

Lauri Askonen

**SÄHKÖAUTOILUN KANNATTAVUUS PIENSÄHKÖN TUOTANNON NÄKÖKUL-  
MASTA**

# **SÄHKÖAUTOILUN KANNATTAVUUS PIENSÄHKÖN TUOTANNON NÄKÖKUL- MASTA**

Lauri Askonen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2022  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä(t): Lauri Askonen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Sähköautoilun kannattavuus piensähkön tuotannon näkökulmasta

Työn ohjaaja(t): Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 35

---

Työn tarkoituksena oli tutkia sähköautoilun kannattavuutta piensähkön tuotannon näkökulmasta tavallisessa suomalaisessa perheessä. Kannattavuutta tarkasteltiin taloudellisesta ja ympäristövaikutusten näkökulmasta. Piensähkön tuotanto oli tässä työssä tuotettu aurinkopaneeleilla.

Työssä käytettiin kiinteistön omistajan antamaa mittausdataa aurinkoenergian tuotannosta, sähkönkulutuksesta sekä sähkön myynnistä. Työ aloitettiin analysoimalla aurinkoenergian tuotantoa eri kuukausina ja sitä, miten sähkönkulutus ja tuotanto kohtaavat. Mittausdatasta selvitettiin, milloin sähköautoa on ladattu, ja laskettiin siitä aiheutuvia kustannuksia sekä verrattiin niitä vastaavan polttomoottorikäyttöisen auton kustannuksiin. Työssä tutkittiin fyysisen akun ja virtuaaliakun mahdollisuuksia sähköauton lataamisessa. Lopuksi tarkasteltiin sähköauton valmistuksesta ja käytöstä aiheutuneita päästöjä ja verrattiin niitä vastaavan polttomoottorikäyttöisen auton päästöihin. Päästöjä tarkasteltiin myös omatuotetun aurinkoenergian vaikutusten kannalta.

Omatuotettu aurinkoenergia pienentää päästöjä ostosähköön verrattuna. Sähköauton latauksen kustannukset olivat tässä työssä tarkasteltavalla ajoprofiililla noin 70 % pienemmät ja päästöt noin 66 % pienemmät verrattuna vastaavaan polttomoottorikäyttöiseen autoon. Akkujen käyttö sähköauton lataamisen kannalta ei ollut kannattavaa tämän työn ajoprofiililla.

Vaikka omatuotettu aurinkoenergia pienentää kotitalouden päästöjä, jotta siitä saataisiin suurin hyöty, energia olisi varastoitava akkuihin. Päästöissä on kuitenkin otettava huomioon myös aurinkopaneelien ja akkujen valmistus. Sähköauton valmistuksen päästöt ovat suuremmat kuin polttomoottorikäyttöisen auton, mutta käytön aikaiset päästöt ovat pienemmät, eivät kuitenkaan päästöttömät.

---

Asiasanat: piensähkön tuotanto, aurinkosähkö, sähköauto

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Energy Technology

---

Author(s): Lauri Askonen

Title of thesis: Electric car effectiveness from the point of view of small-scale electricity production

Supervisor(s): Jukka Ylikunnari

Term and year when thesis was submitted: Spring 2022

Number of pages: 35

---

The goal of this thesis was to investigate the effectiveness of an electric car in a case where small-scale electricity production was carried out by solar panels. Effectiveness was examined from economic and environmental point of view.

Measurement data provided by the owner of the property was analyzed and it was the main resource used in this case-study. Measurement data included solar energy production, electricity consumption and surplus electricity which was sold. Cost-effectiveness of both virtual and physical batteries were also studied.

Cost of charging an electric car was about 70 % lower than fuel costs of a car with an internal combustion engine. Emissions caused by manufacturing of an electric car were higher but overall emissions were about 66 % lower. Produced solar energy cut down CO<sub>2</sub> emissions by about 18 % when the whole electricity consumption was taken into consideration. Batteries were not cost-effective in this case.

---

Keywords: small-scale electricity generation, solar energy, electric car

# SISÄLLYS

|   |    |
|---|----|
| 1 JOHDANTO                                | 4  |
| 2 PIENSÄHKÖN TUOTANTO                     | 5  |
| 2.1 Aurinkosähkö                          | 5  |
| 2.2 Pientuulivoima                        | 7  |
| 2.3 Pienvesivoima                         | 7  |
| 2.4 Pien-CHP                              | 8  |
| 3 SÄHKÖAUTOILU SUOMESSA                   | 9  |
| 3.1 Sähköautot                            | 9  |
| 3.2 Sähköauton lataaminen                 | 10 |
| 4 SÄHKÖAUTOILUN KANNATTAVUUDEN TUTKIMINEN | 11 |
| 4.1 Aurinkoenergian tuotanto              | 11 |
| 4.2 Sähkönkulutus                         | 14 |
| 4.3 Sähkön myynti                         | 21 |
| 4.4 Akusto                                | 25 |
| 4.4.1 Fyysinen akku                       | 26 |
| 4.4.2 Virtuaaliakku                       | 26 |
| 4.5 Sähköauton kustannukset               | 28 |
| 4.6 Päästöt                               | 28 |
| 5 YHTEENVETO                              | 33 |
| LÄHTEET                                   | 34 |

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella sähköautoilun kannattavuutta suomalaisten kotitalouksien piensähkön tuotannon näkökulmasta. Tarkastelun kohteena on Hollolassa sijaitseva 1,5-kerroksinen 163 m<sup>2</sup>:n kokoinen puutalo, jonka rakennusvuosi on 2015 ja energialuokka B. Puutaloon on energialuokituksen jälkeen asennettu ilmalämpöpumppu ja 8,1 kWp suuruinen aurinkopaneelijärjestelmä. Kiinteistöön kuuluu myös 53 m<sup>2</sup>:n varasto/talli, jossa lämmitys on toteutettu sähköllä ja ilmalämpöpumpulla. Työssä käytetään kiinteistön omistajan antamaa dataa sähkön- ja kaukolämmön kulutuksesta, aurinkoenergian tuotannosta sekä verkko- myydystä sähköstä.

## 2 PIENSÄHKÖN TUOTANTO

Piensähkön tuotannosta puhuttaessa on hyvä huomioida, että sille on erilaisia määritelmiä, jotka usein perustuvat sähköä tuottavan voimalan maksimi- tai nimellistehoon. Sähkötaloudessa piensähkön tuotannoksi on määritelty alle 2 MW. Tyypillisesti teho on kuitenkin muutamista kymmenistä satoihin kilowatteihin. Mikäli sähköntuotannon teho on suurempi kuin 2 MW, sähkömarkkinoihin, -verkkoon ja -veroon voidaan soveltaa samoja sääntöjä kuin teollisuuden mittakaavan tuotantoon. Piensähkön tuotantoon käytetään aurinkoenergiaa, pientuulivoimaloita, pienvesivoimaa, pien-CHP:tä, joista aurinkoenergia on yleisin (1.) Kuvassa 1 on esitetty sähköverkkoon liitettyjen eri piensähkön tuotantomuotojen nimellistehot vuosien 2019 ja 2020 lopussa.

| Tuotantomuoto | Nimellisteho MW*<br>31.12.2020 | Nimellisteho MW<br>31.12.2019 | Muutos % |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|----------|
| Aurinko       | 288                            | 197                           | +46 %    |
| Tuuli         | 12                             | 14                            | -18 %    |
| Bio           | 12                             | 13                            | -11 %    |
| Vesi          | 28                             | 29                            | -5 %     |
| Diesel        | 22                             | 23                            | -1 %     |
| Muut          | 1                              | 2                             | -42 %    |
| Yhteensä      | 364                            | 278                           | +30 %    |

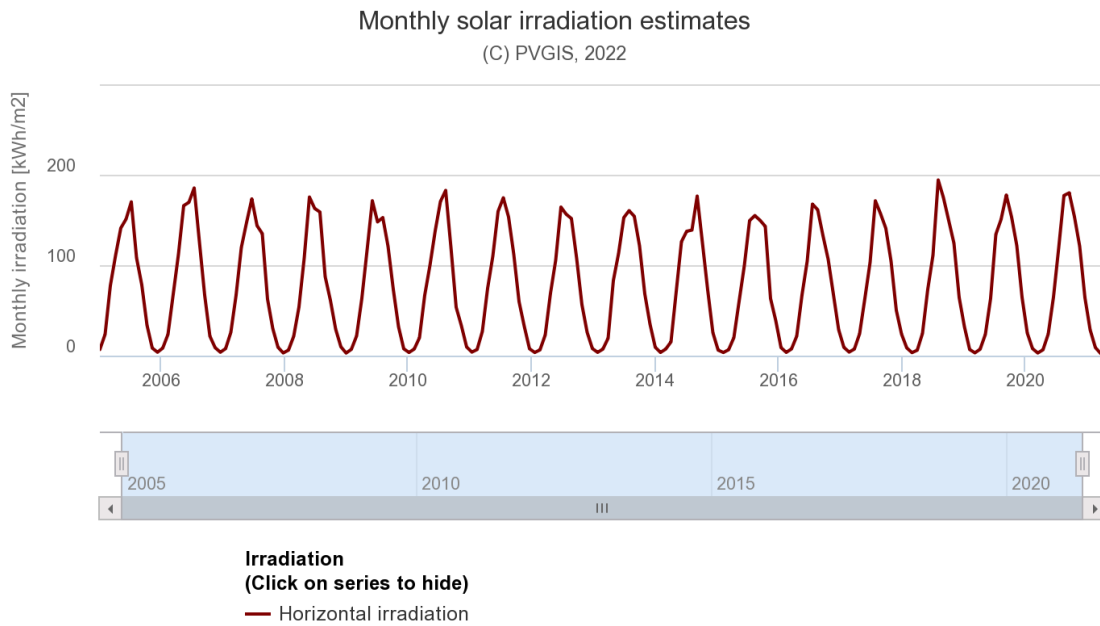
\*Vuoden 2020 lopun tiedot ovat alustavia ja voivat vielä muuttua tietoja tarkistettaessa.

*KUVA 1. Sähköverkkoon liitetty sähköntuotanto (alle 1 MW yksiköt) tuotantomuodoittain vuosien 2019 ja 2020 lopussa (2)*

### 2.1 Aurinkosähkö

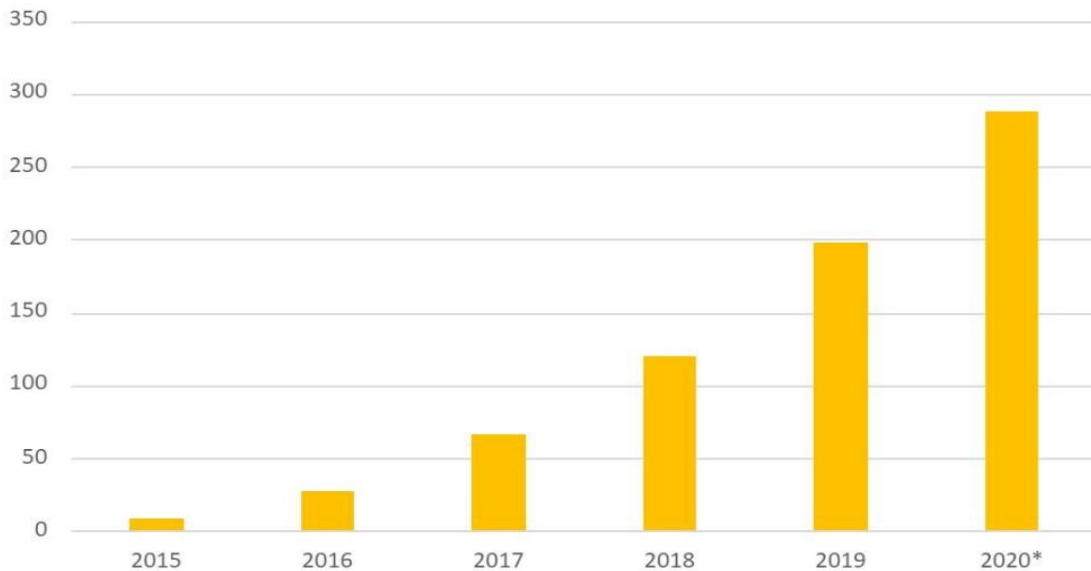
Auringon säteily muodostuu suorasta auringon säteilystä ja hajasäteilystä, jossa auringon säteily heijastuu ilmakehässä olevista hiukkasista sekä maanpinnalta. Etelä-Suomessa kokonaissäteilystä noin puolet on hajasäteilyä. Suoralla säteilyllä ja hajasäteilyllä ei ole eroa aurinkopaneelien tuotannon kannalta (3.)

Auringon säteilyn kokonaismäärä Etelä-Suomessa on samalla tasolla kuin Pohjois-Saksassa. Säteilyn määrä kuitenkin vaihtelee Suomessa vuodenaikojen mukaan enemmän ja se painottuu pääosin kesäkuukausille (3.) Kuvassa 2 on esitetty kuukausittainen auringon säteily vuosina 2005–2020. Vuosien säteilyn keskiarvo on 912 kWh/m<sup>2</sup>.



KUVA 2. Auringon säteily Hollolassa vuosina 2005–2020 (4)

Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti oli noin 1,6 % vuoden 2020 lopussa. Aurinkosähkön tuotanto koostui lähes kokonaan piensähkön tuotannosta, sillä se tuotettiin suurimmalta osin alle yhden megawatin laitteistoilla. Kuten kuvasta 3 nähdään, vuoden 2020 lopussa aurinkosähkön pientuotanto oli lähes 300 MW. Sähköverkkoon kytketyn tuotannon lisäksi on arvioitu, että sähköverkon ulkopuolella oleva aurinkosähkökapasiteetti olisi yli 20 MW (2.)



KUVA 3. Suomessa verkkoon liitetty aurinkosähkön pientuotantokapasiteetti (MW) (2)

Yritykset tarjoavat valmiita aurinkopaneelipaketteja, joihin kuuluvat aurinkopaneelit, invertteri ja asennukset. Esimerkiksi Vattenfallin tarjoama Premium Effect Small -paketti sisältää 12 kappaletta Suntech 405 W -aurinkopaneelia ja Sungrow 5 kW invertteri. Vuosituotto on noin 6720 kWh ja järjestelmän teho 4,86 kWp. Hinta ennen kotitalousvähennyksiä tyypillisessä asennuskohteessa on 160 €/kk 6 vuoden maksuajalla tai kerralla maksettuna 9200 € (5.)

## **2.2 Pientuulivoima**

Pientuulivoimaloiden koko vaihtelee, mutta yleisimmät ovat muutamasta sadasta muutamaan tuhanteen wattiin. Isommat 50 kW:n tehoiset voimalat, joita käytetään maataloudessa ja pienteollisuudessa lasketaan myös pientuulivoimaloiksi. Yleisimpiä pientuulivoimaloiden asennuspaikkoja ovat kesämökit, jotka ovat sähköverkon ulkopuolella, mutta myös omakotitaloissa voidaan käyttää tuulivoimaloita. Pientuulivoimaloita käytetään yleensä akkujen lataamiseen sekä käyttöveden lämmitykseen (6.)

Esimerkiksi omakotitaloon asennettu tuulivoimala, jonka potkurin halkaisija on 4 metriä, voi tuottaa vuodessa muutama tuhat kilowattituntia. Nimellisteho on tällaisessa voimalassa 3–4 kW (6.) Saaristotekniikka.com myy 4 kW:n tuulivoimalaa hintaan 5490 €.

## **2.3 Pienvesivoima**

Pienvesivoimalat voidaan jakaa varsinaisiin pienvesivoimaloihin, jotka ovat teholtaan 1–10 MW sekä minivesivoimalaitoksiin, joiden teho on alle 1 MW. Suomen pienvesivoimalaitosten keskimääräinen teho on noin 2 MW ja vuosituotanto 8 GWh. Minivesivoiman osuus yhteenlasketusta vesivoimalla tuotetusta energiasta on noin 1 % ja pienvesivoiman 8 %. Käyttöikä pienvesivoimalaitoksissa on noin 60–100 vuotta. Potentiaalista vesivoimasta saatavaa energiaa on Suomessa jäljellä noin 663 MW, josta minivesivoiman osuus on 144 MW, pienvesivoiman osuus 144 MW ja yli 10 MW vesivoimalaitosten osuus 375 MW (7.) Taulukossa 1 on esitetty vuoden 2015 tilanne Suomen vesivoimasta.

TAULUKKO 1. Pienvesivoimalaitosten lukumäärä ja niiden teho (8)

| Suomen vesivoimasektorit         | Tilastovuosi 2015                    |             |                          |                                     |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|
|                                  | Laitosten<br>(lkm) <sup>huom 5</sup> | teho (MW)   | vuosituotanto<br>(GWh/a) | normalisoitu<br>tuotanto<br>(GWh/a) |
| <b>Minivesivoima &lt; 1 MW</b>   | 68 <sup>1</sup>                      | 34          | 149                      | 131                                 |
| <b>Pienvesivoima 1-10 MW</b>     | 83                                   | 272         | 1125                     | 946                                 |
| <b>Pienvesivoima &lt;10 MW</b>   | <b>151</b>                           | <b>306</b>  | <b>1275</b>              | <b>1077</b>                         |
| <b>Suurvesivoima &gt;10 MW</b>   | 58                                   | 2943        | 15310                    | 12679                               |
| <b>Yhteensä Suomen vesivoima</b> | <b>209</b>                           | <b>3250</b> | <b>16584</b>             | <b>13756</b>                        |

Huom 1: Joitakin laitoksia puuttuu virallisesta tilastosta!

## 2.4 Pien-CHP

CHP-tuotantolaitoksia on kolmea eri kokoluokkaa: mikro-, pien- ja suuret CHP-laitokset. Nimellisteholtaan mikro-CHP-laitokset ovat suurimmillaan 50 kW ja pien-CHP-laitokset 10 MW. Suuren kokoluokan sähkön- ja lämmöntuotantolaitokset ovat yli 10 MW ja Suomessa hyvin yleisiä (9, s. 12.) Hyötysuhde vaihtelee käytetyn laitteiston perusteella, joita ovat esimerkiksi polttomoottorit, kaas- ja höyryturbiinit sekä polttokennot (10.)

Omakotitaloa ajatellen mikro-CHP-laitoksen kokoluokka on soveltuva. Esimerkiksi Pellematic smart\_e 0.6 toimii puupelleteillä, ja sen lämmöntuotannon teho on 9 kW ja sähköntuotannon teho 0,6 kW. Laitos sisältää pellettikattilan, puskurivaraajan, stirling-moottorin, pelletinsyöttölaitteen sekä lämmintä käyttövettä ja lämmitystä varten tarvittavan tekniikan. Tilaa laitos vie 1.5 m<sup>2</sup> ja maksaa noin 24 000 € (9, s. 4.)

### 3 SÄHKÖAUTOILU SUOMESSA

Liikenneviraston teettämän valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen 2016 mukaan suomalaiset tekivät vuorokaudessa 2,7 matkaa per henkilö ja matkojen yhteenlaskettu pituus oli 41 km. Näistä matkoista 1,6 tehtiin henkilöautolla ja niiden pituus oli 31,1 km. Tähän sisältyy henkilöliikenteen matkat pakettiautolla (11, s. 8.) Sähköauton toimintasäde riittäisi siis hyvinkin päivittäiseen käyttöön.

Sähköautojen määrä suomessa on ollut huomattavassa kasvussa viime vuosina. Taulukossa 1 on esitetty Suomessa liikennekäytössä olevien sähkö- sekä hybridautojen määrä eri vuosina.

TAULUKKO 2. Suomessa liikennekäytössä olevien sähkö- sekä hybridautojen määrä (12)

|                  | Lukumäärä |        |                                    |                                  |
|------------------|-----------|--------|------------------------------------|----------------------------------|
|                  | Yhteensä  | Sähkö  | Bensiini/Sähkö (ladattava hybridi) | Diesel/Sähkö (ladattava hybridi) |
| Liikennekäytössä |           |        |                                    |                                  |
| Kaikki autot     |           |        |                                    |                                  |
| 2010             | 2 887 651 | 97     | 0                                  | 0                                |
| 2011             | 2 943 122 | 131    | 0                                  | 0                                |
| 2012             | 2 972 269 | 194    | 0                                  | 0                                |
| 2013             | 2 989 688 | 256    | 0                                  | 0                                |
| 2014             | 3 011 154 | 461    | 450                                | 117                              |
| 2015             | 3 031 450 | 749    | 883                                | 135                              |
| 2016             | 3 050 808 | 1 028  | 2 204                              | 240                              |
| 2017             | 3 099 566 | 1 682  | 5 226                              | 507                              |
| 2018             | 3 132 997 | 2 683  | 12 080                             | 1 044                            |
| 2019             | 3 160 755 | 5 037  | 22 678                             | 2 067                            |
| 2020             | 3 193 394 | 10 235 | 42 740                             | 2 990                            |
| 2021             | 3 206 312 | 23 997 | 72 491                             | 4 683                            |

#### 3.1 Sähköautot

Sähköautoilla tarkoitetaan yleensä autoja, joissa ajamiseen vaadittava energia saadaan akkuihin varastoidusta sähköstä. Rakenteellisesti sähköautot eroavat polttomoottoriautoista moottorin ja energianvarastoinnin muodossa. Polttomoottoriautoissa energia on nestemäisenä tai kaasuautoissa kaasumaisena polttoainetankissa, kun taas sähköautoissa energia on varastoitu akkuihin (13.)

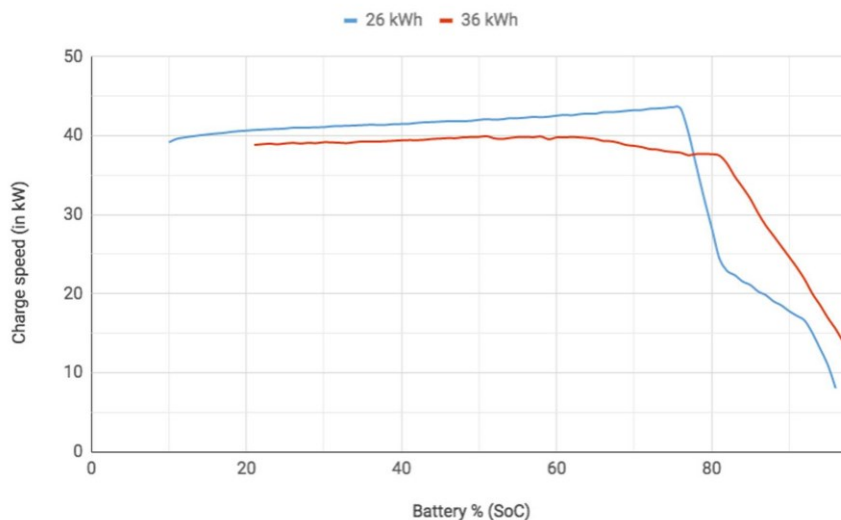
Sähköautossa moottori voi toimia myös generaattorina, joka lataa auton akkuja, kun autolla jarrutetaan käyttäen sen omaa moottoria perinteisten kitkajarrujen lisäksi. Tällä tavoin auton kiihdyttämiseen käytetty energia

voidaan osittain kierrättää. Sähkömoottoreita kuten myös polttomoottoreita on olemassa eri kokoisia ja mal-  
lisiä. Sähkömoottoreita voi kuitenkin olla useampi pienempi yhden ison sijasta. Vaihteistot sähköautoissa  
ovat yleensä automaattisia, eivätkä ne aina ole edes välttämättömiä, sillä sähkömoottoreissa kierroslukualu-  
eet ovat laajoja (13.)

### 3.2 Sähköauton lataaminen

Yleensä sähköautoa ladataan kotona yön aikana, jolloin akku saadaan ladattua täyteen. Lataus tapahtuu  
erillisellä latauslaitteella, jossa latausvirta on suurempi kuin pistorasiassa. Lataaminen onnistuu myös nor-  
maalin pistorasian kautta auton mukana tulevalla latauskaapelilla. On kuitenkin huomioitava pistorasian so-  
veltuvuus ja sähköturvallisuus. Erillinen latauslaite maksaa noin 1000–3000 euroa, kun mukaan luetaan  
asennuskustannukset. Kotona lataamisen lisäksi auto voidaan ladata pikalatausasemilla, joita löytyy esimer-  
kiksi joidenkin huoltoasemien ja kauppojen parkkipaikoilta. Jatkuva pikalatausasemien käyttö kuitenkin hei-  
kentää akun elinikää suuresta latausvirrasta johtuen (14.)

Kuvassa 4 on kuvattu auton (Volkswagen e-Golf) latausnopeuden muutosta akun varaustilan kasvaessa. On  
huomioitava, että kuvan latausteho, noin 40 kW on huomattavasti suurempi kuin mitä case-tarkastelussa  
oleva auto Volkswagen e-Golf vm. 2015 voi hyödyntää, mikä on vain 3,7 kW. Kuvassa sininen viiva on 26  
kWh:n akku ja punaisella viivalla 36 kWh:n akku.



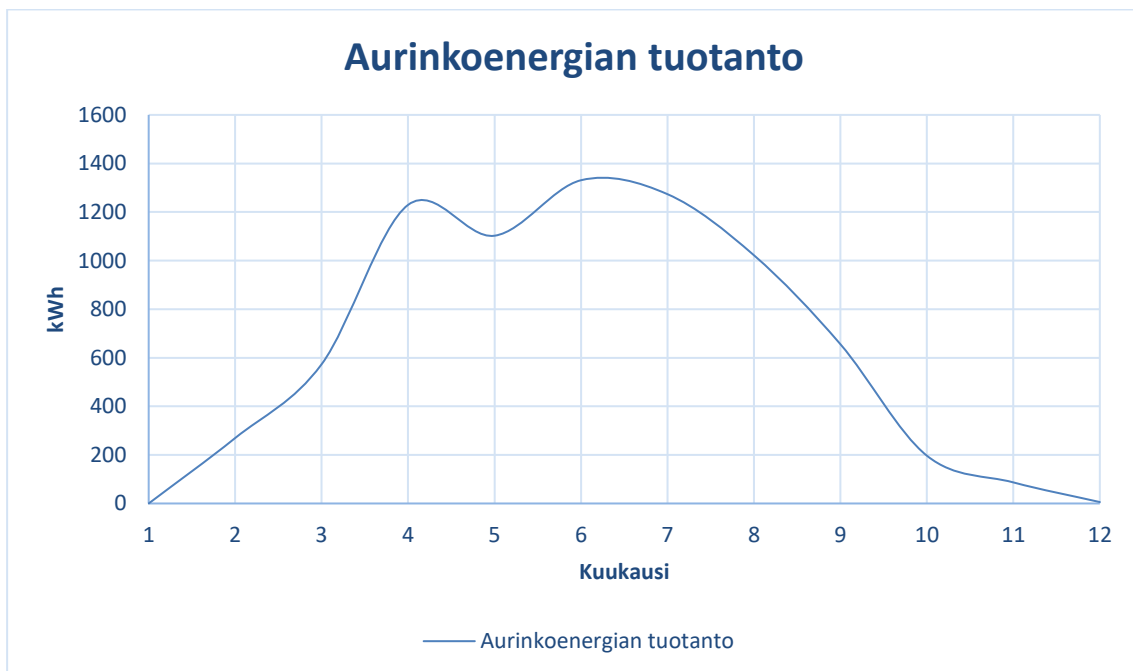
KUVA 4. Volkswagen e-Golf akun latausnopeus (15)

## 4 SÄHKÖAUTOILUN KANNATTAVUUDEN TUTKIMINEN

Tässä case-tarkastelussa tutkitaan itse tuotetun aurinkoenergian kannattavuutta sähköautoilun näkökulmasta. Datana on käytetty kiinteistön omistajan antamia tietoja sähkön- ja kaukolämmön kulutuksesta, aurinkoenergian tuotannosta sekä verkkoon myydystä sähköstä. Tarkastelun kohteena oleva talo sijaitsee Hollolassa ja käytössä on 8,1 kWp suuruinen aurinkopaneelijärjestelmä, jossa on 30 paneelia.

### 4.1 Aurinkoenergian tuotanto

Annettu data aurinkoenergian tuotannosta on kuukausikohtainen vuodelta 2019, mikä nähdään kuvasta 5. Aurinkopaneelien tuottama nimellisteho on 8,1 kWp ja paneeleita on 30 kappaletta. Tuntikohtaista dataa ei ollut saatavilla muuta kuin yhdeltä päivältä, joten apuna on käytetty tuntikohtaista aurinkoenergian tuotantoa, joka on arvioitu Euroopan komission Yhteisestä tutkimuskeskuksesta (Joint Research Centre) ja sieltä tarkemmin PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) -työkalun avulla. Tällä työkalulla pääsee tarkastelemaan esimerkiksi sähköntuotantopotentiaaleja erilaisille aurinkosähkötekniikoille ja -kokoonpanoille, auringon säteilyä ja ilman lämpötilaa kuukausikeskiarvoina tai päiväprofileina sekä auringon säteilyn tuntikohtaisia arvoja.



KUVA 5. Aurinkoenergian tuotanto kuukausittain

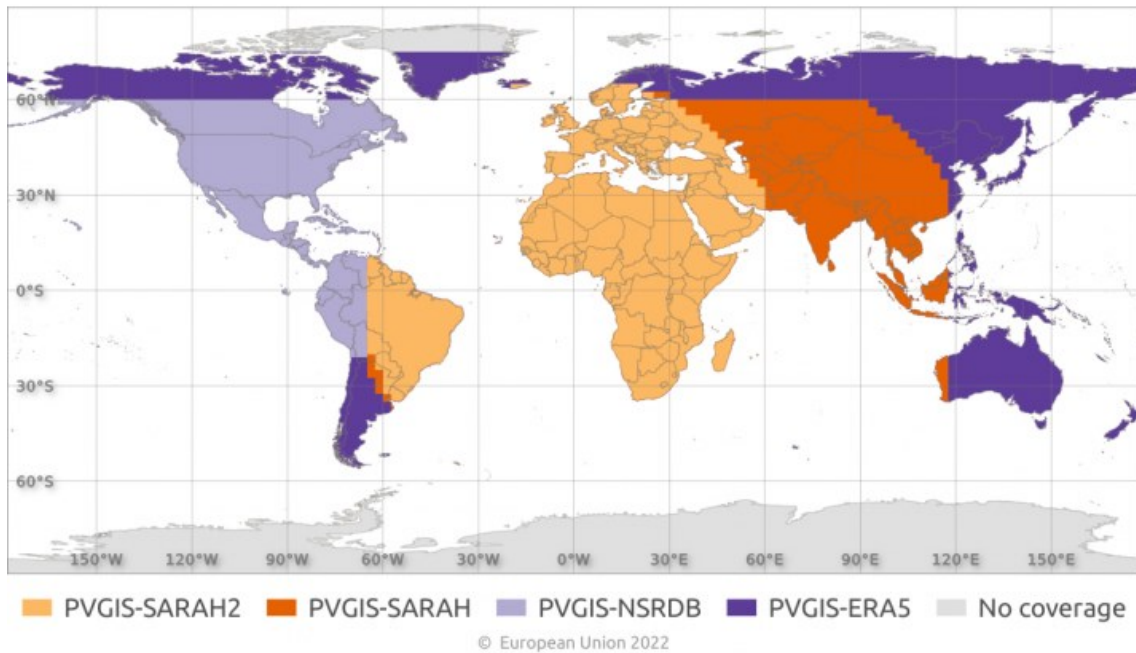
Taulukkoon 3 on kerätty tarkat arvot kuukausittaisesta aurinkoenergian tuotannosta. PVGIS:n auringon säteilyn data on saatu satelliittikuvista sekä ilmanlämpötilan ja tuulennopeuden analyysimalleista. Satelliittikuvista saadun datan huonoja puolia on se, että auringon säteily joudutaan laskemaan monimutkaisilla matemaattisilla algoritmeilla, jotka käyttävät satelliittidatan lisäksi tietoja ilmankosteudesta, ilmassa olevista partikkeleista ja otsonista. Myös erilaiset olosuhteet voivat vaikuttaa datan tarkkuuteen. Esimerkiksi satelliitti voi luulla lunta pilviksi, mikä on Suomen tilanteessa tärkeä huomioida (4.)

*TAULUKKO 3. Annetun datan ja PVGIS-ERA5 tietokannan kuukausikohtainen aurinkoenergian tuotanto*

| Kuukausi  | Annettu data [kWh] | PVGIS-ERA5 [kWh] |
|-----------|--------------------|------------------|
| Tammikuu  | 0                  | 119.61           |
| Helmikuu  | 269.39             | 326.76           |
| Maaliskuu | 573.25             | 803.56           |
| Huhtikuu  | 1229.45            | 1010.94          |
| Toukokuu  | 1102.5             | 1155.57          |
| Kesäkuu   | 1330.97            | 1044.01          |
| Heinäkuu  | 1273.49            | 1036.09          |
| Elokuu    | 1021.93            | 916.04           |
| Syyskuu   | 655.79             | 635.54           |
| Lokakuu   | 196.72             | 382.74           |
| Marraskuu | 86.78              | 126.9            |
| Joulukuu  | 5.76               | 47.51            |
| Yhteensä  | 7746.03            | 7605.27          |

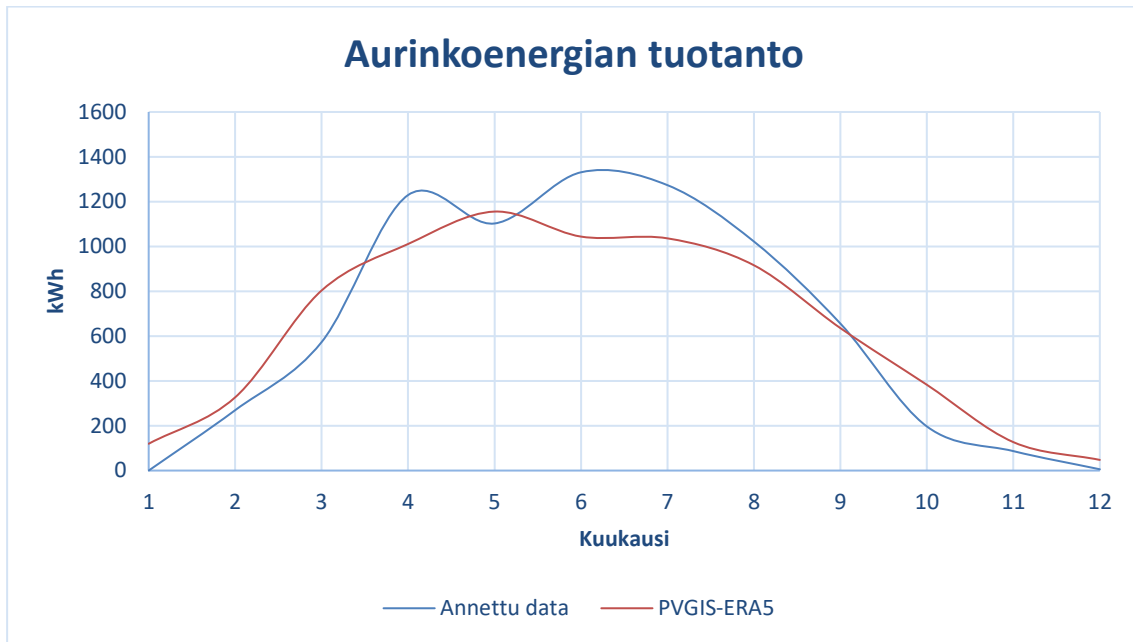
Tietokantana on käytetty PVGIS-ERA5:tä, sillä se soveltuu pohjoismaille, jotka ovat yli 60° N (pohjoista leveyttä). Tarkastelun kohteena olevan Hollola koordinaatit ovat 60°59'15"N ja 025°31'00"E. Kyseinen tietokanta soveltuu myös muille alueille, jotka ovat nähtävissä kuvasta 6.

## Default Solar Radiation Databases



KUVA 6. Auringon säteilyn tietokannat, Euroopan Unioni 2022 (4)

Kuvassa 7 on vertailtuna mitattu ja PVGIS-ERA5-tietokannan avulla laskettu kuukausittainen aurinkoenergian tuotanto. Kuvajassa mitattu tuotanto on hieman alhaisempi talvi- ja syyskuukausina, kun taas kesäkuukausina mitattu tuotanto on korkeampi kuin PVGIS-ERA5 tietokannan avulla laskettu tuotanto. Erot voivat johtua siitä, että esimerkiksi talvikuukausina aurinkopaneelit voivat olla lumen peitossa, mikä heikentää jo muutenkin vähäisen auringosta saatavan energian määrää.



KUVA 7. Annetun- ja PVGIS-ERA5 datan vertailu

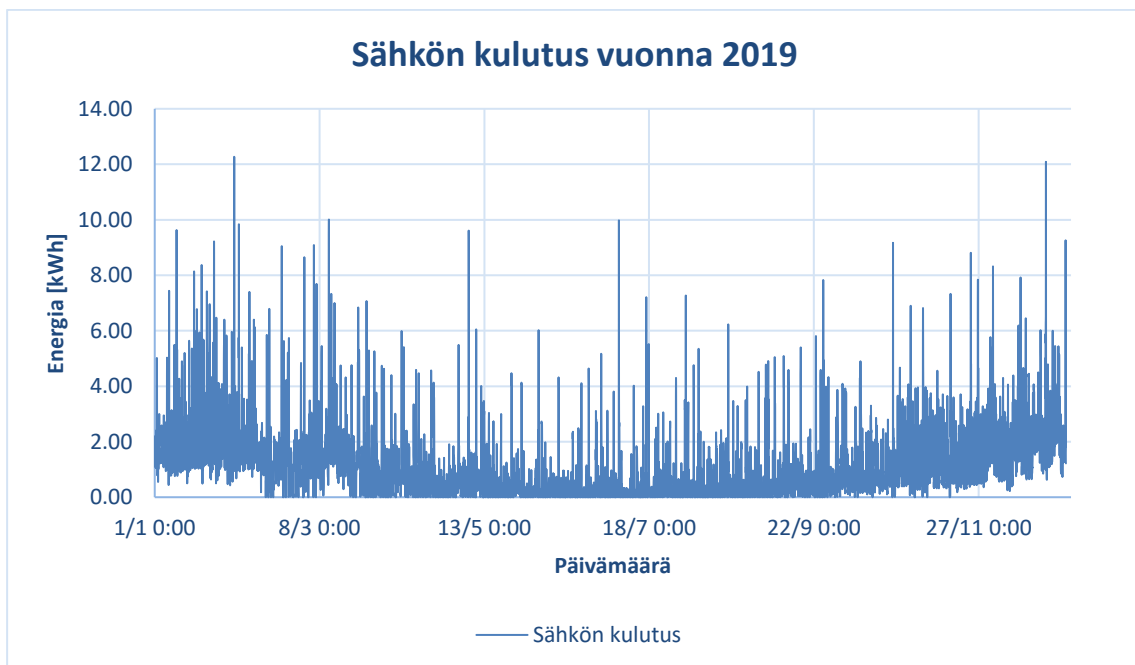
## 4.2 Sähkönkulutus

Kuvassa 8 on esitetty kuukausittainen aurinkoenergian tuotanto sekä kuukausittainen sähkönkulutus. Kuvasta näkee, kuinka aurinkoenergia kasvaa kesää kohti mentäessä ja alkaa laskemaan syksyä kohden. Sähkönkulutuksen käyrä on päinvastainen, mikä johtuu pääasiassa lämmitykseen tarvittavan energian pienemisestä. Itse talo on lämmitetty kaukolämmöllä, mutta talossa on myös ilmalämpöpumppu, ja varaston lämmitys on toteutettu sähköllä sekä ilmalämpöpumpulla.



KUVA 8. Aurinkoenergian tuotanto ja sähkönkulutus kuukausittain

Koko vuoden sähkönkulutus on esitetty kuvassa 9. Talossa on 9 kW:n sähkökuuas, mikä osaltaan selittää suurimmat sähkönkulutuksen piikit.



KUVA 9. Koko vuoden sähkönkulutus

Taulukossa 4 nähdään sähkönkulutus kuukausittain, ostetun sähkön määrä ja käytetty aurinkoenergia kilowattitunteina. Keväällä, kesällä ja jopa syksyllä itse tuotettu aurinkoenergia pienentää huomattavasti ostettavan sähkön määrää. Aurinkojärjestelmässä ei ole käytössä akkuja, joilla tuotettu energia voitaisiin ottaa talteen, vaan kaikki ylijäämä menee myyntiin.

TAULUKKO 4. Sähkönkulutus, käytetty aurinkoenergia ja ostettu sähkö

| Kuukausi  | Sähkönkulutus [kWh] | Käytetty aurinkoenergia [kWh] | Ostettu sähkö [kWh] |
|-----------|---------------------|-------------------------------|---------------------|
| Tammikuu  | 1540.46             | 0                             | 1540.46             |
| Helmikuu  | 1068.61             | 106.24                        | 962.37              |
| Maaliskuu | 1127.81             | 207.17                        | 920.64              |
| Huhtikuu  | 569.33              | 331.31                        | 238.02              |
| Toukokuu  | 434.87              | 263.36                        | 171.51              |
| Kesäkuu   | 300.35              | 261.96                        | 38.39               |
| Heinäkuu  | 329.91              | 275.22                        | 54.69               |
| Elokuu    | 427.04              | 234.14                        | 192.9               |
| Syyskuu   | 517.55              | 183.84                        | 333.71              |
| Lokakuu   | 834.92              | 98.29                         | 736.63              |
| Marraskuu | 1020.35             | 40.34                         | 980.01              |
| Joulukuu  | 1460.67             | 5.61                          | 1455.06             |
| Yhteensä  | 9631.87             | 2007.48                       | 7624.39             |

Sähkösopimus on tehty Lahti Energian kanssa. Sähkön hinta muodostuu pörssisähkön hinnasta, marginaalista (0,20 c/kWh), siirtomaksusta (3,42 c/kWh) ja verosta (2,79 c/kWh). Taulukkoon 5 on laskettu ostetun sähkön hinnan muodostuminen eri kuukausina.

Pörssisähkön hinnan laskemisessa on käytetty pörssisähkön spot-hintojen keskiarvoja, koska tuntikohtaisesti ei tiedetä, kuinka suuri osa käytetystä sähköstä on itse tuotettua aurinkoenergiaa ja kuinka suuri osa ostettua sähköä. Ostetun sähkön hinta on täten 348,64 € + 15,25 € + 260,75 € + 212,72 € = 837,36 €.

TAULUKKO 5. Ostettu sähkö

| Kuukausi  | Ostettu sähkö [kWh] | Pörssisähkön hinta [€] | Marginaali [€] | Siirtomaksu [€] | Vero [€] |
|-----------|---------------------|------------------------|----------------|-----------------|----------|
| Tammikuu  | 1540.46             | 85.92                  | 3.08           | 52.68           | 42.98    |
| Helmikuu  | 962.37              | 45.00                  | 1.92           | 32.91           | 26.85    |
| Maaliskuu | 920.64              | 36.79                  | 1.84           | 31.49           | 25.69    |
| Huhtikuu  | 238.02              | 9.86                   | 0.48           | 8.14            | 6.64     |
| Toukokuu  | 171.51              | 6.83                   | 0.34           | 5.87            | 4.79     |
| Kesäkuu   | 38.39               | 1.18                   | 0.08           | 1.31            | 1.07     |
| Heinäkuu  | 54.69               | 2.51                   | 0.11           | 1.87            | 1.53     |
| Elokuu    | 192.9               | 9.41                   | 0.39           | 6.60            | 5.38     |
| Syyskuu   | 333.71              | 16.27                  | 0.67           | 11.41           | 9.31     |
| Lokakuu   | 736.63              | 34.18                  | 1.47           | 25.19           | 20.55    |
| Marraskuu | 980.01              | 44.80                  | 1.96           | 33.52           | 27.34    |
| Joulukuu  | 1455.06             | 55.90                  | 2.91           | 49.76           | 40.60    |
| Yhteensä  | 7624.39             | 348.64                 | 15.25          | 260.75          | 212.72   |

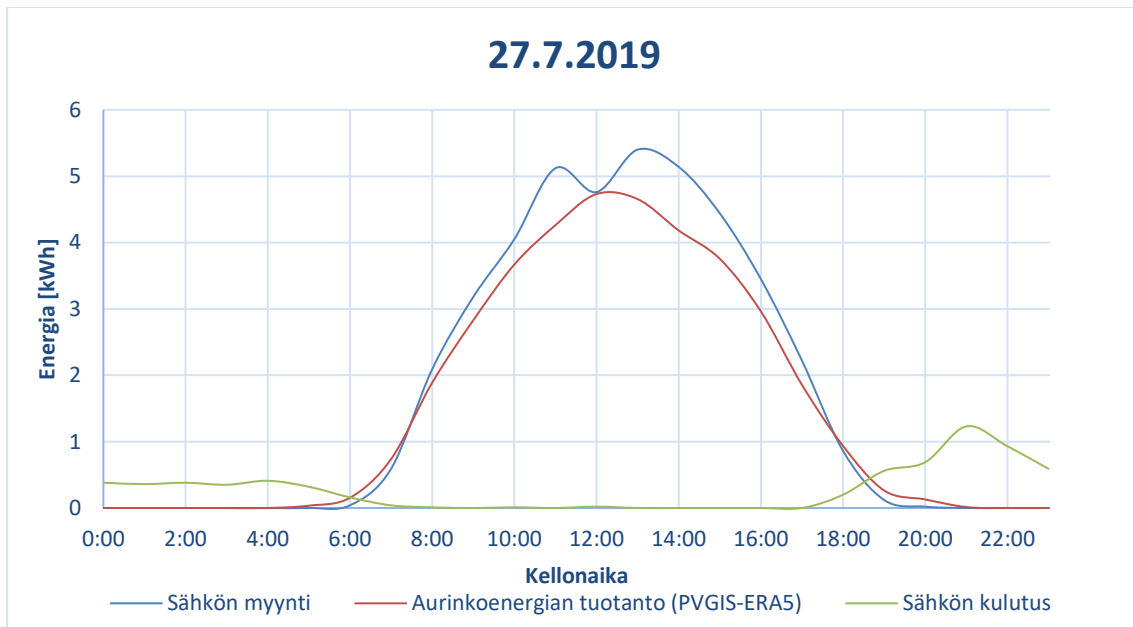
Taulukkoon 6 on laskettu ostetun sähkön hinta, jos se olisi jouduttu ostamaan kokonaan, eli oletetaan, että aurinkopaneeleja ei ole. Tällöin sähkön hinnaksi muodostuu  $469,46 \text{ €} + 19,26 \text{ €} + 329,41 \text{ €} + 268,73 \text{ €} = 1086,86 \text{ €}$ .

TAULUKKO 6. Sähkön hinta ilman aurinkopaneeleiden tuotantoa

| Kuukausi  | Sähkönkulutus [kWh] | Pörssisähkön hinta [€] | Marginaali [€] | Siirtomaksu [€] | Vero [€] |
|-----------|---------------------|------------------------|----------------|-----------------|----------|
| Tammikuu  | 1540.46             | 88.63                  | 3.08           | 52.68           | 42.98    |
| Helmikuu  | 1068.61             | 51.06                  | 2.14           | 36.55           | 29.81    |
| Maaliskuu | 1127.81             | 45.82                  | 2.26           | 38.57           | 31.47    |
| Huhtikuu  | 569.33              | 22.97                  | 1.14           | 19.47           | 15.88    |
| Toukokuu  | 434.87              | 15.87                  | 0.87           | 14.87           | 12.13    |
| Kesäkuu   | 300.35              | 8.84                   | 0.60           | 10.27           | 8.38     |
| Heinäkuu  | 329.91              | 14.89                  | 0.66           | 11.28           | 9.20     |
| Elokuu    | 427.04              | 20.18                  | 0.85           | 14.60           | 11.91    |
| Syyskuu   | 517.55              | 25.41                  | 1.04           | 17.70           | 14.44    |
| Lokakuu   | 834.92              | 38.48                  | 1.67           | 28.55           | 23.29    |
| Marraskuu | 1020.35             | 47.72                  | 2.04           | 34.90           | 28.47    |
| Joulukuu  | 1460.67             | 89.58                  | 2.92           | 49.95           | 40.75    |
| Yhteensä  | 9631.87             | 469.46                 | 19.26          | 329.41          | 268.73   |

Kuvassa 10 on esimerkipäivä heinäkuulta. Sähkönkulutuksen perusteella kyseisenä päivänä talo on todennäköisesti ollut tyhjiään. Päivällä sähkönkulutus on lähes nollassa, joten kaikki aurinkoenergian tuotanto

menee myyntiin. Tässä tapauksessa todellinen aurinkoenergian tuotanto on sama kuin sähkönmyynti. Kuvaajasta nähdään myös PVGIS-työkalun avulla lasketun tuntikohtaisen aurinkoenergian tuotannon ero todelliseen. Kuvaajat ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta todellisessa tilanteessa sähköä on tuotettu hieman enemmän aamupäivän ja iltapäivän aikana.



KUVA 10. Esimerkki päivä heinäkuulta

Talouden käytössä oleva auto on Volkswagen e-Golf vuosimallia 2015. Auton akun kokonaiskapasiteetti on 24,2 kWh, josta nettokapasiteetti eli käytettävissä oleva energia on 20,5 kWh. Kotona oleva latauslaite on Webasto Pure, ja se on konfiguroitu 3 x 16A:n (11 kW) virralle. Auton laturi kuitenkin rajoittaa latauksen 3,7 kW:iin. Tämä tarkoittaa noin 20 km/h latausnopeutta eli lataus 0–130 km kestäisi 6h 45 min. Kuvassa 11 on vuoden 2015 Volkswagen e-Golf akun ja latauksen tiedot.

#### Battery and Charging

Battery Capacity 24.2 kWh

Battery Useable\* 20.5 kWh

#### Europe

Charge Port Type 2

Fastcharge Port CCS

Port Location Right Side - Rear

FC Port Location Right Side - Rear

Charge Power 3.7 kW AC

Fastcharge Power (max) 44 kW DC

Charge Time (0->130 km) 6h45m

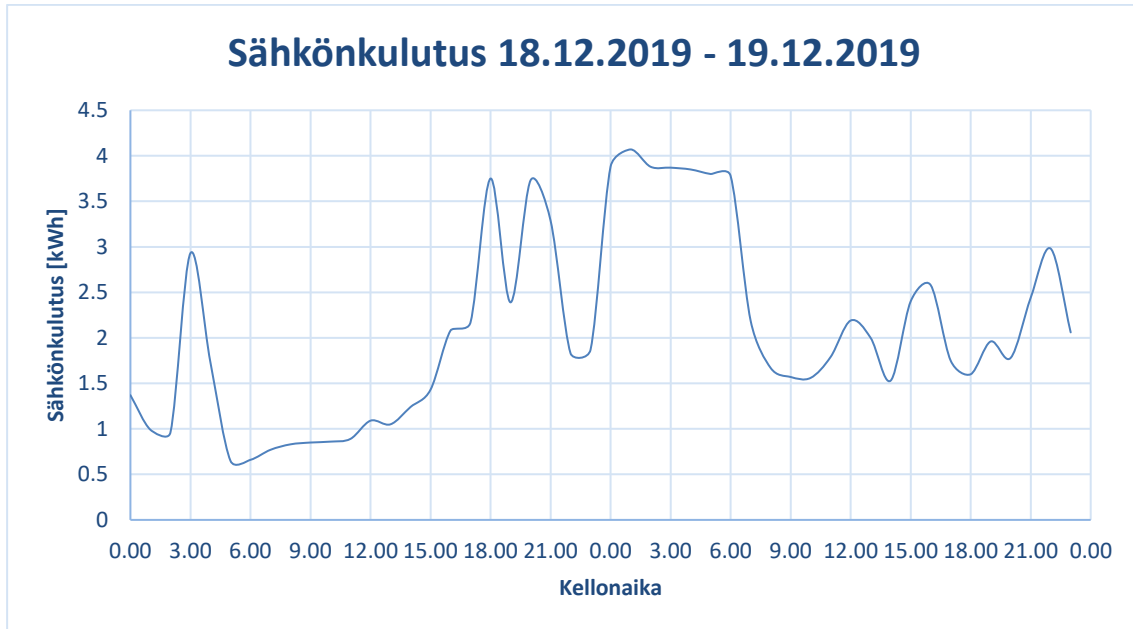
Fastcharge Time (13->104 km) 22 min

Charge Speed 20 km/h

Fastcharge Speed 240 km/h

KUVA 11. Volkswagen e-Golf 2015 akku ja lataus tiedot (16)

Kuvassa 12 on kahden päivän sähkönkulutus joulukuulta. Kahdentoista aikaan yöllä 19.12. sähkönkulutus nousee 3,9 kWh:iin ja pysyy tasaisena klo 6:een asti, jonka jälkeen se putoaa 1,5 kWh:iin. Tämä sähkönkulutus johtuu todennäköisesti sähköauton latauksesta.



KUVA 12. Sähkönkulutus 18.12.–19.12.

Tälle auton lataukselle voidaan laskea, kuinka paljon se on maksanut. Pörssisähkön hinta on katsottu latauksen ajankohdalle ja se on merkattu taulukkoon 7 sähkön kulutuksen lisäksi.

TAULUKKO 7. Auton latauksen aikainen sähkön kulutus ja pörssisähkön hinta

| Päivämäärä | Kellonaika | Sähkön kulutus [kWh] | Pörssisähkö [EUR/MWh] | Pörssisähkö [€] |
|------------|------------|----------------------|-----------------------|-----------------|
| 18/12/2019 | 0:00       | 3.88                 | 34.54                 | 0.079           |
| 19/12/2019 | 1:00       | 4.07                 | 34.30                 | 0.079           |
| 19/12/2019 | 2:00       | 3.88                 | 33.92                 | 0.078           |
| 19/12/2019 | 3:00       | 3.87                 | 34.37                 | 0.079           |
| 19/12/2019 | 4:00       | 3.85                 | 35.27                 | 0.081           |
| 19/12/2019 | 5:00       | 3.80                 | 41.09                 | 0.095           |
| 19/12/2019 | 6:00       | 3.78                 | 53.56                 | 0.123           |

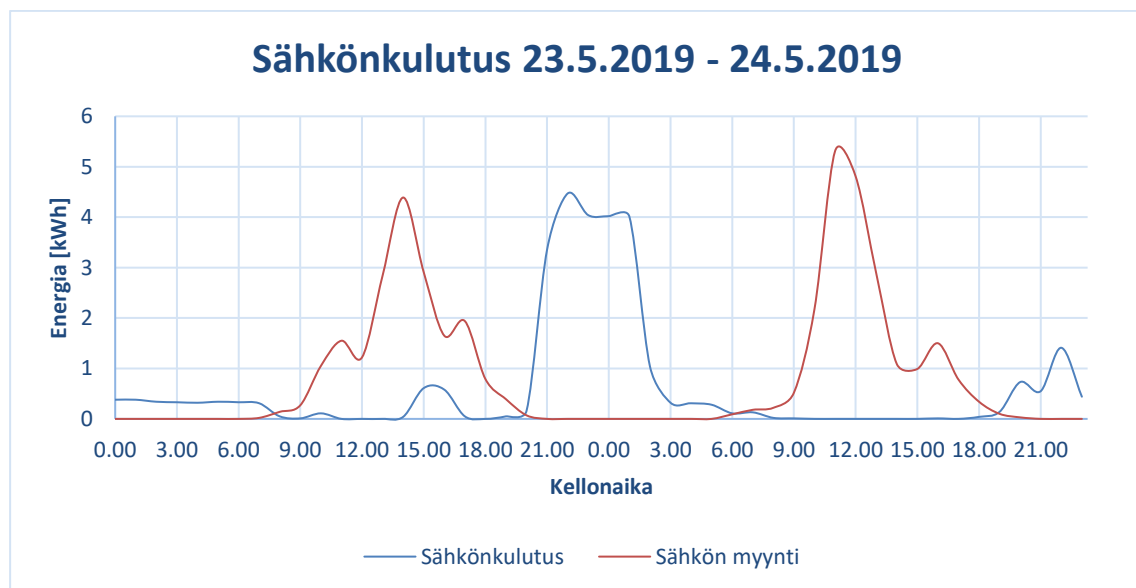
Akun nettokapasiteetti on 20,5 kWh. Perussähkönkulutus kuvaajan mukaan on noin 1,5 kWh, joten auton latauksen sähkönkulutus voidaan arvioida olevan 2,3 kWh. Latauksen ajankohta on yöllä joulukuussa, joten lämpötila on voinut vaikuttaa latausnopeuteen. Auton lataukseen on kulunut 6 tuntia, jonka aikana autoa on

ladattu 13,8 kWh. Jos auto on ladattu tässä ajassa täyteen, akun varaus latauksen alussa on ollut noin 30 %.

Latauksen pörssisähkön hinta yhteensä on 0,61 €, marginaali  $0,0020 \text{ €/kWh} * 13,8 \text{ kWh} = 0,028 \text{ €}$ , siirtomaksu  $0,0342 \text{ €/kWh} * 13,8 \text{ kWh} = 0,47 \text{ €}$  ja vero  $0,0279 \text{ €/kWh} * 13,8 \text{ kWh} = 0,39 \text{ €}$ . Latauksen hinnaksi muodostuu 1,50 €.

Auton kulutus pakkasella on noin 20 % suurempi eli 19 kWh / 100 km, joten toimintamatkaksi jää noin 108 km. Edellisen laskun latauksen hinnalla auton kulutuksen hinnaksi per kilometri saadaan  $1,50 \text{ €} / 13,8 \text{ kWh} = 0,1087 \text{ €}$ . Hinta per 100 km on  $19 \text{ kWh} / 100 \text{ km} * 0,1087 \text{ €} = 2,06 \text{ €} / 100 \text{ km}$ .

Vastaavanlainen tilanne toukokuulle on kuvassa 13, jossa autoa on ladattu yöllä. Sähkönkulutus nousee lähes nollostaan noin 4 kWh:iin ja pysyy siinä kello yhteen asti, jonka jälkeen kulutus putoaa 0,3 kWh:iin. Tässäkin tapauksessa on todennäköisesti ladattu autoa. Autoa on oletettavasti pystytty lataamaan lähes 3,7 kW:n teholla, joka on maksimi, mitä auton laturi pystyy hyödyntämään. Latausaika on 5 tuntia, jolloin autoa on ladattu noin 18 kWh. Auton akun varaus latauksen alussa voidaan siis olettaa olevan melko matala.

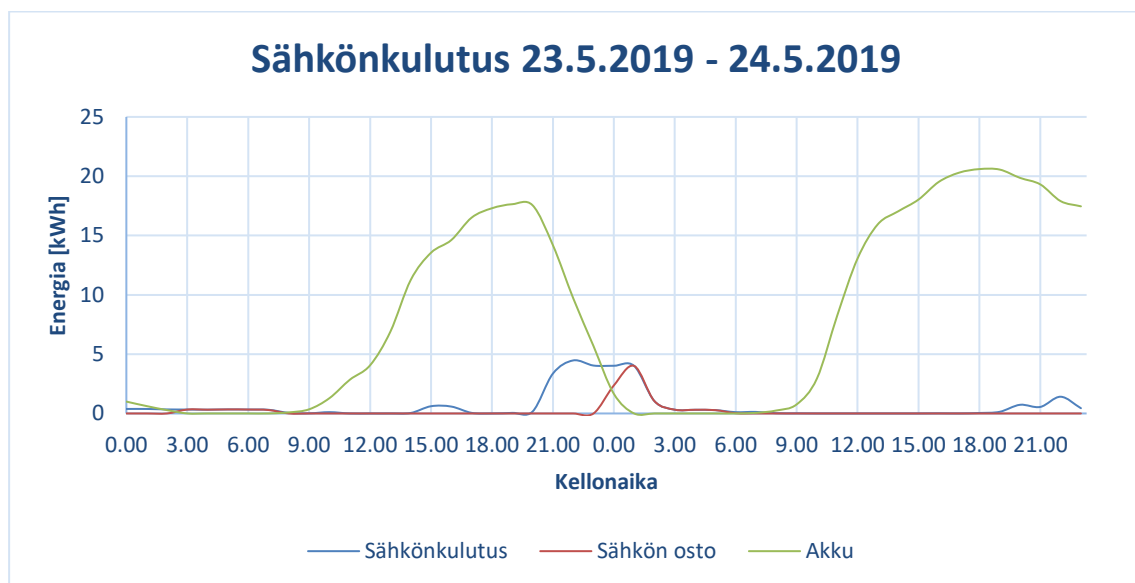


KUVA 13. Sähkönkulutus 23.5.–24.5.

Latauksen hinta lasketaan samalla tavalla kuin edellisessä tilanteessa. Täten latauksen hinnaksi saadaan  $0,78 \text{ €} + 0,036 \text{ €} + 0,62 \text{ €} + 0,51 \text{ €} = 1,95 \text{ €}$ . Hinta per kilowattitunti tällä latauksen hinnalla on  $18 \text{ kWh} / 1,95 \text{ €} = 0,107 \text{ €}$ . Auton kulutus valmistajan mukaan on 158 Wh/km, joka on  $15,8 \text{ kWh} / 100 \text{ km}$ , joten hinnaksi per 100 km muodostuu  $0,107 \text{ €} * 15,8 \text{ kWh} / 100 \text{ km} = 1,69 \text{ €} / 100 \text{ km}$ .

Kuvassa 13 on myös sähkön myynnin kuvaaja. Latausta edeltäneen päivän sähkön myynti oli 19,23 kWh. Koko päivän sähkönkulutus oli 24,67 kWh, josta illan ja yön osuus oli 19,90 kWh. Jos myyty energia olisi saatu talteen akkuihin, sillä olisi suurelta osin voitu kattaa illan ja yön aikaiset tarpeet. Myydystä sähköstä saatiin 1,07 €, ja koko päivän sähkönoston kustannukset olivat 2,31 €. Jos nämä vähennetään toisistaan, saadaan  $2,31 \text{ €} - 1,07 \text{ €} = 1,24 \text{ €}$ . Myydyllä sähköllä siis pystyttiin kattamaan hieman alle puolet sähkön oston kustannuksista.

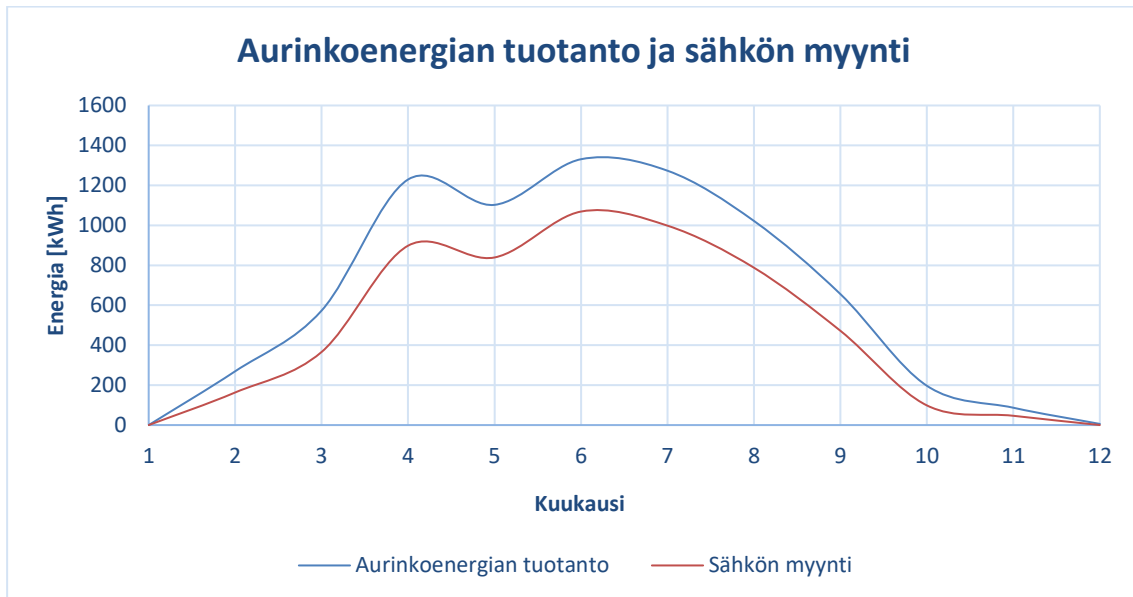
Jos energia olisi pystytty varastoimaan akkuihin ostettavan sähkön hinnaksi olisi jäänyt 1,10 €. Akkujen avulla sähkön oston kustannukset olisivat olleet siis pienemmät kuin todellisessa tilanteessa. Kuvassa 14 on esitetty, miten akkuun kertyy energiaa ja milloin se purkautuu sekä milloin olisi turvauduttava ostosähköön.



KUVA 14. Akun käyttäytyminen

### 4.3 Sähkön myynti

Kuvassa 15 on kuvattuna aurinkoenergian tuotanto ja sähkön myynti. Kuten kuvasta nähdään, suurin osa tuotetusta energiasta menee myyntiin, koska akkuja, joihin energiaa voitaisiin varastoida, ei ole. Ylijäämästä sähköstä Lahti Energia maksaa pörssisähkön spot-hinnan, josta vähennetään marginaali 0,09 snt/kWh.



KUVA 15. Aurinkoenergian tuotanto ja sähkön myynti

Taulukkoon 8 on kuvattu koko vuoden myyty sähkö. Sähköstä saatu tuotto on laskettu pörssisähkön spot-hinnalla ja siitä on vähennetty 0,09 snt/kWh marginaali.

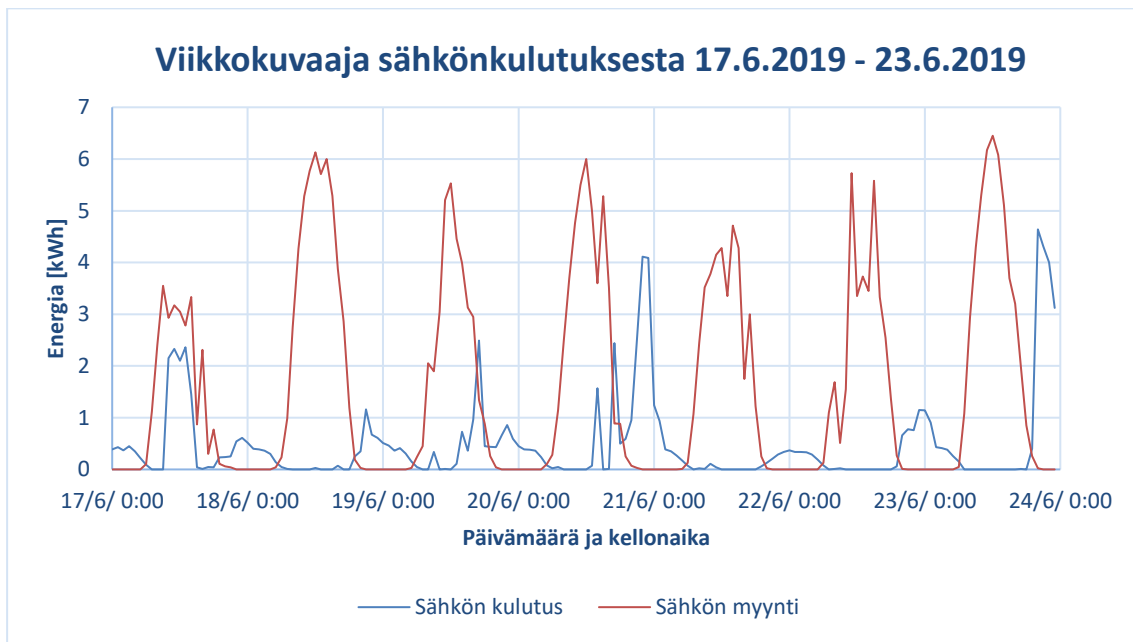
TAULUKKO 8. Sähkön myynti

| Kuukausi        | Myyty sähkö [kWh] | Myyty sähkö [€] |
|-----------------|-------------------|-----------------|
| Tammikuu        | 0                 | 0.00            |
| Helmikuu        | 163.15            | 6.97            |
| Maaliskuu       | 366.08            | 12.12           |
| Huhtikuu        | 898.14            | 35.24           |
| Toukokuu        | 839.14            | 36.63           |
| Kesäkuu         | 1069.01           | 41.75           |
| Heinäkuu        | 998.27            | 47.09           |
| Elokuu          | 787.79            | 40.58           |
| Syyskuu         | 471.95            | 28.00           |
| Lokakuu         | 98.43             | 5.02            |
| Marraskuu       | 46.44             | 2.24            |
| Joulukuu        | 0.15              | 0.01            |
| <b>Yhteensä</b> | <b>5738.55</b>    | <b>255.66</b>   |

Myyty sähkö voidaan vähentää sähkön ostosta, jolloin saadaan  $837,36 \text{ €} - 255,66 \text{ €} = 555,95 \text{ €}$ . Tämä verran on vuodessa jouduttu maksamaan sähköstä. Jos tätä verrataan tilanteeseen, jossa aurinkopaneeleja ei olisi eli kaikki sähkö olisi ostettu, niin aurinkopaneelien avulla säästetään vuodessa  $1086,86 \text{ €} - 555,95 \text{ €} = 530,91 \text{ €}$ .

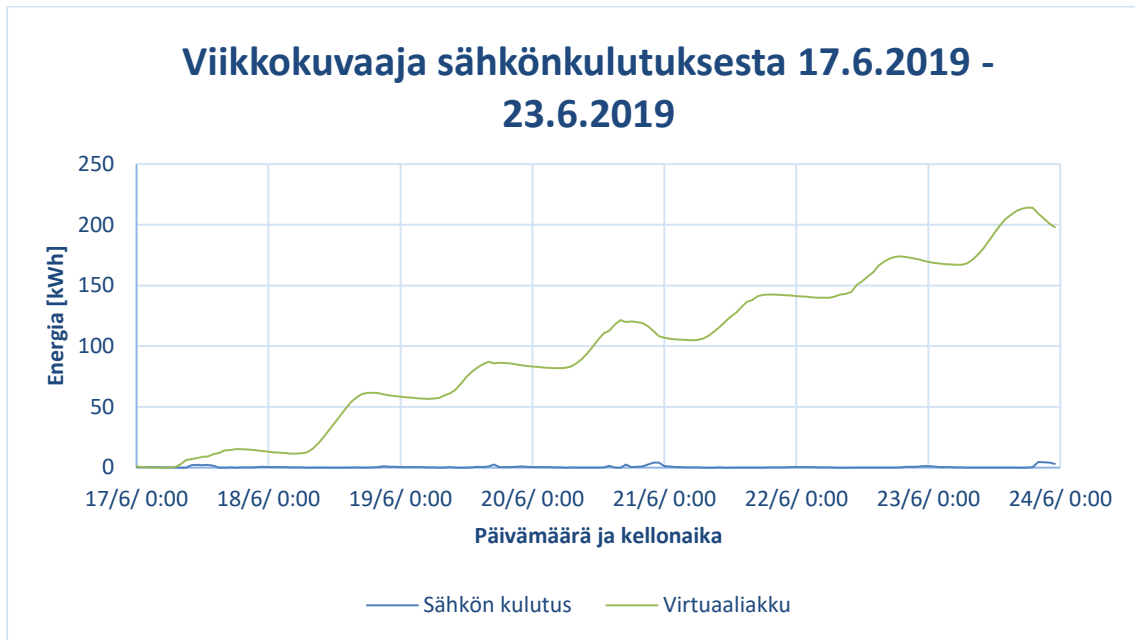
Keväällä 2021 aurinkojärjestelmän arvonlisäverollinen hinta oli pientalokokoluokalle noin 1–2 €/Wp. Vastavan kokoluokan aurinkojärjestelmä kuin tässä case-tarkastelussa eli 8,1 kWp maksaisi siis 8100–16 200 €. Takaisinmaksu aika olisi tällöin 15–30 vuotta.

Kuvassa 16 on viikon sähkönkulutus kesäkuulta. Punainen sähkön myynnin kuvaaja ja sininen sähkönkulutuksen kuvaaja eivät juurikaan kohtaa, sillä päiväsaikaan sähkönkulutus on pieni, kun talo on tyhjiällä ja samaan aikaan sähkön tuotanto on suuri, kun auringonsäteily on korkeimmillaan. Viikon ensimmäisenä päivänä joku on todennäköisesti ollut kotona, kun sähkönkulutus on päiväaikana muita päiviä korkeampi. Tällöin myös sähkön myynti on pienempi, koska itse tuotettua aurinkoenergiaa on saatu enemmän käytettyä.



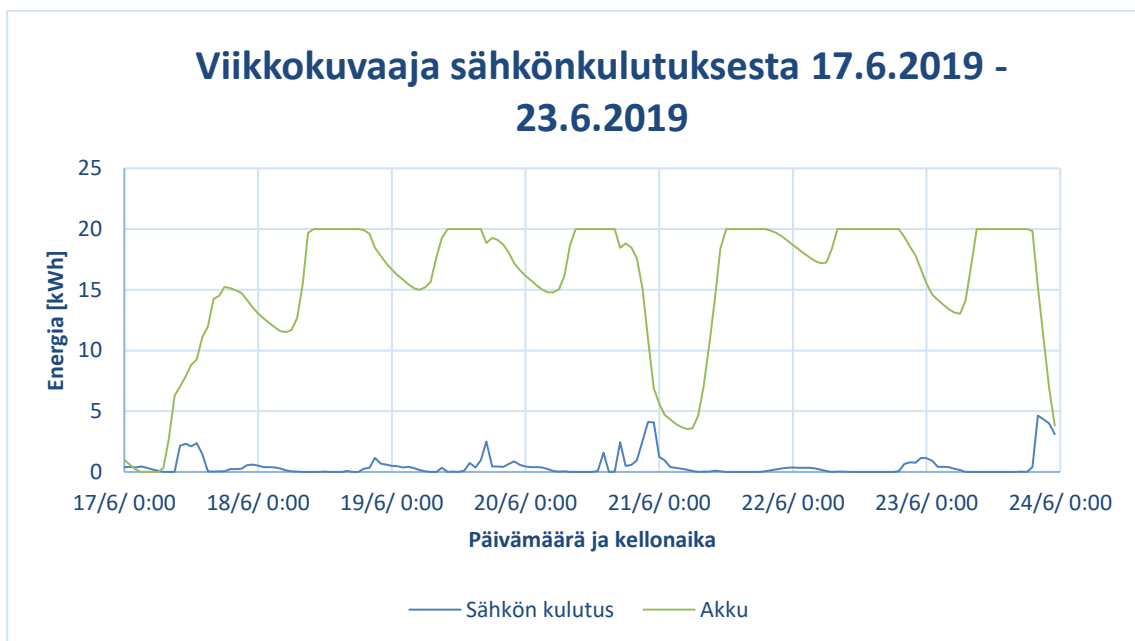
KUVA 16. Viikkokuvaaja sähkönkulutuksesta kesäkuulta

Kuvassa 17 on sama ajankohta kuin kuvassa 16. Tilanteessa oletetaan, että käytössä on virtuaaliakku. Kuvaaja esittää miten virtuaaliakun varaus kasvaa viikon kuluessa. Aurinkoenergian tuotanto ylittää kulutuksen huomattavasti, jolloin akun varaus kasvaa päiväsaikaan enemmän, kuin mitä se yöllä laskee.



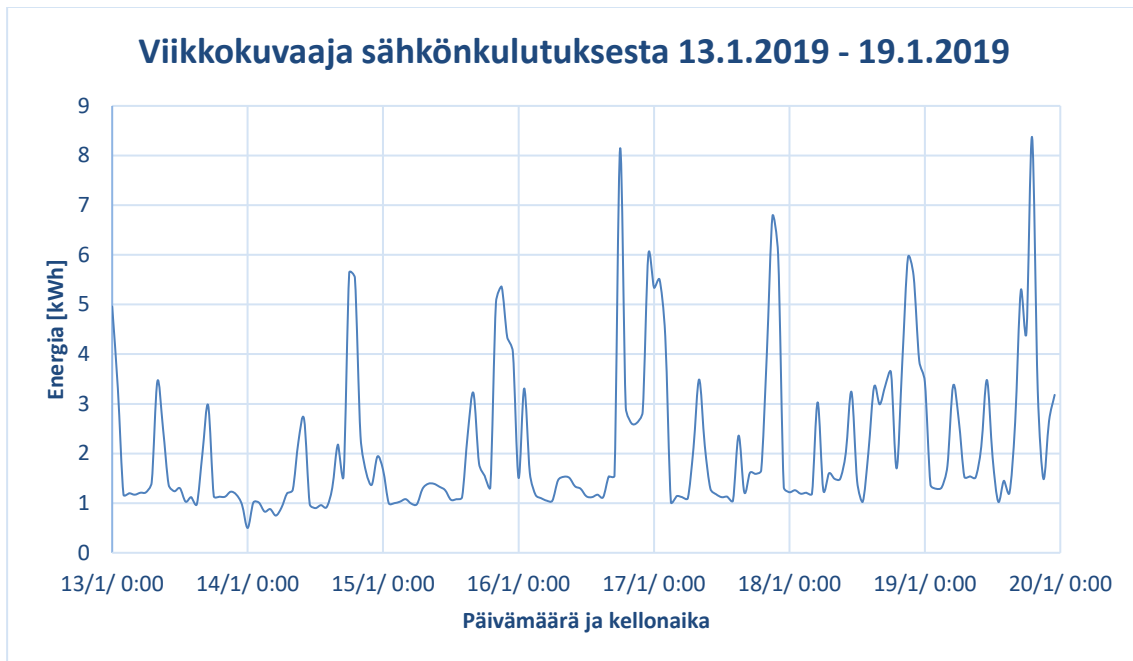
KUVA 17. Viikkokuvaajan virtuaaliakku

Kuvassa 18 on myös sama ajanjakso tarkasteltavana. Tässä tapauksessa oletetaan, että käytössä on 20 kWh:n fyysinen akku. Akkuun ei siis voida varastoida tämän enempää energiaa vaan ylijäämä menee tässä tapauksessa myyntiin. Tämän kokoinen akku riittää hyvin kyseisen viikon tarpeisiin. Perjantaina akun varaus putoaa huomattavasti muita päiviä enemmän, mutta sillä pysytään silti kattamaan kyseisen päivän energiantarpeet.



KUVA 18. Viikkokuvaajan fyysinen akku

Kuvassa 19 on sähkönkulutuksen kuvaaja tammikuulta. Sähkön myynnistä ei ole kuvaajaa kyseiseltä viikolta, koska aurinkoenergian tuotantoa ei ollut. Korkeat sähkönkulutuspiikit ovat todennäköisesti saunan sähkökiukaasta johtuvia, koska talossa on 9 kW:n sähkökiuas. Talvisaikaan sähkönkulutus on muutenkin suurempaa.



KUVA 19. Viikkokuvaaja sähkönkulutuksesta tammikuulta

#### 4.4 Akusto

Aurinkosähköjärjestelmässä voidaan käyttää erilaisia akkuja. Yleisin käytetty akkutyyppe on AGM-akku (absorbent glass mat). Se on turvallinen vaihtoehto, sillä se ei vuoda rikkoutuessaan ja se on huoltovapaa. Se kestää hyvin syväpurkausta, sillä on hyvä varauksen vastaanottokyky sekä pieni sisäinen vastus ja itsepurkaus (17.) Se voidaan sijoittaa sisätiloihin, mutta on huomioitava hyvä ilmanvaihto (18).

Avoimet happoakut eivät ole niin turvallisia, sillä ne tuottavat myrkyllistä kaasua. Jos ne sijoitetaan sisätiloihin, niiden kanssa on oltava erityisen tarkka ilmanvaihdesta ja akkujen välissä tulisi olla jonkin verran väliä kuumenemisen hillitsemiseksi. Yleensä avoimet akut sijoitetaan ulos. Litium-akut ovat pienikokoisia, joten niiden sijoitus on helppoa. Ne eivät myöskään aiheuta vaaroja, mikäli ne toimivat oikein (18.)

Fyysiset akut ovat kuitenkin tällä hetkellä vielä melko kalliita. On myös olemassa ns. virtuaaliakkuja. Näissä aurinkopaneeleilla itse tuotettu sähkö voidaan ajatella varastoitavan myöhempää käyttöä varten. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että itsetuotettu käyttämättä jäänyt sähkö hyvitetään sovitulla hinnalla, kun kulutat

sähkö myöhemmin esimerkiksi yöaikaan. Ylijäämä sähkö kertyy virtuaaliselle tilille, ja kun sähköä ostetaan verkosta, tilille kertynyt saldo käytetään ensisijaisesti (19.)

#### 4.4.1 Fyysinen akku

Jos valitaan fyysinen akku pelkästään sähköauton latauksen tarpeisiin, akun kapasiteetti olisi lähellä auton akkua. Auton nettokapasiteetti on 20,50 kWh. Ampeeritunteina se on  $(20,50 \text{ kWh} * 1000) / 12 \text{ V} = 1708,33 \text{ Ah}$ . Oletetaan, että akkuja käytettäisiin vain sähköauton lataamiseen.

Esimerkiksi Powerxon AGM Deep Cycle akku 12V 250 Ah DS-250 maksaa Lapin akkumaailmassa 419 €. Kun akkuja kytketään 7 kappaletta rinnan, saadaan kapasiteetiksi 1750 Ah. 7 kappaletta akkuja maksaa 2933 €. Auton kustannukset per 100 km ovat noin 2 €, ja yhdellä akullisella voidaan ajaa valmistajan tietojen mukaan 130 km. Autolla ajetaan 1–2 akullista viikossa. Vuodessa ajetaan silloin 52–104 akullista. Kilometreinä tämä tarkoittaa 6760–13520 km ja kustannuksina 135–270 €. Aurinkosähköjärjestelmän akkujen takaisinmaksu aika olisi tällöin 22–11 vuotta, riippuen siitä paljonko autolla ajetaan. Akut joudutaan todennäköisesti vaihtamaan ennen takaisinmaksun toteutumista. Akkujen käyttäminen pelkästään auton lataukseen ei siis ole järkevää, vaan akkuihin varastoitua sähköä käytettäisiin myös talon muihin sähkönkulutuksen tarpeisiin. Jos autolla ajettaisiin enemmän, akkujen hyöty kasvaisi ja takaisinmaksuaika pienenesi.

#### 4.4.2 Virtuaaliakku

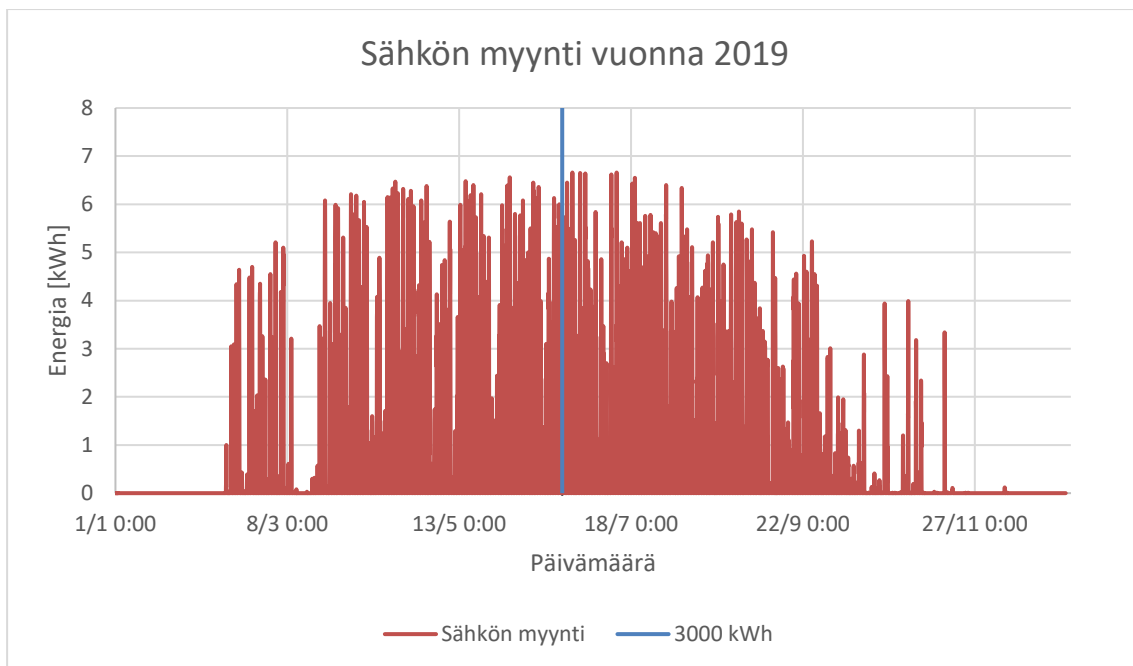
Helen tarjoaa virtuaaliakkua, jossa sinne varastoidusta aurinkosähköstä maksetaan 13 snt/kWh eli kun asiakas käyttää virtuaaliakkuun varastoitua sähköä, Helen vähentää sähkölaskusta 13 senttiä jokaisesta käytetystä kilowattitunnista (18). Kokonaisaurinkoenergian tuotanto on 7746 kWh ja sähkönkulutus 9632 kWh. Jos kaikki tuotettu aurinkoenergia olisi käytetty virtuaaliakun avulla, ostettavan sähkön määräksi olisi jäänyt  $9632 \text{ kWh} - 7746 \text{ kWh} = 1886 \text{ kWh}$ .

Tässä case-tarkastelussa oma tuotetusta aurinkoenergiasta käytettiin 2007 kWh ja myyntiin meni 5739 kWh. Helenin tarjoamissa virtuaaliakku sopimuksissa on kuitenkin käyttöraja vuodessa. Esimerkiksi XXL -tason sopimuksen käyttöraja on 3000 kWh ja vuosimaksu 265 €. Jos ylijäämä sähkö olisi myynnin sijaan varastoitunut virtuaaliakkuun käyttöraja huomioon ottaen, siitä olisi hyvitetty  $0,13 \text{ €/kWh} * 3000 \text{ kWh} = 390 \text{ €}$ . Vähennetään tämä koko vuoden sähkön ostohinnasta ja lisätään vuosimaksun hinta  $837,36 \text{ €} - 390 \text{ €} + 265 \text{ €} = 712,36 \text{ €}$ .

Jos 3000 kWh:n yli tuotettu sähkö voitaisiin myydä, maksettavaksi jäisi  $712,36 \text{ €} - 147,52 \text{ €} = 564,84 \text{ €}$ . Tässä tilanteessa olisi jouduttu maksamaan hieman enemmän kuin nykyisessä, joka oli 555,95 €. Mikäli käyttöraja olisi suurempi kuin 3000 kWh, esimerkiksi tarpeeksi suuri, jotta kaikki omatuotettu ylijäämä aurinkoenergia pystyttäisiin varastoimaan virtuaaliakkuun ja jos oletetaan, että hyvitys säilyisi samana, siitä voitaisiin hyvittää

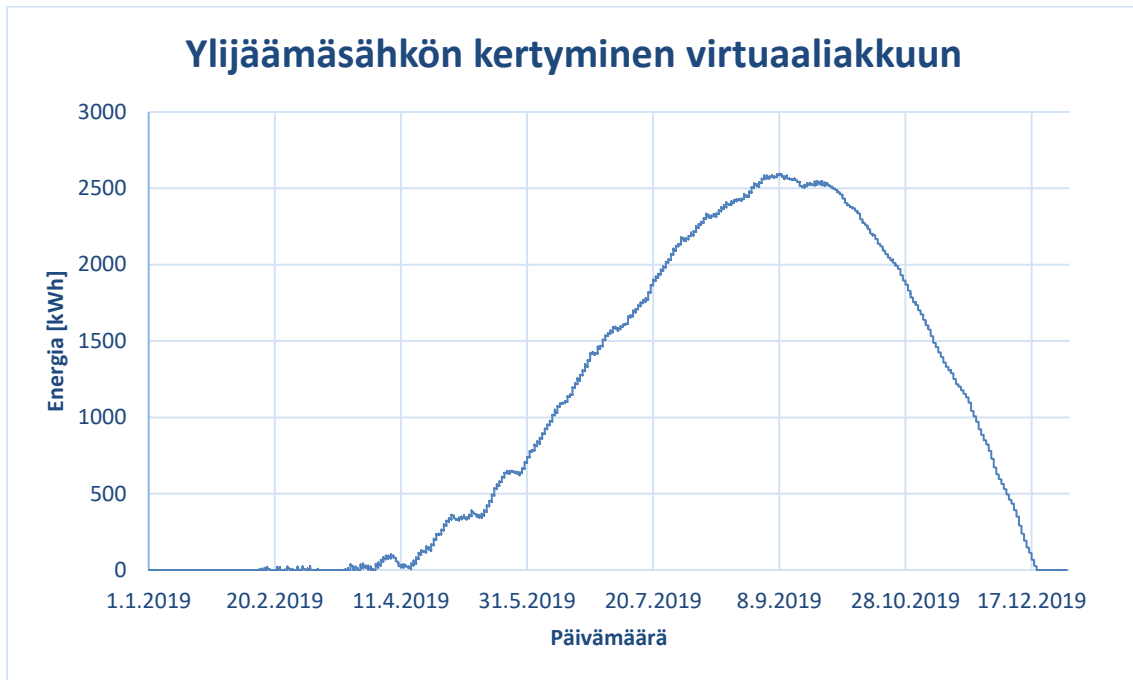
$0,13 \text{ €/kWh} * 5739 \text{ kWh} = 746,07 \text{ €}$ . Vuosimaksu olisi tässä tilanteessa todennäköisesti suurempi, mutta jos oletetaan sekin samaksi, maksettavaksi vuodessa jäisi  $837,36 \text{ €} + 265 \text{ €} - 746,07 \text{ €} = 357,29 \text{ €}$ .

Virtuaaliakku ei siis olisi kannattava tässä tarkastelussa olevalle aurinkojärjestelmälle, ellei tarjolla ole virtuaaliakkua, jonka käyttöraja olisi suurempi. Kuvassa 20 on esitetty koko vuoden sähkön myynti ja sinisellä viivalla kohta, jossa on saavutettu 3000 kWh sähkön myynti.



*KUVA 20. Vuoden 2019 sähkön myynti*

Kuvassa 21 oletetaan että käytössä olisi virtuaalinen akku. Kuvaajasta nähdään, kuinka ylijäämä sähkö varastoituu akkuun. Huhtikuun puolesta välistä alkaen sähköä ei siis tarvitsisi ostaa ollenkaan ennen kuin vasta joulukuun lopulla. Omatuotettu sähkö riittäisi siis loppu keväästä alkaen melkein koko vuodeksi.



KUVA 21. Ylijäämäsihkin kertyminen virtuaaliakkuun

#### 4.5 Sähköauton kustannukset

Tässä tarkastelussa autolla ajetaan noin 1–2 akullista viikossa. Tämä tarkoittaa energiana 1066–2132 kWh, koska auton akun käytettävissä oleva kapasiteetti on 20,5 kWh. Jos autolla oletetaan ajettavan valmistajan ilmoittaman kulutuksen mukaan eli 158 Wh/100 km, yhdellä akullisessa voidaan ajaa noin 130 km. Ajoa kertyisi kilometreinä 6760–13520 km. Jos oletetaan latauksen kustannuksen olevan 2 € / 100 km, eli autoa ladataan vain ostosähköllä, saadaan vuosittaiseksi hinnaksi 135–270 €. Latauksen kustannuksia voidaan alentaa, mitä enemmän autoa pystytään lataamaan omatuotetulla aurinkoenergialla.

Vastaavan polttomoottorikäyttöisen (benssiini) auton yhdistetty kulutus on 4,3 l / 100 km. Bensiinin hintana käytetään vuoden 2019 keskihintaa eli noin 1,5 €/l. Hinnaksi per satakilometriä muodostuu siis 6,45 €. Samalla ajoprofiililla vuosittaiseksi polttoaineen kustannukseksi tulisi 436–872 €. Sähköauton latauksen kustannukset ovat noin 70 % pienemmät kuin benssiinikäyttöisen auton. Auton kustannuksiin kuuluu myös itse auton hinta, onko auto uusi vai käytetty, autovero sekä -vakuutus ja auton huoltokustannukset.

#### 4.6 Päästöt

Kun ajatellaan auton päästöjä, mieleen yleensä tulee auton polttoaineen poltosta syntyvät pakokaasut. Polttomoottorikäyttöisen auton käytön aikaiset hiilidioksidipäästöt muodostavat suurimman osan koko auton elinkaaren aikana syntyvistä hiilidioksidipäästöistä. Auton valmistuksen osuus hiilidioksidipäästöistä on noin 15–

40 g/km, joka on Suomessa noin 10–15 % ja polttoaineen valmistuksen sekä tuotannon osuus on myös noin 10–15 %. Bensiinin tuottamisesta, johon kuuluu öljyn- ja polttoaineenjalostus sekä kuljetus- ja jakeluprosessi, syntyy hiilidioksidia noin 14 g / 1 MJ polttoainetta ja dieselöljyn tuottamisessa noin 16 g / 1 MJ dieselöljyä. Muualla Euroopassa auton käytön aikaiset hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät, koska autoilla ajetaan keskimäärin vähemmän kuin Suomessa (20.)

Sähkökäyttöisillä ajoneuvoilla käytön aikaiset hiilidioksidipäästöt kohdistuvat sähkön tuotantoon ja jakeluun. Uusiutuvilla energianlähteillä tuotettu sähkö aiheuttaa pienemmät päästöt kuin fossiililla. Suomessa tuotetun sähkön keskimääräiset päästöt ovat 26–35 g/km. Ajoneuvon valmistuksen osuus hiilidioksidipäästöistä on sähköautossa noin 30–60 g/km, joka vähän suurempi kuin polttomoottorikäyttöisessä (20.)

Esimerkkipäivänä on käytetty 19.12.2019, jolloin autoa on ladattu yöllä klo 0.00–6.00 välisenä aikana. Fingridin sivulta on saatu kyseiselle ajankohdalle sen hetkinen Suomen sähköntuotannon päästökerroin, joka on arvio kotimaisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöistä reaaliajassa. Nämä on esitetty taulukossa 9.

*TAULUKKO 9. Suomen sähköntuotannon päästökerroin*

| Kellonaika | gCO <sub>2</sub> /kWh |
|------------|-----------------------|
| 0:00       | 99.17                 |
| 1:00       | 101.29                |
| 2:00       | 102.48                |
| 3:00       | 102.75                |
| 4:00       | 102.05                |
| 5:00       | 103.11                |
| 6:00       | 99.35                 |
| Keskiarvo  | 101.46                |

Volkswagen e-Golf 2015 kuluttaa pakkasella noin 25 kWh/100 km, joten päästöt voidaan laskea kertomalla kulutus kulutetun sähkön päästökertoimella eli 101,46 gCO<sub>2</sub>/kWh \* 25 kWh/100 km = 2536,43 gCO<sub>2</sub>/100 km = 25,36 g/km. Päästöt voidaan laskea myös käyttämällä Suomessa kulutetun sähkön päästökerrointa, joka on arvio kulutetun sähkön tuottamisesta aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä. Tässä on huomioitu myös Suomeen tuotu sähkö ja Suomesta viety sähkö. Taulukkoon 10 on merkitty kulutetun sähkön päästökerroin samana ajankohtana kuin taulukossa 9.

TAULUKKO 10. Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin

| Kellonaika | gCO <sub>2</sub> /kWh |
|------------|-----------------------|
| 0:00       | 102.98                |
| 1:00       | 109.55                |
| 2:00       | 111.56                |
| 3:00       | 113.24                |
| 4:00       | 115.29                |
| 5:00       | 115.59                |
| 6:00       | 113.48                |
| Keskiarvo  | 111.67                |

Lasketaan sähköauton päästöt samalla tavalla kuin edellisessä esimerkissä eli  $111,67 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \cdot 25 \text{ kWh}/100 \text{ km} = 2791,75 \text{ gCO}_2/100 \text{ km} = 27,92 \text{ g/km}$ . Bensiinikäyttöisen Volkswagen Golf 2015 1.0 TSI (115 Hp) BlueMotionin päästöt ovat valmistajan mukaan  $99 \text{ g/km}$ , mikä on noin neljä kertaa suurempi kuin tässä työssä lasketun sähköauton päästöt.

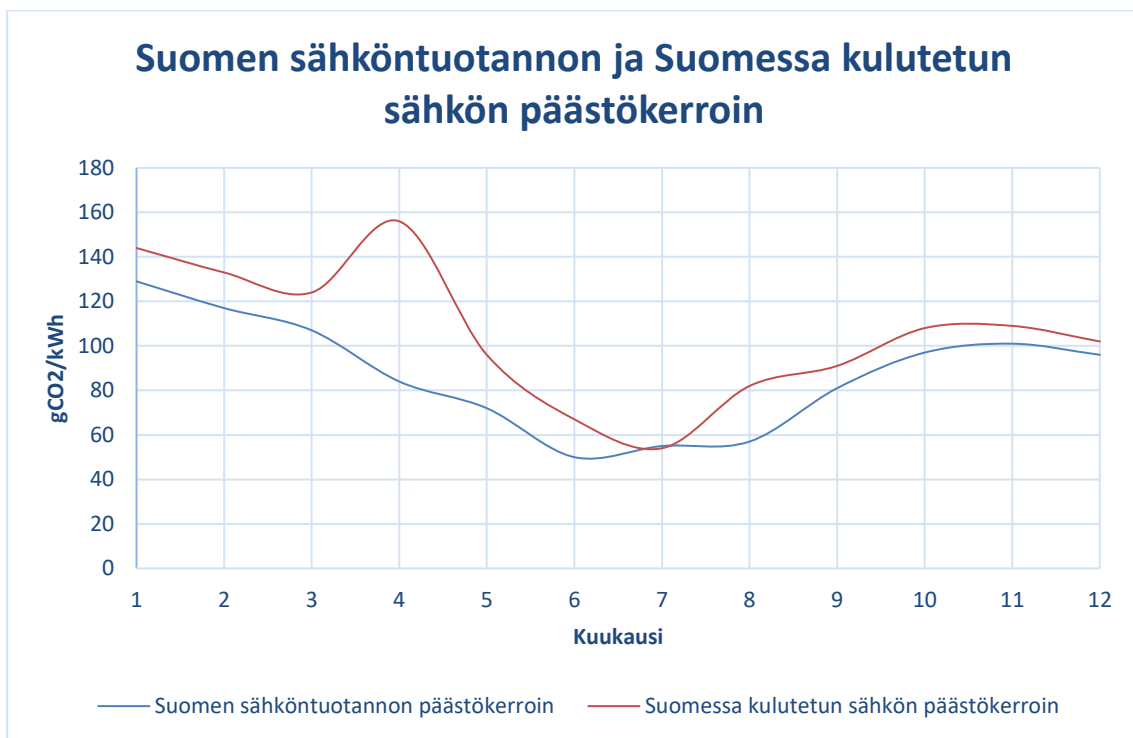
Liikenne- ja viestintäviraston tilastojen mukaan vuonna 2021 katsastettiin yhteensä 1 189 79 autoa, joiden ajettujen kilometrien keskiarvo oli 181 915 km (21). Tämän verran ajatulle autolle voidaan laskea siihen mennessä aiheutuneet päästöt. Bensiinikäyttöisellä autolla auton valmistuksesta aiheutuneet päästöt ovat 15–40 gCO<sub>2</sub>/km. Polttoaineen valmistuksen sekä tuotannon osuus on 14 gCO<sub>2</sub>/MJ. Bensiinin tiheys on 0,75 kg/l ja lämpöarvo 43 MJ/kg, joiden avulla saadaan energia sisältö, joka on  $0,75 \text{ kg/l} \cdot 43 \text{ MJ/kg} = 32,25 \text{ MJ/l}$ . Polttoaineen valmistuksesta ja tuotannosta aiheutuvat päästöt per litra ovat täten  $14 \text{ gCO}_2/\text{MJ} \cdot 32,25 \text{ MJ/l} = 451,5 \text{ gCO}_2/\text{l} = 0,4515 \text{ kgCO}_2/\text{l}$ . Polttoaineen palaessa hiilidioksidia syntyy 2,35 kg/l. Bensiinikäyttöisen auton keskikulutus Suomessa vuonna 2020 oli 6,9 l/100 km.

Lasketaan auton valmistuksesta syntyneet päästöt keskiarvolla eli  $27,5 \text{ g/km} \cdot 181 915 \text{ km} = 5 002 663 \text{ g} = 5002 \text{ kg}$ . Autolla kulutetun bensiinin määrä on  $181 915 \text{ km} / 6,9 \text{ l} / 100 \text{ km} = 12 552 \text{ l}$ . Tämän polttoaineen valmistuksen sekä tuotannon päästöt ovat  $12 552 \text{ l} / 0,4515 \text{ kg/l} = 5667 \text{ kg}$ . Lopuksi lasketaan bensiinin palamisesta aiheutuneet päästöt  $12 552 \text{ l} \cdot 2,35 \text{ kg/l} = 29 498 \text{ kg}$ . Yhteenlaskettu päästöjen määrä on  $(5002 + 5667 + 29 498) \text{ kg} = 40 167 \text{ kg}$ . Päästöt g/km =  $40 167 \text{ kg} / 181 915 \text{ km} = 0,2208 \text{ kg/km} = 220,8 \text{ g/km}$ . Volkswagen Golf 2015 1.0 TSI (115 Hp) BlueMotion valmistajan ilmoittavat päästöt, jotka ovat  $99 \text{ g/km}$ , ovat siis pelkästään polttoaineen palamisesta syntyvät.

Oletetaan, että sähköautolla ajetaan saman verran. Valmistuksen päästöjen osuus on noin 30–60 g/km, josta keskiarvo on 45 g/km. Suomessa tuotetun sähkön päästöt ovat noin 26–35 g/km, josta keskiarvo on 30,5

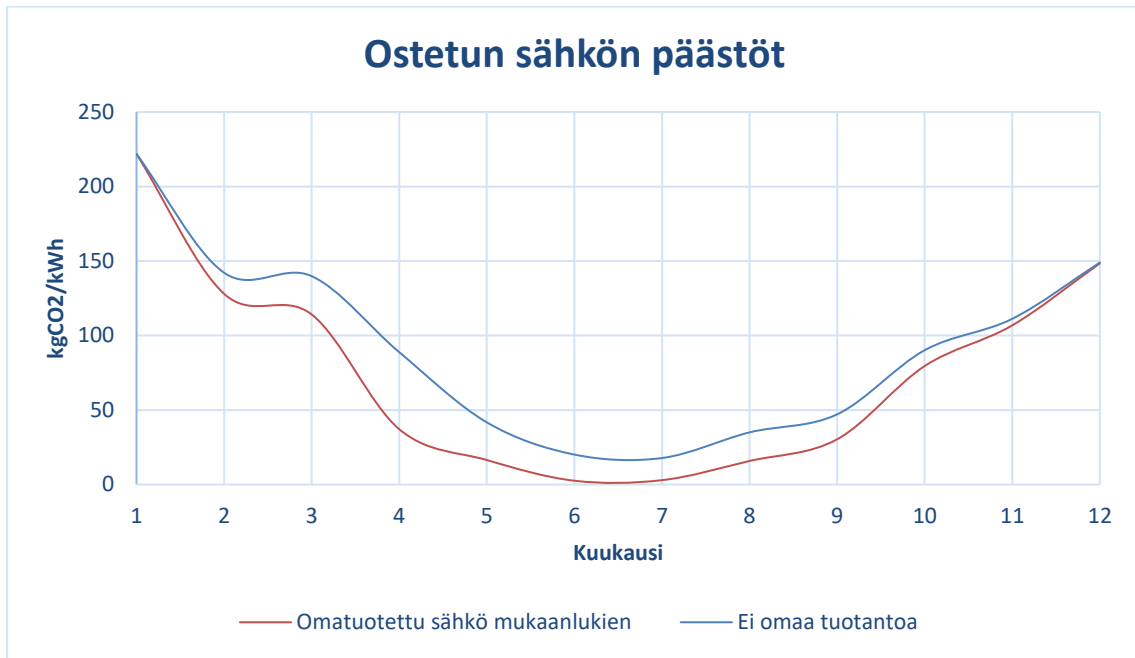
g/km. Silloin valmistuksesta syntyneet päästöt ovat  $45 \text{ g/km} * 181\,915 \text{ km} = 8186 \text{ kg}$  ja auton akun lataamiseen käytetyn sähkön päästöt  $30,5 \text{ g/km} * 181\,915 \text{ km} = 5548 \text{ kg}$ . Yhteenlasketut päästöt ovat siis  $8186 \text{ kg} + 5548 \text{ kg} = 13\,735 \text{ kg}$ . Polttomoottorikäyttöisen auton päästöjen ja sähköauton päästöjen ero on  $40\,167 \text{ kg} - 13\,735 \text{ kg} = 26\,432 \text{ kg}$ . Prosentteina ero on  $(26\,432 \text{ kg} / 40\,167 \text{ kg}) * 100 = 66 \%$ . Sähköauton käytöstä aiheutuvat päästöt ovat siis 66 % pienemmät kuin polttomoottorikäyttöisen auton.

Kuvassa 22 on Suomen sähköntuotannon ja Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin keskiarvoina kuukausittain vuonna 2019. Tämän avulla voidaan laskea case-tarkastelussa ostetusta sähköstä aiheutuneet päästöt sekä se, kuinka paljon omatuotettu aurinkoenergia on vähentänyt päästöjä.



KUVA 22. Suomen sähköntuotannon ja Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin vuonna 2019

Kuvassa 23 on esitetty ostetun sähkön päästöt todellisessa tilanteessa ja teoreettisessa tilanteessa, jossa omaa aurinkosähköntuotantoa ei olisi. Nämä arvot on laskettu käyttäen Suomessa kulutetun sähkön päästökerrointa eli siinä otetaan huomioon myös Suomeen tuotu ja Suomesta viety sähkö. Todellisessa tilanteessa ostettu sähkö aiheuttaa CO<sub>2</sub>-päästöjä 904 kg. Teoreettisessa tilanteessa, jossa omaa tuotantoa ei ole, CO<sub>2</sub>-päästöt ovat 1105 kg. Omatuotettu aurinkosähkö vähentää siis päästöjä noin 18 %.



KUVA 23. Ostetun sähkön päästöt

## 5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia sähköautoilun kannattavuutta piensähkön tuotannon näkökulmasta suomalaisessa perheessä. Kannattavuuden tarkastelussa perehdyttiin kustannuksiin ja päästöihin. Tarkastelu tehtiin case-tyyppisesti. Tarkastelussa ollut kiinteistö sijaitti Hollolassa ja siinä oli piensähkön tuotantomuotona aurinkopaneelit, joiden nimellisteho oli 8,1 kWp. Keskeisin työn menetelmä oli kiinteistön omistajan antaman mittausdatan analysointi ja se oli olennainen osa tätä työtä.

Mittausdatasta selvitettiin sähköauton latauspäiviä, ja laskettiin siitä aiheutuvia kustannuksia ja todettiin, että kustannukset ovat 70 % pienemmät vastaavaan polttomoottorikäyttöiseen autoon verrattuna. Myös sähköauton valmistuksesta ja käytöstä aiheutuneita päästöjä vertailtiin vastaavan polttomoottorikäyttöisen auton päästöihin ja huomattiin, että sähköauton valmistuksen aikaiset päästöt ovat noin 60 % suuremmat, mutta kokonaisuudessaan 66 % pienemmät. Omatuotettu aurinkoenergia pienentää päästöjä noin 18 %. Akkujen käyttö sähköauton lataamisen näkökulmasta ei ollut kannattavaa.

Mitä enemmän sähköautoa pysytään lataamaan aurinkosähköllä, sitä pienemmäksi latauksen kustannukset putoavat. Myös sähköauton käytön aikaiset päästöt pienentyvät, koska verkosta ei tarvitse ostaa sähköä, jonka tuottamisesta on syntynyt päästöjä. Kuitenkin aurinkopaneelien valmistuksesta syntyy myös päästöjä, joten periaatteessa aurinkosähkökään ei ole päästötöntä. Jos autolla ajettaisiin enemmän, akkujen kannattavuus sähköauton lataamisen kannalta kasvaisi.

## LÄHTEET

1. Motiva 2020. Sähkön pientuotanto. Hakupäivä 12.8.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/sahkon\\_pientuotanto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto).
2. Energiategollisuus ry 2021. Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti kasvoi 45 prosenttia vuonna 2020 - pientuotantoa lähes 300 megawattia. <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-kasvoi-45-prosenttia-vuonna-2020-pientuotantoa-lahes-300-megawattia>.
3. Motiva 2021. Auringon säteilyn määrä Suomessa. Hakupäivä 12.8.2021 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa).
4. European Commission. EU Science Hub. PVGIS data sources & calculation methods. Hakupäivä 3.3.2022. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en).
5. Vattenfall. Aurinkopaneelipaketit. Hakupäivä 1.5.2022. <https://www.vattenfall.fi/aurinkopaneeli/paketit-ja-hinnat/>.
6. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Yleistä Pientuulivoimasta. Hakupäivä 14.3.2022. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/pientuulivoima/yleista-pientuulivoimasta>.
7. Motiva 2021. Pienvesivoima. Hakupäivä 16.3.2022. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima/pienvesivoima](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/pienvesivoima).
8. Parviainen, Asko. Pienvesivoimayhdistys Ry. Mihin pienvesivoimaa tarvitaan?. Hakupäivä 14.4.2022. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/16249680/Mihin-pienvesivoimaa-tarvitaan-Parviainen-Asko.pdf/9dbc9873-dc68-42b4-2677-eac49931cb4a/Mihin-pienvesivoimaa-tarvitaan-Parviainen-Asko.pdf?t=1579591811000>.
9. Laurila, Jussi & Lauhanen, Risto. 2011. Pienen kokoluokan CHP -teknologiasta lisää voimaa Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueelle. Hakupäivä 16.3.2022. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33460/B53.pdf?sequence=1>.
10. Arkkitehtuuri toimisto Kimmo Lylykangas Oy. 2015. Puuta käyttävät CHP-laitteet rakennusten ja rakennusryhmien energialähteenä. Hakupäivä: 5.9.2022. [http://www.tulevaisuudentalot.fi/wp-content/uploads/2014/11/CHP-ohjekortti\\_20160224.pdf](http://www.tulevaisuudentalot.fi/wp-content/uploads/2014/11/CHP-ohjekortti_20160224.pdf).
11. Liikennevirasto 2016. Henkilöliikennetutkimus. Hakupäivä 11.3.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2018-01\\_henkiloliikennetutkimus\\_2016\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2018-01_henkiloliikennetutkimus_2016_web.pdf).

12. Tilastokeskus. Autot käyttövoiman mukaan 1990-2021. Hakupäivä 11.3.2022. [https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_lii\\_mkan/stat-fin\\_mkan\\_pxt\\_11ie.px/table/tableViewLayout1/](https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_lii_mkan/stat-fin_mkan_pxt_11ie.px/table/tableViewLayout1/).
13. Motiva 2021. Sähköautot. Hakupäivä 11.3.2022. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/valitse-auto-viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot>.
14. Liikenne- ja viestintävirasto 2021. Sähköauto. Hakupäivä 2.3.2022. <https://www.traficom.fi/fi/ajavaihtoehdot/sahkoauto>.
15. Kane, Mark. 2018. Let's Look At Fast Charging Curves For Popular Electric Cars. Hakupäivä 3.3.2022. <https://insideevs.com/news/338777/lets-look-at-fast-charging-curves-for-popular-electric-cars/>.
16. Electric Vehicle Database. Volkswagen e-Golf. Hakupäivä 5.3.2022. <https://ev-database.org/car/1040/Volkswagen-e-Golf>.
17. Lapin Akkumaailma. AGM akut. Hakupäivä 2.5.2022. <https://www.lapinakkumaailma.fi/category/353/agm-akut>.
18. Sunwind 2018. Akkutyypin valinta. Hakupäivä 1.5.2022. <https://www.sunwind.fi/pages/news/read/?id=182&Akkutyypin-valinta>.
19. Helen. Virtuaaliakulla varastoit aurinkoa pilvisen päivän varalle. Hakupäivä 2.5.2022. <https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/sahko-varastointi/virtuaaliakku>.
20. Autoalan tiedotuskeskus. Auton elinkaaren aikaiset vaikutukset. Hakupäivä 2.5.2022. <https://www.aut.fi/ymparisto/auton-elinkaaren-aikaiset-paastot>.
21. Liikenne- ja viestintävirasto 2021. Henkilöautojen määräaikaiskatsastukset malleittain 2017–2021. Hakupäivä 10.5.2022. [https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi\\_Katsastuksen\\_vikatilastot/010\\_kats\\_tau\\_101.px/table/tableViewLayout1/](https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Katsastuksen_vikatilastot/010_kats_tau_101.px/table/tableViewLayout1/).