



Jami Kekkinen

Sähköautot osana kotitalouksien sähkön varastointia

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikan insinööri

Insinöörityö

3.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä(t): Jami Kekkinen
Otsikko: Sähköautot osana kotitalouksien sähkön varastointia
Sivumäärä: 23 sivua
Aika: 3.4.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikan insinööri
Suuntautumisvaihtoehto: Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaaja(t): Lehtori Sanna Heikkinen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää sähköajoneuvon akuston sähkönvarastointimahdollisuuksia omakotitalouksissa. Työssä kartoitettiin V2H-järjestelmän toimintaa ja sen mahdollista vaikutusta ajoneuvon akun rappeutumiseen, CO₂-päästöihin ja taloudelliseen hyötyyn. Työn tarkoituksena oli luoda selkeä kuva V2H-tekniikan hyödyistä ja haitoista sekä sen nykytilanteesta. Työssä tarkastellaan myös kuluttajäläheisiä esimerkkejä kolmen autovalmistajan automallin avulla.

Työ toteutettiin aluksi keräämällä kattava määrä materiaalia eri tutkimuksista ja ulkoisista verkkoartikkeleista sekä blogeista. Tutkimusten tuloksien vertailulla aikaansaadtiin mahdollisimman laaja ja monipuolinen näkemys V2H-tekniologiasta ja pystyttiin sulkemaan pois mahdolliset ennako-oletukset.

Työn tuloksena saatiin ymmärrys V2H-tekniikan kannattavuudesta. Osoittautui, ettei V2H-tekniologia ole nykyisellään taloudellisesti kannattava sijoitus kuluttajalle alkusijoituksen sekä käyttökustannusten vuoksi. V2H:lla on tästä huolimatta potentiaalinen tulevaisuus sähköverkon tukemisessa, ylituotetun sähkön varastoinnissa sekä CO₂-päästöjen vähentämisessä. V2H-tekniikan tulevaisuudennäkymät voivat olla myönteiset, mikäli sen kustannukset alenevat käytön lisääntyessä.

Avainsanat: Sähköauto, kaksisuuntainen lataus, V2H, V2G

Abstract

Author(s): Jami Kekkinen
Title: Electric Cars as Part of Household Electricity Storage
Number of Pages: 23 pages
Date: 3 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Specialisation option: Automotive design
Instructor: Lector Sanna Heikkinen

The purpose of this thesis was to explore the possibilities of electric vehicle battery energy storage in detached houses. The study mapped out the operation of V2H (Vehicle-to-Home) systems and their potential impact on vehicle battery degradation, CO₂ emissions, and economic benefits. The aim was to create a clear picture of the benefits and drawbacks of V2H technology and to assess the current state of this technology. This thesis also addressed consumer-friendly examples using some car manufacturer's models.

Initially, the study involved gathering a comprehensive amount of material from various research papers, external online articles, and blogs. By comparing the collected material based on different research findings, a broad and diverse understanding of V2H technology was achieved, allowing for the elimination of any possible preconceptions.

As a result of the study, an understanding of the profitability of V2H technology was obtained. Based on the expensive initial investment of V2H technology and an investigation into operating costs, it was concluded that V2H technology is not economically viable for consumers at the moment. However, V2H technology still has the potential for supporting the electricity grid, storing excess electricity, and reducing CO₂ emissions. The study also identified a positive outlook for the future of V2H technology, provided that the costs of this technology decrease as it becomes more prevalent in the future.

Keywords: Electric vehicle, bi-directional charging, V2H, V2G

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Virtuaalinen voimalaitos	1
2.1	V2H:n toimintaperiaate	2
2.2	Kaksisuuntainen lataus	3
2.3	Älykkäät kodin latausjärjestelmät	4
2.3.1	Kaksisuuntaiset latausasemat	4
2.3.2	Älykäs lataus	4
2.3.3	Volvo EX90	5
2.3.4	Nissan Leaf ja Volkswagen ID	5
3	V2H:n näkymät kotitalouksissa	6
3.1	Joustava energiankäyttö	6
3.2	Aurinkoenergian tallennus	8
3.3	Sähköajoneuvo varavirtalähteenä	10
4	Sähkön varastoinnin kannattavuus	11
4.1	Taloudellinen hyöty	11
4.2	Käyttökustannukset	13
5	Ekologisuus ja ympäristö	14
5.1	Sähköautojen akkujen käyttöikä	14
5.2	Uusiutuvat energianlähteet	16
6	V2H:n tulevaisuudennäkymät	17
6.1	V2H:n yleistymisen mahdolliset vaikutukset	18
6.2	Haja-asutus	18
7	Yhteenveto	19
	Lähteet	21

Lyhenteet

EVSE	Electric vehicle supply equipment. Sähköauton latausasema.
HEMS	Home Energy Management System. Kodin energianhallintajärjestelmä.
SoC	State of Charge. Sähköajoneuvon akuston lataustaso.
V2G	Vehicle to Grid. Sähköauto yhdistettynä sähköverkkoon. (Verkon huippuhintojen säätelyyn).
V2H	Vehicle to Home. Sähköauto yhdistettynä kodin sähköjärjestelmään.
V2L	Vehicle to Load. Sähköauto yhdistettynä ulkopuoliseen kuormaan esim. toiseen sähköautoon.
V2X	Vehicle to Everything. Sähköauto yhdistettynä mihin tahansa auton ulkopuoliseen kuormaan.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää sähkönvarastoinnin mahdollisuuksia omakotitalouksissa sähköauton avulla. Opinnäytetyössä keskitytään lähinnä sähköautojen V2H-ominaisuuksiin ja teknologian tuomiin mahdollisuuksiin kuluttajalle. V2H:lla tarkoitetaan tilannetta, jossa sähköajoneuvo on yhdistettynä kodin sähköverkkoon. Ajoneuvon ajoakku pystyy tällöin toimimaan kotitalouden virtalähteenä. V2H:n ymmärtämiseksi viitataan myös V2G-teknologiaan, jonka toiminta on hyvin samankaltainen V2H-teknologian kanssa. Tämä työ ottaa ai-noastaan kantaa täyssähköautoihin.

Työssä käsitellään erilaisia käyttökohteita, joissa V2H:ia voidaan hyödyntää järkevästi ja taloudellisesti. Työssä tarkastellaan myös mahdollisia rajoitteita ja kuluja, joita loppukäyttäjä voi kohdata V2H:n käytössä. Työssä kartoitetaan nykyteknologian tilanne V2H-ratkaisuissa, mutta tarkastellaan myös tulevaisuuden näkymiä. Nissan Leafiä ja Volkswagen ID:tä tarkastellaan nykytilanteen kannalta ja tulevaisuuden näkymiä tarkastellaan Volvo EX90:n avulla.

2 Virtuaalinen voimalaitos

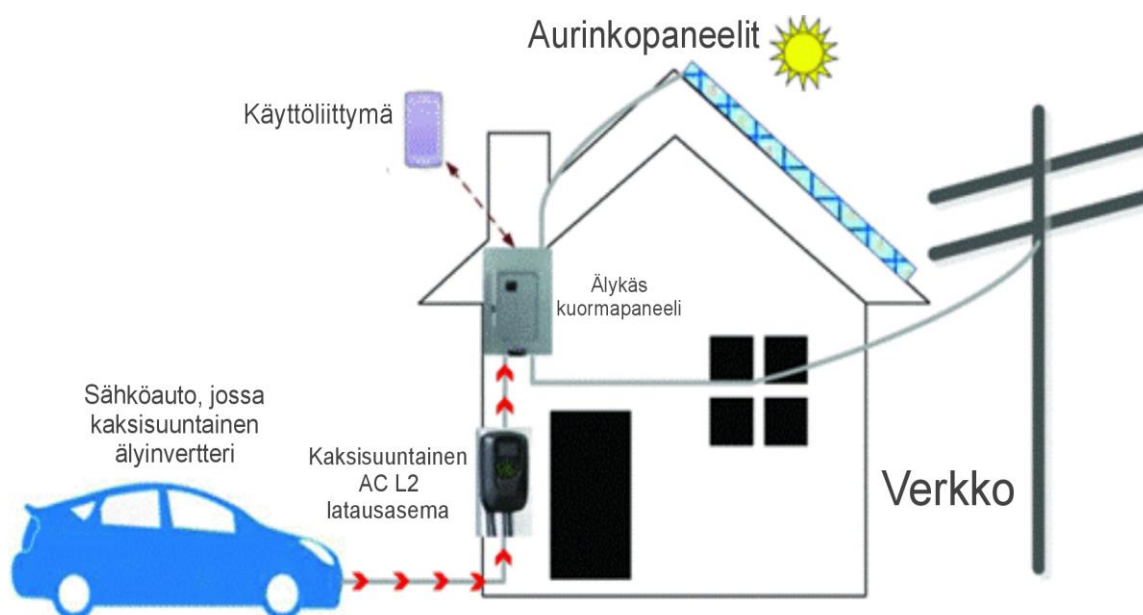
Virtuaalinen voimalaitos on energiaverkosto, joka koostuu pienistä energian -tuottajista tai varastoista, jotka on liitetty yhteen sähköverkkojen välityksellä. Sähköautojen akkujen kapasiteetin kasvaessa sähköautoja voitaisiin käyttää virtuaalisina voimalaitoksina. [1]

Sähköautojen lisääntyessä myös sähköenergian tarve tulee lisääntymään. Sähköyhtiöt kehittelevätkin yhteistyössä autonvalmistajien kanssa yhteensopivia järjestelmiä, joilla voitaisiin minimoida suuren sähköntarpeen luomien kulutushuip-pujen vaikutuksia. Kaksisuuntaisen latauksen ansiosta sähköautoja voidaan hyödyntää energianlähteinä. Thomas Ingenlath, Polestarin toimitusjohtaja to-teea, että ”keskivertoauto on parkkeerattuna 90 % ajasta”. [2]

V2G- ja V2H-tekniologia voisivat muuttaa kuluttajien autot virtuaalisiksi voimalaitoksiksi, jotka tuottaisivat käyttäjälleen rahallista etua ja tukea verkon vakautta, kun autoa on käyttämättömänä parkissa.

2.1 V2H:n toimintaperiaate

Ympäristö päästöjen vähentämiseksi autonvalmistajat ovat alkaneet hyödyntämään V2H (Vehicle to Home) -tekniologiaa, joka mahdollistaa sähköajoneuvon hyödyntämisen kodin energiavarastona tai varavirtalähteenä. V2H mahdollistaa myös sähkönkulutushuippujen tasauksen yksittäisessä kotitaloudessa. Kuvassa 1 on esitetty V2H-järjestelmä kotitaloudessa.



Kuva 1. Hahmotelma V2H toiminta periaatteesta [3].

Lähtökohtaisesti V2H:n toiminta on hyvin yksinkertainen. Käyttäjällä tulee olla sähköajoneuvo, joka tukee kaksisuuntaista latausta, EVSE (Electric vehicle supply equipment, latausasema) ja älypaneeli, joka on yhteensopiva HEMS:n (Home Energy Management System, kodinsähkön hallintajärjestelmä) kanssa. Lisäksi kodista täytyy luoda saareke, eristämällä se sähköverkosta erillisellä kytkentälaitteella.

2.2 Kaksisuuntainen lataus

Kaksisuuntainen lataus mahdollistaa autoon varastoidun tasavirran (DC- virran) muuntamisen vaihtovirraksi (AC- virta). Toisin kuin yksisuuntaisessa latauksessa saatu AC- virta muunnetaan auton hyödyntämäksi DC-virraksi. Kuvassa 2 on Euroopassa käytössä oleva CHAdeMo-standardin mukainen pikalatausliitin.



Kuva 2. CHAdeMo- standardin mukainen pikalatausliitin [4].

CHAdeMo on toinen Euroopassa käytössä oleva kaksisuuntaista latausta tukeva pikalatausliitin. CHAdeMo-standardin pikalatausliitintä käyttävät muun muassa Nissan ja Mitsubishi, vaikka kyseessä on poistuva latauspistokemalli. CHAdeMo-standardin rinnalla on yleistynyt CCS2- standardin latausliitin (kuva 3), joka tukee myös kaksisuuntaista latausta. CCS- liitintä käyttäviä autonvalmistajia ovat mm. Hyundai, Kia, Volvo ja Volkswagen. [5]



Kuva 3. CCS Combo 2 -latausjärjestelmä [6].

Ajoneuvon kaksisuuntaistalatausta voivat hyödyntää mm. V2H (Vehicle to Home), V2G (Vehicle to Grid), ja V2L (Vehicle to Load), näissä tapauksissa ajoneuvon akku toimii virtalähteenä ajoneuvon ulkopuolisiin virrankuluttajiin.

2.3 Älykkäät kodin latausjärjestelmät

2.3.1 Kaksisuuntaiset latausasemat

Markkinoilla on monia kaksisuuntaisia latausasemia, kuten Wallbox Quasar 2, Hihgbury, Emporia V2X, Fermata Energy FE-20 ja Delta V2H. Näiden latausasemien toiminnasta ei löydy eroavaisuuksia muuten kuin niiden lataustehosta.

Delta V2H, Emporia V2X ja Wallbox Quasar 2 on myös varustettu sisäänrakennetuilla varavirtaominaisuuksilla. Emporia V2X:ssä on myös sisäänrakennettu saareketila, joka eristää sen ulkopuolisesta verkosta. Nämä latausasemat ovatkin käyttövalmiita joko V2G- tai V2H-käyttöön. Latausaseman valmistajasta riippuen, kaksisuuntainen latausasema maksaa arviolta 1400 € – 6900 €. [7]

2.3.2 Älykäs lataus

Kaksisuuntaisten latausasemien rinnalla on markkinoilla älykkäitä latureita. Älykkäät laturit ovat yksisuuntaisia latausasemia, jotka lähettävät tietoa pilvipalveluun Bluetoothin tai Wi-Fi:n välityksellä. Älykäs lataus mahdollistaa ajoneuvon

tehokkaan latauksen edullisesti ja verkkoystävällisesti matalien kulutushuippujen aikana. [8]

Älykkäiden latausasemien avulla voidaan määrittää maksimaalinen energiankulutus sähköauton lataukseen, asettaa latauksen aloitusaikoja ja seurata yleistä energian kulutusta. Tähän vaaditaan joko ulkopuolisia sensoreita, tai laturin on oltava OCPP:n (Open Charge Point Protocol) kanssa yhteensopiva. Vaikka tämänkaltaisia latausasemia voidaan hyödyntää esimerkiksi aurinkoenergialla lataamiseen, kaikki älykkäät latausasemat eivät kuitenkaan mahdollista V2H-ominaisuutta. [9]

2.3.3 Volvo EX90

Volvo on ilmoittanut, että vuonna 2024 toimitukseen tuleva EX90-malli on suunniteltu V2X-ajatus huomioiden. EX90 on varusteltu älykkäällä latausominaisuudella, jota käyttäjä pystyy hallinnoimaan suoraan Volvo Cars -sovelluksella.

Volvo onkin avoimesti ilmoittanut käynnistyvästä V2G-pilottiohjelmastaan (Volvo Cars Energy Solutions) Ruotsissa laajemman V2G:n kokeilemiseksi. [10] EX90:n mukana tulee ostajalle kaksisuuntainen latausasema. Tulevaisuudessa Volvo tarjoaisikin asiakkailleen EX90:n mukana valmiita järjestelmiä aurinkoenergian varastoimista varten. Tällöin EX90 olisi käyttövalmis toimimaan kotitalouden energian tarpeiden avustamisessa. [11]

2.3.4 Nissan Leaf ja Volkswagen ID

Nissan Leaf on maailman ensimmäinen 100-prosenttisesti päästötön sähköauto, joka on suunnattu laajoille markkinoille. Nissan on lanseerannut myös oman sähköajoneuvoekosysteemiohjelmansa, Nissan Energyn. Nissan Energyn tarkoituksena on kaksisuuntaista latausta hyödyntäen tarjota kuluttajaystävällisiä ratkaisuja sähköauton lataamiseen ja sähkön varastoimiseen. [12]

Nissan hyödyntää omissa sähköajoneuvoissaan myös älypuhelin sovelluspohjaista akun etähallinta työkalua, jonka avulla kuluttaja pystyy hallinnoimaan ajoneuvon latausta ja tarkastelemaan akun tilaa [13].

Kuten Volvo on myös Volkswagen ilmoittanut aloittavansa V2H/V2G-pilottiohjelman Ruotsissa yhteistyössä HagerEnergy GmbH:n kanssa. Pilottiohjelman tarkoituksena onkin vakauttaa verkon toimintaa ja lisätä kuluttajien omavaraisuutta sähkön käytössä.

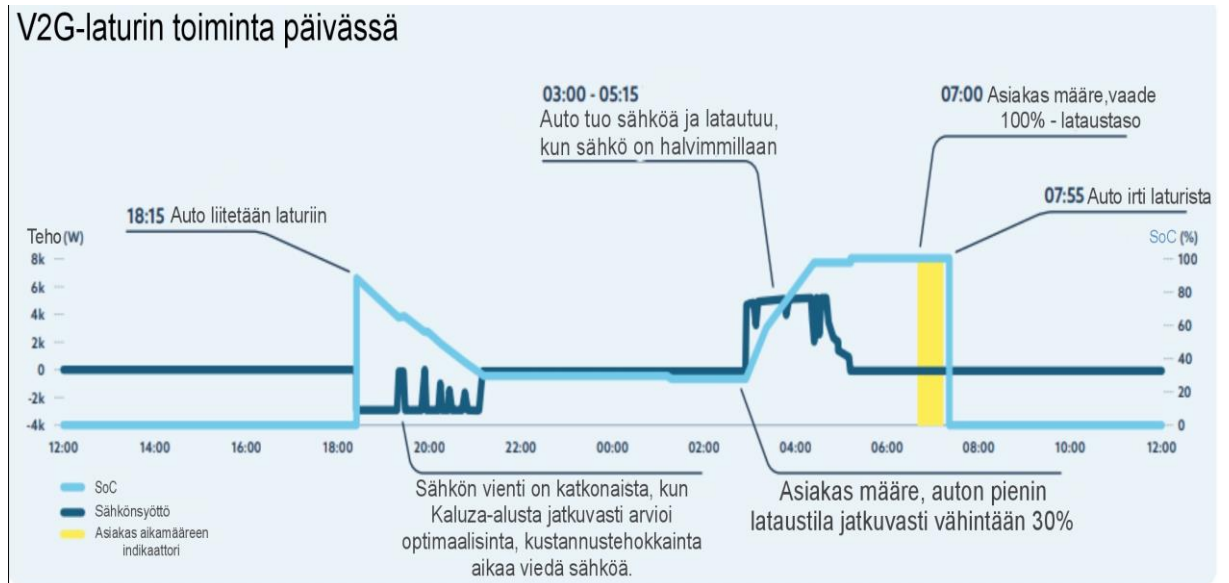
Volkswagen on ilmoittanut, että ID-mallit, joissa on 77 kWh:n akku, tulevat jatkossa tukemaan kaksisuuntaista latausta. Näitä malleja ovat ID.3, ID.4, ID.5, ID.7 ja ID.Buzz. Myös jo toimitetuissa ajoneuvoissa tämän ominaisuuden saa kytkettyä ID 3.5 -ohjelmiston myötä. Täältä akkukapasiteetilta odotetaan kahden päivän energia omavaraisuutta, mikäli kotitalouden sähkönkulutus päivässä on arviolta 30 kWh ja korkeajänniteakun ei sallita alittavan 20 % SoC:a (state of charge). [14]

3 V2H:n näkymät kotitalouksissa

3.1 Joustava energiankäyttö

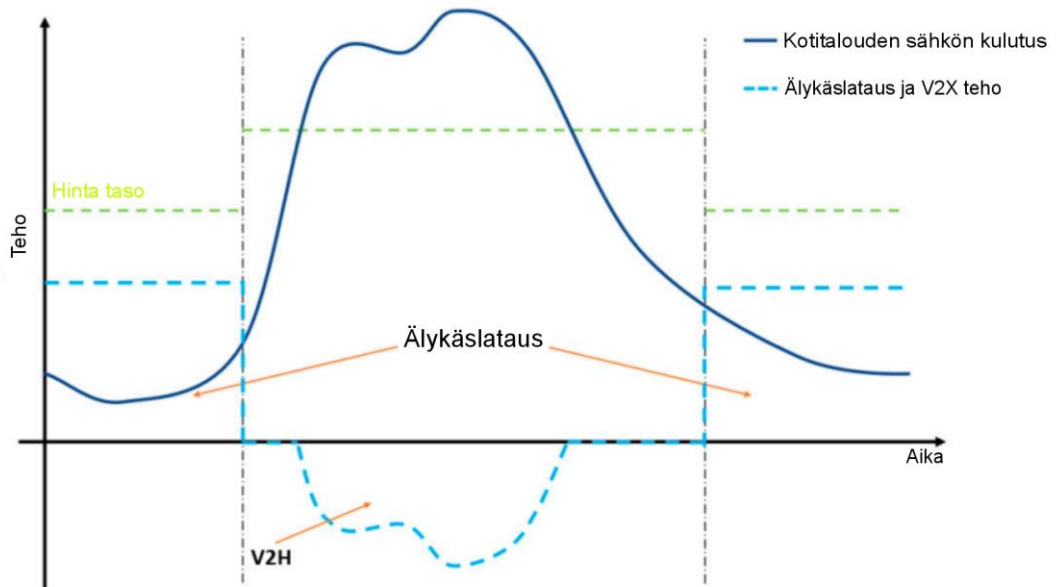
Kuvassa 4 on esitetty esimerkki V2G- latauksen hyödyntämisestä. Sama periaate toimii myös V2H-latauksessa. Joustava energian käyttö helpottuu V2X-tekniikan myötä. Esimerkin tapauksessa voidaan nähdä, miten kaksisuuntaista latausta pystytään hyödyntämään yhteistyössä ajoneuvovalmistajien, sähkön jakeluyhtiöiden ja energia ohjelmistoyhtiöiden yhteistoiminnassa.

Kuvan 4 tilanteessa älykäs energiaohjelmisto tekee päätöksiä kuluttajan puolesta ostaa energiaa, kun se on halvimmillaan, ja ladata tällöin auton akustoa. Kun taas energian hinta on korkea, ohjelmisto myy automaattisesti auton akkuun varastoitua energiaa takaisin verkkoon, kuitenkin ottaen huomioon asiakkaan tarpeen käyttää autoa liikkumiseen myöhemmin.



Kuva 4. Nissanin, Kaluzan ja OVO Energyn projektityhteistyössä kuvattu V2G-laturin toiminta päivän aikana [15].

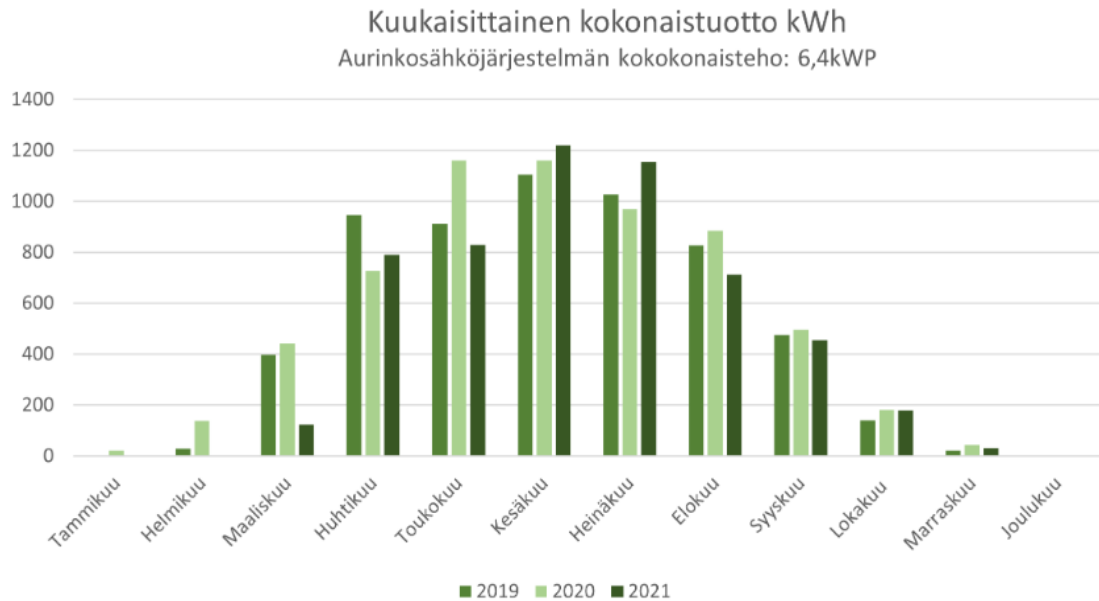
V2H:n käytössä samankaltainen tilanne on myös mahdollinen poiketen tosin siinä, ettei energiaa myytäisi korkeiden kulutushuippujen aikana. Korkeiden kulutushuippujen aikana ajoneuvon akustoon varastoitu energia ohjattaisiin suoraan HEMS:lle ja siitä kotitalouden sähkökuluttajille. Näin ollen kuluttaja voi itenäisellä toiminnallaan edesauttaa verkon kuormitusta ja säästää energian kulutuksessa. Kyseistä latausmallia nimitetään, ajansiirroksi ja huippujen leikkaukseksi (kuva 5). Tämän lataustoimintamallin ympärillä on tehty merkittäviä kokeellisia havaintoja, jotka liittyvät energia kustannusten, akun rappeutumisen, CO₂-päästöjen ja verkon käyttöasteen vähentymiseen verrattuna perinteiseen, ei-kontrolloituun lataukseen. Järjestyksessä huomattu vähentymä näissä oli 88,2 %, 67 %, 34 % ja 90 %. [16]



Kuva 5. V2H:n älykkään latauksen avulla toteutettu ajonsiirto ja huippujen leikkaus [17].

3.2 Aurinkoenergian tallennus

Jos kotitaloudessa on käytössä aurinkopaneeleja, V2H mahdollistaa tämän energian tallentamisen auton akkuun ja käytön myöhemmin. Tämä auttaa optimoimaan uusiutuvan energian käyttöä. Kuvassa 6 on esitetty esimerkki kokonaistuotosta kuukausittain (kWh). Kolmen vuoden tuoton keskiarvo kWh:ina on ollut kyseisellä järjestelmällä 5867 kWh/vuosi.



Kuva 6. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän kokonaistuotosta kuukausittain [18].

Jos huomioidaan keskiwerto ajomäärä Suomessa (noin 14 000 km/vuosi tai 38,4 km/päivä) [19], voimme laskea tämän perusteella sähköajoneuvon vuotuisen sähkön kulutuksen. Esimerkkinä käytämme Volvo EX90:tä ja Nissan Leafiä. Volvon ilmoittama arvio keskikulutuksesta EX90:llä on 20,9 kWh / 100 km, ja Leafillä vastaava arvio on 16,5 kWh / 100 km; arviot eivät sisällä mahdollisia lataushäviöitä. Päivittäinen keskikulutus saadaan laskettua kertomalla kilometrikohtainen kulutus (kWh/km) päivittäisellä ajomäärällä (km).

$$\text{EX90: } 38,4 \text{ km} \times 0,209 \text{ kWh/km} = 8,03 \text{ kWh}$$

$$\text{Leaf: } 38,4 \text{ km} \times 0,165 \text{ kWh/km} = 6,34 \text{ kWh}$$

Tarvittava aurinkoenergia kW:na saadaan laskettua jakamalla päivittäinen kulutus auringon korkeatuottoisten tuntien määrällä (arviolta 4,5 tuntia):

$$\text{EX90: } 8,03 \text{ kWh} / 4,5 \text{ h} = 1,78 \text{ kW}$$

$$\text{Leaf: } 6,34 \text{ kWh} / 4,5 \text{ h} = 1,408 \text{ kW}$$

Kun tarvittava aurinkoenergia on tiedossa, voidaan määrittää tarvittavien paneelien määrä. Aurinkopaneelien määrä saadaan jakamalla aurinkokennojen tuotto

latausta varten aurinkopaneelin teholla (käytämme paneelin tehona esimerkissä 410 W:a).

$$\text{EX90: } 1,78 \text{ kW} / 0,41 \text{ kW} = 4,3 \text{ paneelia}$$

$$\text{Leaf: } 1,408 \text{ kW} / 0,41 \text{ kW} = 3,4 \text{ paneelia}$$

Päivittäisen kulutuksen takaisin lataaminen, arvioidulla 0,24 €/kWh hinnalla maksaisi tällöin:

$$\text{EX90: } 8,03 \text{ kWh} \times 0,24 \text{ €/kWh} = 2,01 \text{ €}$$

$$\text{Leaf: } 8,25 \text{ kWh} \times 0,24 \text{ €/kWh} = 1,52 \text{ €}$$

Edeltävästä voidaan huomata, että sähköauton päivittäinen kulutus saadaan ladata kohtalaisen pienellä aurinkopaneelijärjestelmällä. Huomioon tulee ottaa kuitenkin, että laskelmassa ei ole huomioitu muita kotitalouden kuluttajia. V2H-järjestelmässä ladatun energian pystyisi myös myöhemmin ohjaamaan auton akulta kotitalouden muuhun käyttöön.

3.3 Sähköajoneuvo varavirtalähteenä

Kun sähköajoneuvoa käsitellään varavirtalähteenä, on hyvä määrittää, millaisesta käyttötilanteesta tällöin on kyse. Sähköajoneuvo varavirtalähteenä V2H:n käytössä tarkoittaa sitä, että sähkönjakeluverkoston yhteys on hetkellisesti tai pidempi aikaisesti estynyt tai katkennut kotitalouden sähköverkkoon. Tällöin kotitalouden sähkön kulutus tarpeet varmistetaan sähköajoneuvon akkuun varastoidulla energialla.

Sähköajoneuvon akkua voidaan käyttää varavirtalähteenä muun muassa kotitaloudessa tai esimerkiksi kesämökillä. Seuraavassa tarkastellaan Volvo EX90:n ja Volkswagen ID.7:n avulla, miten kauan tämänkaltaisen tilanne olisi mahdollinen. Volvo EX90:n akun nimellisakkukapasiteetti on 111 kWh, josta 107 kWh on käytettävissä [6]. Volkswagen ID.7:n nimellisakkukapasiteetin on ilmoitettu olevan 82 kWh, josta 77 kWh on käytettävissä [20]. Kun otetaan huomioon Lumme

Energian arvio kotitalouden vuotuisesta sähkönkulutuksesta (noin 5000 – 20 000 kWh vuodessa), voidaan myös laskea päivittäisen keskimääräisen kulutuksen määrä. Keskimääräinen sähkönkulutus Suomessa on suuntaa antava, koska Suomessa kesällä lämmityksen tarve ei ole yhtä suuri kuin talvella. Vuotuisena kulutuksen keskimääränä käytämme 10 000 kWh:a/vuosi, josta laskettu yhden päivän keskimäärä sähkön kulutukselle on 27,4 kWh.

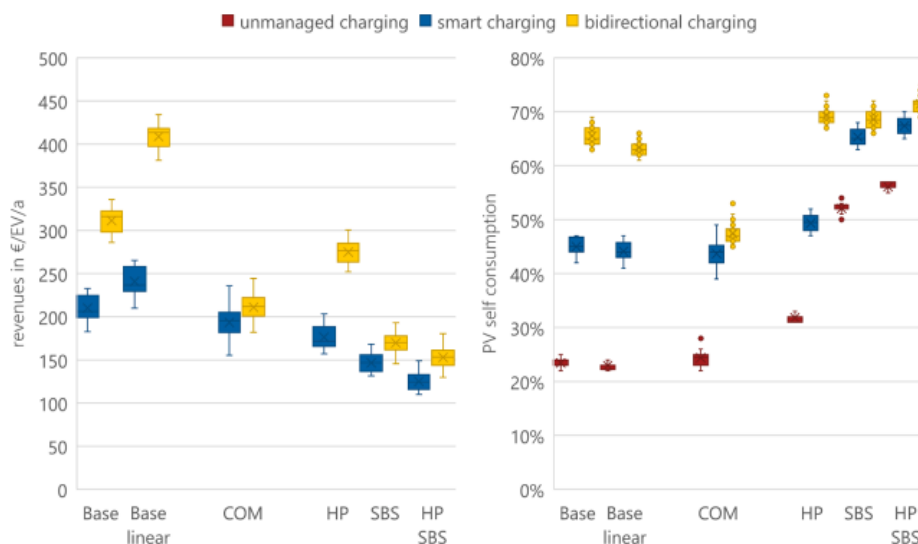
Sähköajoneuvon akun kulumisen minimoimiseksi akkua vältetään purkamasta alle 20 %:n SoC:iin tai varaamasta sitä yli 80 %:n SoC:iin. Täten käytettävä kapasiteetti varavirta käyttöön EX90:llä on 64,2 kWh ja ID.7:llä vastaava 60 %:n osuus akun kapasiteetista on 46,2 kWh. EX90:n akulla kotitalouden kaikki sähkönkulutustarpeet katettaisiin 2,3 päivää ja vastaavasti ID.7:n akulla 1,7 päivää. Jos kuitenkin kotitaloudessa voidaan karsia ylimääräisiä sähkönkuluttajia pois, voidaan päästä 10 kWh:n päiväkulutukseen riippuen kotitalouden lämmityspinta-alasta. Karsimalla sähkönkuluttajien käyttöä kykenisi EX90 10 kWh:n päiväkulutuksella toimimaan 6,4 päivää ja ID.7:n 4,6 päivää kotitalouden varavirtalähteenä.

4 Sähkön varastoinnin kannattavuus

4.1 Taloudellinen hyöty

Sähkön varastoinnin kannattavuus ei ole kovin suoraviivainen käsite, kun ottaa huomioon mitkä muuttujat siihen todellisuudessa vaikuttavat. Muutamia näistä tekijöistä ovat muun muassa sähköajoneuvon akkukapasiteetti, EVSE:n maksimiteho, aurinkopaneelijärjestelmän piikkiteho, tariffit, kotitalouden koko ja maksimitoiminta-aika sähköajoneuvolla ja EVSE:llä.

Tulee myös huomioida, että hyvin optimoitu kaksisuuntainen lataus verrattuna ei-optimoituun perinteiseen yksisuuntaiseen lataukseen, tai optimoituun älykkääseen lataukseen on energiatehokkuuden kannalta ja tuotoiltaan kannattavampi vaihtoehto (kuva 7).



Kuva 7. Tulot ja aurinkopaneelien oma kulutus peruslineaarissa sekalukuohjelmointi skenaariossa verrattuna peruslineaariseen skenaarioon [21].

ScienceDirectissä 2022 julkaistun tutkimuksen simulaatiossa havaittiin, että tulot saksalaiselle keskivertokotitaloudelle kaksisuuntaisen latauksen ansiosta olisivat 310 €/vuosi ja vastaavasti pelkästään älykkäällä latausjärjestelmällä 210 €/vuosi. Varteen otettava huomio kyseisessä tutkimuksessa oli, että V2H:n tuotot olivat suurempia kesäkuukausina aurinkopaneelijärjestelmien takia. Samaisessa tutkimuksessa havaittiin, että yhdistämällä V2G- ja V2H-toiminta, vuotuiset tulot nousivat 220 €/vuosi. Tämä oli suoraan seurausta siitä, että V2G pystyi tuottamaan paremmin myös talvikuukausina. [21]

Vastaavanlaisiin tuloksiin on myös päästy V2G-pilottiohjelmilla. Kaluzan pilottiohjelmassa havaittiin, että keskiverto asiakas säästi V2G-pilottiohjelman aikana 442,68 €/vuosi. Huomioon tulee kuitenkin ottaa, että kyseisessä pilottiohjelmassa asiakkaat saivat etuutena kaksinkertaisen hinnan sähkön myynnistä. [15]

Kun V2H ja V2G tulevat yleistymään tulevaisuudessa, näemme mahdollisesti energiayritysten ja käyttöjärjestelmien tarjoajien sopimuksia, jotka voivat mahdollistaa korkeammat tuotot asiakasetujen ansiosta. Nykyisen näytön ja tutkimusten pohjalta, tämän kaltaisessa tapauksessa odotettavat tuotot voivat hyvin olla yhdistetyn V2H:n ja V2G:n käytössä lähemmäs 800 €/vuosi.

4.2 Käyttökustannukset

Kun katsotaan V2H:n tai V2G:n kokonaistuottoa, tulee ottaa huomioon järjestelmän käyttökustannukset. Alkusijoitus pienen tuoton volyymin V2H-latausjärjestelmän rakentamiseksi maksaa arvioltaan 1400–6900 €. Maksimaalisen tuoton saamiseksi on järjestelmään järkevää myös lisätä aurinkopaneelijärjestelmä. Alkusijoitus aurinkopaneelijärjestelmälle on järjestelmän koon (3–12 kW) mukaan arviolta 5000–10000 € asennettuna.

Alkusijoituksen lisäksi tulee huomioida järjestelmän vuotuiset huoltokustannukset. Tyypillisesti huoltokustannukset molemmille järjestelmille ovat merkityksettömän pieniä (1–2 % järjestelmänhinnasta vuodessa). Olettaen, että EVSE:n käyttöikä on 15 vuotta ja aurinkopaneelijärjestelmän käyttöikä on 25 vuotta, voidaan laskea karkeasti taloudellisen sijoituksen kannattavuus. EVSE:n käyttöiän aikana saatu tuotto V2G- ja V2H-latauksella olisi täten 7950 € / 15 vuotta. Alkusijoituksen määrän mukaan, ei olisi siis kannattavaa sijoittaa V2G- tai V2H-järjestelmään pelkästään taloudellisen säästön/tuoton vuoksi.

Sähköajoneuvon akulle voidaan myös laskea yhden puretun kilowattitunnin hinta (€/kWh). Esimerkkinä on laskettu Volkswagen ID.7:n akustosta yhden puretun kilowattitunnin hinta, kun akkutakuu on 160 000 km, uuden akun hinta on 13 200 € ja kulutus ajossa on 162 Wh/km [20].

Ensin laskettiin, montako kilometriä yhdellä kWh:lla pystyy ajamaan. Yhtä kilowattituntia kohden ajoneuvolla voi ajaa 6,17 km. Akkutakuun aikana akun purkama kokonais- kWh-määrä saadaan jakamalla takuun pituus (km) ajoneuvon ajamalla matkalla kilowattituntia kohden km/kWh.

$$160\,000\text{ km} / 6,17\text{ km/kWh} = 25\,920\text{ kWh}$$

Tämän jälkeen saadaan selville akustosta puretun yhden kilowattitunnin hinta, kun tiedetään uuden akuston hinta.

$$13\,200\text{ €} / 25\,920\text{ kWh} = 0,51\text{ €/kWh}$$

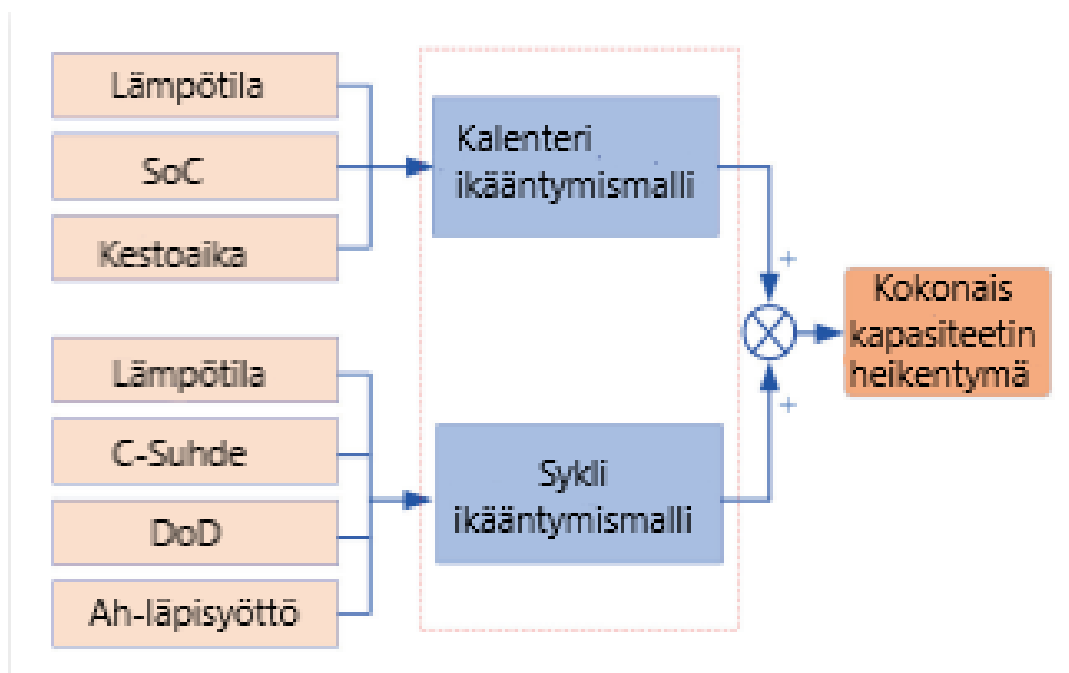
Tämän tiedon pohjalta voidaan myös tehdä karkea arvio siitä, onko sähköä järkevä purkaa ajoneuvon akulta V2H- tai V2G-käytössä. Sähköä on taloudellisesta näkökulmasta järkevää purkaa, jos sähköverkosta saadun sähkön hinta ylittää 0,51 €/kWh. Jos verkkosähkön hinta on kuitenkin tätä alhaisempi, tulee V2H ja V2G maksamaan ID.7:n käyttäjälle enemmän kuin ajoneuvon normaali käyttö ajaessa.

5 Ekologisuus ja ympäristö

5.1 Sähköautojen akkujen käyttöikä

Sähköajoneuvon akun vanhenemiseen vaikuttavat yleisimmät tekijät ovat akun kuormitus, kalenteriaika ja lataussyklien määrä. Tyypilliselle akulle luvataan käyttöikää 100 000 – 160 000 km tai 5–8 vuotta ennen kuin akun kunto on laskenut huomattavasti. Sähköauton akkua ei kuitenkaan tulisi koskaan ladata yli 80 %:n SoC:iin tai purkaa alle 20 %:n SoC:iin akun kulumisen minimoimiseksi. Tyypillinen akku menettää noin 1–2 % maksimikapasiteetista vuotuisesti. [22]

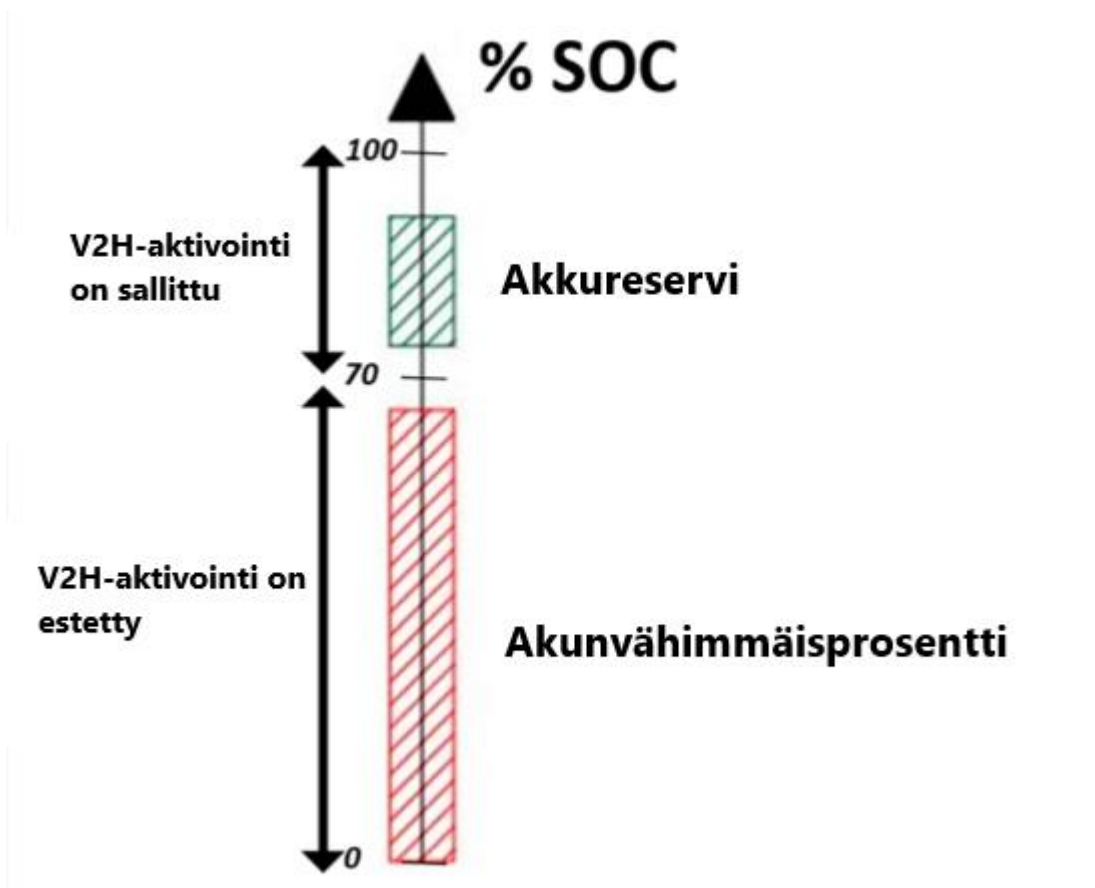
Johtuen V2G:n ja V2H:n vaihtelevasta lataus- ja purkukäyttäytymisestä voidaan odottaa akun kuluvan nopeammin. Näissä tapauksissa akun kulumiseen vaikuttavat suuresti kalenterikuluminen sekä syklikuluminen. Todellista akunkulumaa voidaan arvioida yhdistetyllä ikääntymismallilla. Kalenteri-ikäntymismallissa yhdistetään ulkoisenlämpötilan, SoC:n ja kestoajan yhteisvaikutus akun kulumiseen. Kalenteri-ikäntymismallin rinnalla käytetään sykli-ikäntymismallia, jossa yhdistetään akunlämpötilan, C-suhteen, DoD:n (Depth of Discharge) ja Ah-läpisyötön yhteisvaikutus. Kokonaiskapasiteetin heikentymää voidaan laskea selvemmin sykli-ikäntymismallin ja kalenteri-ikäntymismallin yhteisvaikutuksilla. (Kuva 8.)



Kuva 8. Akuston kokonaiskuluman malli [23].

Lataus- ja purkusyklien määrän lisääntymisestä huolimatta V2H- ja V2G-käytössä, on kehitettyjen simulaatioiden ja latausalgoritmimallien ansiosta kuitenkin näyttöä, etteivät V2G ja V2H olisi ajoneuvon akuille haitallisia. ScienceDirectin tutkimuksessa 2017 havaittiin, että latausalgoritmimalli jopa pidensi akun elinikää. Tutkimuksessa havaittiin, että älykkään verkon muotoilulla saatiin pienennettyä akun kapasiteetin kulumaa 9,1 % ja tehon kulumaa lähemmäs 12,1 % verrattuna akun tyyppilliseen kalenterikulumaan. [24]

Myös 2023 pidetyssä konferenssissa esitetty tutkimus pääsi vastaavanlaisiin tuloksiin. Tutkimuksessa havaittiin, ettei V2H:lla tai V2G:llä ole merkittävää vaikutusta akun kulumiseen, mikäli lataus tapahtuu kontrolloidusti [25]. Havaintojen perusteella on täten oletettavaa, ettei kaksisuuntainen lataus vahingoita akun kapasiteettia, mikäli V2H tai V2G tapahtuu kontrolloidusti latausalgoritmin avulla. Kuvassa 9 on esitetty latausalgoritmille annetusta rajoituksesta koskien SoC: a.



Kuva 9. Esimerkki latausalgoritmille annettavista rajoitteista V2H:n aktivoimiseksi [17].

Ajoneuvon BMS (akun hallintajärjestelmä) kommunikoi EVSE:n kanssa ja välittäisi sille laskennalliset tiedot akulta saatavasta energiasta ja tehosta. EVSE:n takana toimiva algoritmi pystyisi näistä BMS:n lähettämistä tiedoista laskennallisesti määrittämään onko akkua järkevä purkaa tai ladata, jotta nämä ylimääräiset syklit eivät nopeuttaisi akun kulumista. Kuvassa 8 on esitetty määreitä, joita algoritmin tulisi laskennallisesti huomioida lataus tapauksessa.

5.2 Uusiutuvat energianlähteet

Aurinkoisena tai tuulisena päivänä aurinko- tai tuulivoima voi parhaimmillaan tuottaa enemmän sähköenergiaa, kuin sille olisi tarvetta. Uusiutuvien energian lähteiden tuoton yhteydessä on ollut ongelmana energian järkevä varastointi. Kaksisuuntainen lataus onkin tästä syystä saanut kasvavissa määrin huomiota suurilta autonvalmistajilta. [26]

Tyypillisesti ylituotettu sähkö joko myydään toiselle markkina-alueelle tai se varastoidaan. V2H ja V2G voisivat olla osana tätä ylituotetun sähköenergian varastointia. Yli tuotettu sähköenergia saataisiin varastoitua kaksisuuntaisen latauksen ansiosta ajoneuvojen akkuihin myöhempää käyttöä varten. Tätä sähköenergian varastointia ja jälleen käyttöä varten tarvitaan kuitenkin laaja sähköautokanta, minkä jälkeen voidaan muodostaa älykäs verkko ja mikroverkkoja. Älykäs verkko on laaja latausverkosto kaksisuuntaista latausta tukeville autoille ja mikroverkko on esimerkiksi yksittäinen kotitalous. Verkkojen sisällä ajoneuvot välittävät hyväksytyille operaattorille esimerkiksi kaksisuuntaisen laturin lataus- ja purkutietoja. [27]

Ilman tätä älykästä verkkoa ei pystytä esimerkiksi ohjaamaan sähköenergian tuottoa ajoneuvon akkuihin. Jotta energian varastointi olisi mahdollista laajamittaisesti, vaatii se myös kattavamman sähköautojen latausinfrastruktuurin. V2H kuitenkin mahdollistaa jo osittaisen uusiutuvan energian varastoinnin aurinkopaneeleista saaduista aurinkoenergiasta. Kaluzan V2G-pilotissa on kuitenkin jo pystytty lataamaan ajoneuvoja matala päästöisen sähköntuotannon aikana, eli kun saatavilla on ollut paljon uusiutuvaa energiaa. Pilotin aikana 330 auton laivasto säästi päivässä 192 kg CO₂-päästöjä ja koko pilotin aikana yhteensä 46,8 tonnia CO₂-päästöjä. [15]

6 V2H:n tulevaisuudennäkymät

V2H tulee yleistymään ennen V2G:n laajempaa käyttöönottoa. Suurimmat tekijät tälle on sähköautojen latausinfrastruktuurin puute, sähköautojen pieni määrä polttomootoriautoihin nähden, riittämättömät älykkäät verkot sekä riittävän tason standardoinnin puute. [28]

V2H verrattuna V2G:iin on rakenteellisesti huomattavasti yksinkertaisempi toteuttaa. V2G:n ongelmana verrattuna V2H:n on laajojen standardien aikaansaaminen. Tästä huolimatta todellisuus V2H:n tilanteesta on vielä varsin avoin, koska sen käytöstä ei ole vielä saatu laajempaa vankkaa näyttöä simulaatioiden tai laboratorioympäristöjen ulkopuolella.

6.1 V2H:n yleistymisen mahdolliset vaikutukset

Tulevaisuuden osalta näyttäisi lupaavalta, että V2H-teknologia tulee halpenemaan, kun useampi ajoneuvovalmistaja alkaa hyödyntämään kyseistä teknologiaa. Lisäksi voidaan olettaa Volvo EX90:n esimerkin tapaan, että ajoneuvovalmistajat alkaisivat sähköautojen mukana myymään valmiita V2H- tai V2G-paketteja, jotka sisältävät aurinkopaneelijärjestelmät sekä kaksisuuntaisen latausaseman.

Kun V2H:n mahdollistaman teknologian hinta alenee, tulee V2H olemaan taloudellisesti myös kannattavampi. Kun V2G:n käyttö tulee laajenemaan se tuo mukanaan myös järjestelmän, joka on paljon vakaampi ja taloudellisesti kannattavampi, myös kuluttajalle ja energian tarjoajalle. Tämän myötä voidaan odottaa esimerkiksi parempia tarjouksia sähkön myyntihinnoista, sekä sähkön myyntihintojen vakautta, jotka voivat tehdä V2H:sta taloudellisesti kannattavamman.

V2H:n voidaan olettaa yleistyvän myös siksi, että sillä on suurta näyttöä CO₂-päästöjen alentamisessa. V2H:n myötä myös sähköomavaraiset asunnot tulevat yleistymään. Tämän voidaan olettaa olevan todennäköinen kehityssuunta, kun otetaan huomioon maailmanlaajuiset ilmastositoumukset, tavoitteet sekä trendit.

6.2 Haja-asutus

V2H:n suurin potentiaali on energiaomavaraisuutta vaativissa asutuksissa. Tämänkaltaisia asutuksia ovat esimerkiksi kesämökit ja asutus alueilla, joissa esiintyy suuri mahdollisuus sähkökatkoksille. Suomessa vastaavanlaisia korkean riskin alueita ei ole kuten esimerkiksi Kiinassa tai Japanissa, joissa esiintyy merkittäviä riskejä muun muassa maanjäristyksille tai muille suurille luonnonilmiöille. Lisäksi myös merkittävä määrä tutkimuksista, jotka selvittävät V2H:n toimivuutta, on tehty Australiassa. Kuitenkin V2H-järjestelmä voi myös Suomessa tuoda käyttäjälleen enemmän sähköomavaraisuutta ja vakautta elämiselle.

Suomi on pitkä ja haja-asuttu maa, jonka asukasmäärä keskittyy lähinnä suuriin kaupunkialueisiin. Haja-asutuksessa tai loma-asunnoissa V2H voi tuoda pientä lisäarvoa. Kesämökille mentäessä voitaisiin sinne viedä sähköt sähköauton mukana V2H:n avulla. Vastaavasti kun pienikulutuksellinen mökki saisi tarvittavan sähkön sähköauton akustosta, voitaisiin mökkiä pitää muutoin täysin lähes sähköttömänä käyttökauden ulkopuolella. V2H:n varavirta ominaisuus toisi myös turvan haja-asutus alueille mahdollisten sähkökatkojen varalta.

7 Yhteenveto

Tämä työ toteutettiin aluksi keräämällä kattava määrä materiaalia eri tutkimuksista ja ulkoisista verkkoartikkeleista sekä blogeista. Tutkimusten tuloksien vertailulla saatiin mahdollisimman laaja ja monipuolinen näkemys V2H-tekniikasta ja pystyttiin sulkemaan pois mahdolliset ennako-oletukset.

V2H-tekniikka on yleistynyt isojen autovalmistajien uusissa tuotantoautoissa vihreän energian käytön ja energian varastoinnin kysynnän kasvaessa. V2H-tekniikka on vielä kuitenkin suhteellisen kallista johtuen pienestä sellaisten tuotantoautojen määrästä, jotka tukisivat tätä tekniikkaa. V2H:n ja V2G:n kehitystä ajaa eteenpäin lähinnä ajatus nollapäästöisistä kotitalouksista ja energiaomavaraisuudesta. Lisäksi V2H ja V2G nähdään suurena apuna sähköverkon kulutushuippujen ja sähköverkon kuorman tasaamisessa.

Erilaisten simulaatioiden ja tutkimusten perusteella on pystytty osoittamaan, että tällä tekniikalla on merkittävä vaikutus CO₂-päästöihin. Tutkimukset osoittavat myös, että V2H ei nopeuttaisi ajoneuvojen akustojen rappeutumista. Päinvastoin on havaittu, että latausalgoritmien ja kontrolloidulla latauksella olisi positiivista vaikutusta akustojen keston kannalta.

V2H:n käyttöönottoon vaadittu sijoitus on kuitenkin esteenä V2H:n yleistymiselle tällä hetkellä. Kuluttaja ei alkusijoitukseen nähden hyödy V2H:n ansiosta taloudellisesti. Tämä voidaan nähdä vaikuttavan negatiivisesti V2H:n kiinnostavuuteen. V2H voi olla järkevä sijoitus taloudellisesti henkilölle, jolla on jo

entuudestaan käytössä aurinkopaneelijärjestelmä. V2H:n sijaan nykyteknologiaa tarkastellen, taloudellisesti kannattavin vaihtoehto omakotitaloudessa asuvalle sähköautoilijalle on sijoittaa älykkääseen latausjärjestelmään. Älykkään latausjärjestelmän säästöt ovat käyttäjälleen suhteellisesti isommat alkusijoituksen määrään nähden toisin kuin V2H:n taloudelliset säästöt tai tulot.

V2H:n järkevä käyttökohde on haja-asustusalueen omakotitaloudet tai kausi- ja loma-asunnot. V2H:n etuutena on energianomavaraisuuden lisääntyminen sekä riippuvuuden vähentyminen sähköverkosta. Lisäksi V2H tuo käyttäjälleen lisää turvaa muun muassa aluilla, joissa sähkökatkot ovat yleisiä. V2H:n käyttöönotto tuleekin lisääntymään tulevaisuudessa, kun se yleistyy sähköautoissa. Tällöin voidaan olettaa myös korkeampia säästöjä ja tuottoja loppukäyttäjälle, kun V2H:n kustannukset pienentyvät.

Lähteet

- 1 Explainer: What Is a Virtual Power Plant? 2023. Verkkoaineisto. Reuters. <<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/what-is-virtual-power-plant-2023-01-31/>>. Luettu 9.1.2024.
- 2 Polestar Initiates V2G Projects and Develops Virtual Power Plant to Support Large-Scale Energy Transition. 2023. Verkkoaineisto. Polestar Press. <<https://media.polestar.com/global/en/media/pressreleases/675426/polestar-initiates-v2g-projects-and-develops-virtual-power-plant-to-support-large-scale-energy-trans>>. Luettu 9.1.2024.
- 3 Mohamed, A. A. S.; Zulkefli, A. M; Sagar; S. M. V.; Gajjarapu U. M.; Thomas A. & Bhavaraju V. Smart Vehicle-to-Home (V2H) Platform Enabled Home Energy Management System (HEMS) for Backup Supply. 2023. Verkkoaineisto. IEEE Green Technologies Conference. <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10173790>>. Luettu 9.1.2024.
- 4 Latauspistoketyypit sähköautoille. Verkkoaineisto. Plugit. <<https://plugit.fi/artikkelit/latauspistoketyypit-sahkoautoille/>>. Luettu 9.1.2024.
- 5 Ikonen, Taneli. 2023. Kaksisuuntainen lataus – Mistä on kyse? Verkkoaineisto. Nordic Plug. <<https://nordicplug.fi/blogs/sahkoautot-ja-lataaminen-blogi/kaksisuuntainen-lataus-v2g>>. Päivitetty 7.9.2023. Luettu 15.1.2024.
- 6 Volvo EX90 Single Motor. 2023. Verkkoaineisto. Electric Vehicle database. <<https://ev-database.org/car/1950/Volvo-EX90-Single-Motor>>. Luettu 15.1.2024.
- 7 Svarc, Jason. 2024. Bidirectional Ev Chargers Review. Verkkoaineisto. Clean Energy Reviews. <<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/bidirectional-ev-chargers-review>>. Luettu 16.1.2024.
- 8 What is Smart Charging and Why Our Energy Systems Need It? 2023. Verkkoaineisto. Virta Global. <<https://www.virta.global/blog/what-is-smart-charging>>. Luettu 16.1.2024.
- 9 Svarc, Jason. 2024. Best Smart EV Chargers. Clean Energy Reviews. <<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-smart-ev-chargers>>. Luettu 16.1.2024.
- 10 Volvo Cars Launches New Energy Solutions Business, Embracing Wider Climate Potential of Electric Cars. 2023. Verkkoaineisto Volvo Cars. <<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/318585/volvo-cars-launches-new-energy-solutions-business-embracing-wider-climate-potential-of-electric-cars>>. Luettu 18.1.2024.

- 11 Hanley, Steve. 2023. Volvo EX90 Will Feature App-Based AC & DC Bidirectional Charging. Verkkoaineisto. Clean Technica. <<https://clean-technica.com/2022/10/09/volvo-ex90-will-feature-app-based-ac-dc-bidirectional-charging/>>. Luettu 20.1.2024.
- 12 Factsheet: Nissan Leaf Vehicle-to-Home. Verkkoaineisto. Alliance Internal. <<https://www-asia.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/th/news/nissan-introduces-blue-switch-program-to-asean-region-th/EN-Factsheet%20Nissan%20LEAF%20V2H.pdf>>. Luettu 23.1.2024.
- 13 NissanConnect Services – sovellus. Verkkoaineisto. Nissan. <<https://www.nissan.fi/omistajuus/sovellukset-ja-jarjestelmat/nissan-connect-palvelut-sovellukset/nissan-connect-palvelut-tarkat.html>>. Luettu 29.01.2024.
- 14 Cleverly Manage Your Own Electricity: First ID. Models Support Bidirectional Charging. 2023. Verkkoaineisto. Volkswagen Newsroom. <<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/cleverly-manage-your-own-electricity-first-id-models-support-bidirectional-charging-17949>>. Luettu 26.1.2024.
- 15 What's Next for Vehicle-to-Everything? 2022. Verkkoaineisto. Kaluza. <<https://info.kaluza.com/hubfs/What%E2%80%99s%20next%20for%20vehicle-to-everything%3F%20-%20Kaluza%20White%20Paper%20-%20Dec%202022.pdf>>. Luettu 26.1.2024.
- 16 Das, R.; Wang, Y.; Putrus, G.; Kotter, R.; Marzband M.; Herteleer B. & Warmerdam J. 2020. Multi-Object Techno-Economic-Environmental Optimisation of Electric Vehicle for Energy Services. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <[Multi-objective techno-economic-environmental optimisation of electric vehicle for energy services - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.etsp.2020.100000)>. Luettu 30.1.2024.
- 17 Ashkezari, L. S.; Succetti M.; Jaboeuf, R.; Tosco, P. & Brenna, M. 2023. Are Commercial Ev Chargers Ready to Aid with Household Power Consumption? Verkkoaineisto. MDPI. <<https://www.mdpi.com/2079-9292/12/9/2065>>. Luettu 7.2.2024.
- 18 Miten aurinkopaneeleiden tuottoa voi ennustaa? Verkkoaineisto. Lumme Energia. <<https://www.lumme-energia.fi/blogi/miten-aurinkopaneeleiden-tuottoa-voi-ennustaa>>. Luettu 12.2.2024.
- 19 Malin, Risto. 2020. Ajatko autollasi tyypilliset 15 000 kilometriä vuodessa? Kuukausikulusi voivat olla 522 euroa tai 292 euroa - tästä se riippuu. Verkkoaineisto. Kauppalehti. <<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/ajatko-autollasi-tyypilliset-15-000-kilometria-vuodessa-kuukausikulusi-voivat-olla-522-euroa-tai-292-euroa-tasta-se-riippuu/8a8bee9e>>.

- 3690-442a-a0a1-db5f6c4e3def>. Päivitetty 12.2.2024. 19.6.2020. Luettu 12.2.2024.
- 20 Volkswagen ID.7 Pro. 2023. Verkkoaineisto. Electric vehicle database. <<https://ev-database.org/car/1839/Volkswagen-ID7-Pro>>. Luettu 13.2.2024.
 - 21 Kern, T.; Dossow, P. & Morlock, E. 2022. Revenue Opportunities by Integrating Combined Vehicle-to-Home and Vehicle-to-Grid Applications in Smart Homes. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921014586?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=85650a1f49f6d987>. Luettu 19.2.2024.
 - 22 Electric Car Battery Replacement – What You Need to Know. 2023. Verkkoaineisto. Chargemap. <<https://blog.chargemap.com/electric-car-battery-replacement/>>. Luettu 20.2.2024.
 - 23 Ev-elocity Project Final Report. 2022. Verkkoaineisto. Cenex. <https://www.cenex.co.uk/app/uploads/2022/06/EV-elocity-Final-Report_published.pdf>. Luettu 20.2.2024.
 - 24 Uddin K.; Jackson T.; Widanage D. W.; Chouchelamane G.; Jennings P. A. & Marco J. 2017. On the Possibility of Extending the Lifetime of Lithium-Ion Batteries Through Optimal V2G Facilitated by an Integrated Vehicle and Smart-Grid System. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217306825?via%3Dihub>>. Luettu 4.3.2024.
 - 25 Loisel-Lapointe, A.; Yoo, Y.; Pedroso, S. & Conde, A. 2023. Effects of Bidirectional Charging on the Battery Energy Capacity and Range of a 2018 Model Year Battery Electric Vehicle. Verkkoaineisto. 36th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition. <https://evs36.com/wp-content/uploads/finalpapers/FinalPaper_Loiselle-Lapointe_Aaron.pdf>. Luettu 5.3.2024.
 - 26 Learn Why Auto Giants Are Investing in Bidirectional EV Charging. Verkkoaineisto. Bis Research. <<https://blog.marketresearch.com/learn-why-auto-giants-are-investing-in-bidirectional-ev-charging>>. Luettu 6.3.2024.
 - 27 Mojumder, Md. R. H.; Antara, R. A.; Hasanuzzaman, Md.; Alamri, B. & Alsharif, M. 2022. Electric Vehicle-to-Grid (V2G) Technologies: Impact on the Power Grid and Battery. Verkkoaineisto. MDPI. <<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/13856>>. Luettu 6.3.2024.
 - 28 Els, Peter. 2023. Why V2H Comes Before V2G. Verkkoaineisto. GlobalSpec. <<https://insights.globalspec.com/article/21261/why-v2h-comes-before-v2g>>. Luettu 8.3.2024.