauton akusta energiaa pystytään siirtämään takaisin sähköverkkoon. Tällöin sähköauton akkua pystyy lataamisen lisäksi purkaa. Tällöin sähköauton suurikapasiteettista akkua ei ajatella vain ajoneuvon voimanlähteenä, vaan myös varmuusvarastona. V2G-tekniikalla on mahdollisuus suojautua pörssisähkön mahdollisia hintapiikkejä vastaan. [47]

Hintapiikin sattuessa energiaa puretaan autosta takaisin kiinteistöön päin. Käyttämällä V2G:tä pystyy korvaamaan myös mahdollisen kotiakun. Tällöin auringon energia ladataan päivällä autoon ja yöllä takaisin kiinteistölle. Tämän huonona puolena on, että auton pitäisi olla latauksessa silloin, kun aurinko paistaa. V2G:tä hyödyntämällä pörssisähkön asiakkaana saa myös hyvän hyödyn spot-hinnan nolla sekä negatiivisista sähkönhinnoista. Toisaalta yleistymään päin oleva tehotariffi eli tehomaksu vaikuttaa siihen kannattaako yksittäisiä negatiivisia tunteja hyödyntää. V2G:tä pystyy autossa käyttämään välillä 20–100 %, eli auto ei pura akkua alemmas kuin 20 % tasoon.

Kaksisuuntaisia latausratkaisuita on muitakin kuin pelkästään V2G. Niitä on Vehicle-to-home eli V2H. Tällä ratkaisulla käytetään sähköauton akkua kodin virransyöttöön. Eli V2G:ssä pystyttiin syöttämään sähköä talon ulkoiseen verkkoon niin V2H:ssa se rajoittuu pelkästään talon sisäiseen verkkoon. Lisäksi on V2L eli vehicle-to-load, tämä ei vaadi kaksisuuntaista laustekniikkaa. Tämä johtuu tekniikassa käytettävästä adapterista. Muissa tekniikoissa sähkö liikkuu samaa latausjohtoa pitkin edestakaisin tässä puolestaan ei. Tässä adapterissa on tavallinen 230 Vac pistorasia ja siihen pystyy kytkemään

tavallisella pistorasialla olevia laitteita. Autossa on sisäänrakennettuna DC → AC vaihtosuuntaaja. Tämän avulla saadaan energian sen vaihtosähkössä oleva aaltomuoto [39] Se kuinka paljon tehoa pistorasiasta saa, riippuu autosta. Esimerkiksi Kia EV6: desta saa 3,6 kW tehon ulos. [48] Auto pystyy syöttää V2L tehoa siihen asti, kunnes auton akun varaustila on 20 %. Yleisesti autonvalmistajat käyttävät 20 %:n tasoa varmuustasona, jotta autolla pystyy vielä ajamaan.

V2G tekniikan käyttöönottoon liittyy haasteita. Suurin osa markkinoilla käytössä olevista ja myytävistä latauslaitteista on yksisuuntaisia. Tällaisilla laitteilla verkkoon ei saa sähköä siirrettyä takaisin päin. Lisäksi ei ole olemassa yhteisiä säädöksiä EU-tasolla sähköautojen integroimisesta verkkoon. Tällöin myös paikallinen käyttöönotto vaikeutuu. V2G latausasema pystyy syöttämään verkkoon sähköä, niin tällöin pitää tehdä myyntisopimus paikallisen verkkoyhtiön kanssa. Myös tällöin verkkoyhtiöltä pitää saada laitteiston kytkentälupa alueelliseen jakeluverkkoon. Kuitenkin V2G tekniikkaa on testikäytössä jo useissa maissa kuten Saksassa, Puolassa ja Ranskassa. [47] V2G tekniikka aiheuttaa sähköauton akkuun lisää lataussyklejä. Akuissa itsessään tapahtuu häviöitä ja akku myös purkautuu itsekseen. Nämä asiatkin on otettava huomioon V2G:n korvauskäytännössä.

Yleisesti sähköauton akun syklimääräksi ajatellaan 3000 sykliä. Yksi sykli on, kun lataa akun täysin tyhjästä ihan täyteen ja kuluttaa sen sitten takaisin tyhjäksi. Esimerkiksi aikaisemmin esimerkkinä käytetty ID.4 GTX:n WLTP toimintamatka on 511 km [25]. Käytetään laskuun WLTP toimintamatkaa ja oletetaan 3000 sykliä akun eliniäksi. Tällöin autolla voisi ajaa 1 533 000 km. Näillä perustein on voi olettaa, että luultavasti akku kestää pidempää kuin auto. Toisaalta akun ikääntyminen ja Suomen kylmät olosuhteet vaikuttavat akun kestävyyteen negatiivisesti. Tältä kantilta katsottuna V2G ei vaikuttaisi auton akun kulumiseen liikaa. Lisäksi jos hyödynnetään sähköauton akkua V2G tekniikalla paikallisen sähköverkon tasauksessa, ei tarvita aina yhtä sykliä. Pienempi paikallinen säätökin voi riittää esimerkiksi 80 %→ 60 %. Tällaisia paikallisia säätöjä mahtuu yhteen täyteen sykliin viisi kappaletta. Kun energiaa liikutellaan edestakaisin siinä, tapahtuu häviöitä. Nämä häviöt on syytä ottaa huomioon, kun mietitään V2G tekniikan kannattavuutta ja siitä saavavia voittoja.

7. YHTEENVETO

Aurinkosähköjärjestelmien lisääntyessä omakotitaloissa on mahdollista hyödyntää niiden uusiutuvaa energiaa sähköautojen latauksessa. Optimoimalla omankäyttöön menevän aurinkosähköosuuden, saa mahdollisimman lyhyen takaisinmaksuajan aurinkosähköjärjestelmälle. Esimerkin mukaisesti sähkön myynti verkkoon ei ole kesällä taloudellisesti järkevää verrattuna sähkön omakäyttöön johtuen kesän alhaisista pörssisähkön hinnoista. Tosin joinakin tunteina se saattaa olla taloudellisesti järkevää.

Ohutkalvopaneelit ovat erittäin hyödyllisiä, kun niitä pystyy integroimaan esimerkiksi parvekelaseihin ja kaiteisiin. Lasi näyttää tavallisesta tummaksi laminoidulta lasilta. Samalla parveke tuottaa ympäristöystävällisesti sähköä.

Sähköautolla ja älykkäällä laturilla pystytään optimoimaan tuotannon käyttö siten, että mahdollisimman vähän menee myyntiin. Tulevaisuudessa V2G tai V2H on erittäin hyvä lisä aurinkosähköjärjestelmän kanssa. V2G:tä ja V2H:ta voidaan käyttää helposti paikallisen jakeluverkon kysynnän tasaamiseen. Kotiakkujärjestelmillä on mahdollista päästä korkeampiin omakäyttöprosentteihin kuin ilman niitä. Aurinkopaneelijärjestelmällä etenkin, jos aurinkosähköä pystyy käyttämään sähköauton lataukseen, pystyy sillä pienentämään omia energiakustannuksia. Käyttämällä itse tuotettua energiaa pystyy välttämään siirtomaksut ja energian hinnan. Haasteita tuo tuotannon keskittyminen kesäkuukausiin ja vähäinen tuotanto talvikuukausina. Kotiakkuratkaisuilla energiaa pystytään varastomaan ja niiden avulla on mahdollista kesäisin käyttää itse tuotettua energiaa mahdollisesti ympäri vuorokauden. Talvella tämä ei ole mahdollista, kun paneelit tuottavat verrattain vähän Suomen leveysasteilla pimeän talven ja mahdollisen lumipeitteen vaikutuksesta. Kuitenkin kotiakkua pystytään hyödyntämään talvisinkin pörssisähkökotitaloudessa hintapiikkien tasaamiseen ja välttämiseen. Aurinkopaneeleita kannattaa käyttää sähköauton lataamiseen, koska sillä on suoria kustannussäästöjä ja aurinkovoima on ympäristön kannalta hyvä ja toivottava sähkön tuotantomuoto. Energiayhteisöt luovat uusia mahdollisuuksia ylijäämän käyttöön etenkin kerrostaloissa.

8. LÄHTEET

[1] Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti nousi 1000 megawattiin (17.6.2024) Saatavissa: https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-nousi-1000-megawattiin

[2] Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2024 (24.1.2025) Saatavissa: https://teknologiateollisuus.fi/emobility/ajankohtaista/tilannekatsaukset-vuosittain/

[3] Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2022 (30.1.2023) Saatavissa: https://teknologiateollisuus.fi/emobility/wp-content/uploads/sites/9/2024/09/2022-Q4-SahkoinenLiikenne-tilannekatsaus-2023-01-30-jaettava.pdf

[4] A. Kosonen, C. Breyer, Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa, 27.6.2023. Saatavissa: https://www.lut.fi/fi/artikkelit/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa

[5] Aurinkosähköteknologiat (31.1.2024) Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

[6] Ensimmäinen aurinkokennon käyttö (3.12.2021) Saatavissa:https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/tiesitko-aurinkoenergiaa-kaytettiin-jo-700-luvulla-eaa-ensimmainen-aurinkokenno-rakennettiin-1883/dbd56a8d-5ca7-4a62-8c3f-6bd9df34f4b0

[7] Piikidekennot (9.2.2023) Saatavissa: https://ralos.fi/piikidekennot/

[8] Ohutkalvoteknologiat (9.2.2023) Saatavissa: https://ralos.fi/ohutkalvoteknologiat/

[9] Lumon, ekaide Saatavissa: https://lumon.com/fi/ammattilaisille/tuotteet-ja-ratkaisut/lumon-kaide/ekaide/

[10] Miten aurinkopaneelit toimivat? (19.12.2022) Saatavissa: https://pokas.fi/ajankohtaista/miten-aurinkopaneelit-toimivat/

[11] Aurinkovoimala, (19.2.2024) Saatavissa: https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/

[12] J.Sudenjoki, Aurinkopaneelien asennus sarjaan, Saatavissa: https://solle.fi/aurinkopaneelien-asennus-sarjaan/

[13] Aurinkopaneelit: 6 keskeistä komponenttia (4.1.2024) Saatavissa: https://www.solarpanelsfi.com/blog/aurinkopaneelien-rakenne-aurinkopaneelit-6-keskeista-komponenttia..

[14] Invertteri, (21.2.2024) Saatavissa: https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/?_gl=1*1csu193*_ga*Njc3NTgwMjA3LjE3NDE3ODkwNzE.*_ga_6BE89CNHQT*MTc0MjU0NDc5OS4zLjEuMTc0MjU0NTQyOC4wLjAuMA

[15] Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät, kesäkuu 2019, saatavissa: Aurinkosahkojarjestelma_RT-kortti_JanLa-3.pdf

[16] Kiinnitysteline, (20.2.2024) Saatavissa: https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/kiinnitysteline/?_gl=1*xgnnxh*_ga*Njc3NTgwMjA3LjE3NDE3ODkwNzE.*_ga_6BE89CNHQT*MTc0MjU0NDc5OS4zLjEuMTc0MjU0NzQ4Ny4wLjAuMA

[17] Väre, Aurinkopaneelien sijoitus ja suuntaus, (24.4.2020) Saatavissa: https://vare.fi/yrityksille/aurinkopaneelit/aurinkopaneelien-sijoittaminen-ja-suuntaus/

[18] Lämpötilan vaikutus tuotantoon, (15.3.2024) Saatavissa: https://ralos.fi/lampotilan-vaikutus-tuotantoon/

[19] T. Ikonen, Sähköautot ja sähköautojen lataus (27.4.2024) Saatavissa: https://nordicplug.fi/pages/sahkoautojen-lataus-pikaopas?srsltid=AfmBOoraE5Q2HBhXepZwjO0Rqtc7Uy7wJSP_WFTYzWqlAHIR_O4XYZfx

[20] A Katajamäki, Dynaaminen kuormanhallinta omakotitalossa (4.2.2025) Saatavissa: https://nordicplug.fi/blogs/sahkoautot-ja-lataaminen-blogi/dynaaminen-kuormanhallinta-omakotitalossa?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI3OSji8abjAMVDgCiAx2ppy_OEAAYASAAEgK8EvD_BwE

[21] Sesko, sähköajoneuvojen lataussuositus 2023 (18.5.2023) 6.painos Saatavissa: https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/lataussuositus/

[22] J, Nieminen, Tekniikan maailma, Näin sähköauton ja pikalaturi kättelevät, 22.9.2023 Saatavissa: https://tekniikanmaailma.fi/lehti/17b-2023/nain-sahkoauto-ja-pikalaturi-kattelevat/

[23] Kempower satelliitti tekniset tiedot (version 2) Saatavissa: https://mediabank.kempower.com/l/VBRk-xfMK6vg?hsCtaAttrib=93928523213

[24] Audi Q6 e-tron tekniset tiedot saatavissa: https://www.audi.fi/fi/models/q6-e-tron/q6-e-tron/konfiguraattori/?ulid=1742489455215&pr=GFBA381GPWAPWAMALGQE2GWNYWNYGYEFYEFMLRA2FSMRAD41A_2025%7CG5G5%7CFW

[25] Volkswagen ID4 hinnasto ja tekniset tiedot (3.1.2025) Saatavissa: https://api.k-auto.fi/priceCatalog/api/PriceCatalog/bf2e8c14-b026-40a2-95ae-8e481b8ebb80

[26] J.Luukkanen, Sähköauton tekniikkaa osa 2: Akun lataaminen (15.9.2018) Saatavissa: https://tyyliniekka.fi/sahkoauton-tekniikkaa-osa-2-akun-lataaminen/

[27] Panasonic, What is BMS in an electric vehicle? 20.10.2023 Saatavissa: https://industrial.panasonic.com/ww/ss/technical/ap8

[28] Motiva, Energiayhteisöt, 25.11.2024 Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiayhteisot

[29] Motiva, energiayhteisömallit 23.10.2024 Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiayhteisot/energiayhteisomallit

[30] Tukes, Aurinkosähköjärjestelmät sähkötyöt ja urakointi, Saatavissa: https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat

[31] Tampereen kaupunki, Tekniset asennukset julkisivussa, 18.12.12024, Saatavissa: https://www.tampere.fi/asuminen-ja-rakentaminen/rakenna-ja-korjaa/rakentamisen-maaraykset-ja-ohjeet/tekniset-asennukset-julkisivuissa

[32] Energiateollisuus, Sähkön hinta Saatavissa: https://energia.fi/energiatietoa/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon-hinta/

[33] JärviSuomen energia, verkkopalvelumaksuhinnasto, Saatavissa: https://www.jseoy.fi/palvelut-ja-hinnat/verkkopalvelumaksut/#41c53c3f

[34] Tampereen sähköverkko, siirtohinnasto, 1.1.2025, Saatavissa: https://www.tampereensahkoverkko.fi/sahkon-jakelu-ja-kulutus/verkkopalvelutuotteet-hinnat-ja-sopimusehdot/

[35] Beny 22 kW, saatavissa: https://scanoffice.fi/sahkoauton-latausasemat/tuotteet/sahkoauton-lataus-aurinkosahkolla-beny-latausasema-omakotitaloon/

[36] GO-E charger gemini saatavissa: https://go-e.com/fi-fi/tuotteet/go-e-charger-gemini

[37] Helen sähköverkko Oy, siirtohinnasto, 1.9.2024, Saatavissa: https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/hsv-sahkon-verkkopalvelumaksut-1.9.2024.pdf

[38] Lumme sähkösopimus, saatavissa: https://www.lumme-energia.fi/sahkosopimus/vuosisahko24kk

[39] KSS Verkko, verkkopalvelumaksu hinnasto (1.1.2025) Saatavissa: https://assets.ctfassets.net/79vzmppdwnqd/N27nme764Yx3IAH3g4FCB/d81472e65fb8c034f4a2950985cef363/KSS_V_Verkkopalvelumaksut_1.1.2025_kk-hinnat.pdfLumme sähkösopimus, saatavissa: https://www.lumme-energia.fi/sahkosopimus/vuosisahko24kk

[40] Lumme, pörssisähkön hinta Saatavissa: https://www.lumme-energia.fi/sahkosopimus/porssisahko/hinta

[41] Aurinkoenergian määrän mallinnustyökalu Saatavissa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

[42] Tilastokeskus, J.Konttinen, (22.3.2019) Saatavissa: https://stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/tieliikenteen-ajokilometreissa-edelleen-hienoista-kasvua?fbclid=IwAR3ofh2RxpXNgaGB1FhLImwA0eJds_ou4h-sAzEpFhgeYMQODHMVfKOA478

[43] M. Saarenketo, Kuinka paljon sähköautolla ajetaan, (30.11.2022), saatavissa: https://www.autotie.fi/tien-sivusta/sahkoautoileva-motoristi/kuinka-paljon-keskimaarin-sahkoautoilla-ajetaan-tuloksia-kyselyta-sahkoautot-nyt-facebook-ryhmassa

[44] Mikä on kotiakku? (9.11.2023), Saatavissa: https://ralos.fi/mika-on-kotiakku/

[45] Kotiakku (6.2.2025) Saatavissa: https://solarum.fi/kotiakku/

[46] Matala- ja korkeajänniteakut. (26.9.2024), Saatavissa: https://ralos.fi/matala-ja-korkeajanniteakut/

[47] T. Ikonen, Mitä V2G tai kaksisuuntainen lataus tarkoittaa, (4.2.2025) Saatavissa: https://nordicplug.fi/blogs/sahkoautot-ja-lataaminen-blogi/kaksisuuntainen-lataus-v2g?srsltid=AfmBOoqeeuH8-OEybrMu-6X9g55Oai5nv5cL1QLf-GQh84nZIy2fUsj1T

[48] Kia EV6 lisävarusteet, saatavissa: https://www.kia.com/content/dam/kwcms/kme/fi/fi/assets/contents/Utility/accessories-brochure/Kia_EV6_lisvaruste-esite_2022.pdf