

**Sähköauton kustannustehokas lataaminen aurinkosähköä
tuottavassa kiinteistössä**

**Cost efficient charging of an electric vehicle in a building with
solar PV plant**

Kristian Eerola

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Sähkötekniikka

Kristian Eerola

Sähköauton kustannustehokas lataaminen aurinkosähköä tuottavassa kiinteistössä
2021

Kandidaatintyö.

26 s.

Tarkastaja ja ohjaaja: D.Sc Antti Kosonen

asia-/hakusanat: sähköauto, aurinkosähkö, älykäs lataaminen, kustannustehokas lataaminen

Sähköautojen ja aurinkosähkön käyttö on Suomessa lisääntynyt. Tässä työssä pyrittiin tutkimaan sähköauton latauslogiikan vaikutusta latauskustannuksiin. Tässä työssä tutkittiin myös auton lataamisen vaikutusta kiinteistön omakäyttöasteeseen. Työssä tutkittiin latauksen hintaa eri kellonaikoina tapahtuvalle lataukselle ja kolmella eri päivittäisellä ajomatalla. Työ toteutettiin Greenenergy Finland:in pyynnöstä. Tässä työssä oli tarkoitus selvittää latauslogiikan kaupalliset mahdollisuudet. Työtä varten kehitettiin ohjelma, joka laskee vuotuiset kustannukset ohjatulla ja ohjaamattomalla latauksella.

20 km ajomatalla auton käyttöajankohdalla ei ollut suurta merkitystä vuositason kustannuksiin käytettäessä ohjattua latausta(eng. intelligent charging), poislukien klo 7–17 käyttöajankohta. 50 km ja 100 km ajomatkoilla latauskustannus kasvaa järjestyksessä auton ollessa käytössä klo 7–12 , 12–17, 7–15 ja 7–17. 50 km matkalla ohjaamattoman latauksen kustannus vaihtelee 352,8–417,4 € välillä. Samalla matkalla ohjatun latauksen hinta vaihtelee 294,5–356,6 € välillä. 100 km ajomatalla ohjaamattoman latauksen kustannusväli on 731,7–834,2€. Ohjatun latauksen hinta samalla ajomatalla vaihtelee 638,2–720,5€ välillä.

Omakäyttöaste 50–100 km päivittäisellä ajolla käytännössä tuplaa kiinteistön omakäyttöasteen tutkittavassa kohteessa. Valoisina kuukausina päästään jopa reiluun 80 % omakäyttöasteeseen sähköauton kanssa. Perusomakäyttöaste on näinä kuukausina n. 40%.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Kristian Eerola

Cost efficient charging of an electric vehicle in a building with solar PV plant

2021

Bachelor's Thesis.

26 p.

Examiner: D.Sc Antti Kosonen

Utilization of electric vehicles and photovoltaic power has increased in Finland. This thesis was aimed to examine the effect of intelligent charging on charging costs. One part of study was, what effect charging of electric vehicle had on self-consumption rate of the building. Cost affects in different times of charging and driving distances were examined. this thesis was made by request of GreenEnergy Finland. The intent was to examine the commercial possibilities of charging logic. for this thesis a program was coded to calculate the annual costs for both regulated and unregulated charging.

Using controlled charge the annual costs on charging were basically not affected by time of use. One exception was 7–17 use case. Driving 50 or 100 km cost on charging increases in order : 7–12, 12–17, 7–15 and 7–17. The cost of unregulated varies between 352,8–417,4 €. Cost of regulated charge is between 294,5–356,6€. Driving distance of 100 km unregulated charging costs vary annually 731,7–834,2€, while regulated costs vary between 638,2–720,5€.

Self consumption rate with 50–100 km daily driving almost doubles the self-consumption rate of the building. months with a lot of daily light self-consumption rate of 80% can be achieved with the electric vehicle. Base self consumption rate in these months is around 40%.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

| | |
|------------------------------------|----|
| 1. Johdanto..... | 6 |
| 2. Lataaminen | 8 |
| 2.1 Yhtälöiden esittäminen..... | 8 |
| 2.2 Lataustyypit | 9 |
| 2.3 Lataustyylit..... | 9 |
| 2.4 Käytetyn koodin toiminta..... | 11 |
| 2.5 Tulokset | 14 |
| 3. Yhteenveto/johtopäätökset | 23 |
| Lähteet | 25 |

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

kWh = Kilowattitunti

kWp = Aurinkopaneelin tuottama sähköteho standardiolosuhteessa

MWh = Megawattitunti

EV = Electric Vehicle

GEF = GreenEnergy Finland

BEV = Battery Electric Vehicle

1. JOHDANTO

Sähköautojen määrä on Suomessa kasvussa ja se on tärkeä osa Suomen tavoitetta päästä hiilineutraaliksi ennen vuotta 2035 (Traficom, 2019; Traficom, 2020; Liikenne ja viestintäministeriö, 2021). Suomessa marraskuussa 2018 valtio ja autoala sopivat vapaaehtoisen green deal sopimuksen, jossa tähdätään hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Tässä keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa liikenteen päästöt tulisi vähentää puoleen vuoteen 2030 mennessä (sitoumus, 2050).

Sähkön hinta Suomessa koostuu kolmesta osasta: sähköenergian hinnasta, sähkönsiirron hinnasta sekä veroista. (Heinimäki, R.2021) Sähköenergian hinta riippuu pääsulakekoosta, valitusta yleissiirto tai kausisiirtosopimuksesta. Sähkön siirron hinnat vaihtelevat sähköyhtiöittäin ja kulloinkin voimassa olevan pörssisähkön hintaan sopimus hetkellä. (Lappeenrannan Energia, 2021).

Voimalan hankinta- ja asennuskustannusten jälkeen itsetuotetusta sähköstä ei tarvitse maksaa mitään. Ylijäämän voi myydä verkkoon markkinahintaan, joten sen kustannukseksi voidaan katsoa tulevan tuotantohetken sähköenergian hinta. Aurinkopaneelit ovat keino jokaiselle oman kiinteistönsä omistavalle tuottaa ainakin osa itse kuluttamastaan sähköstä.

Huoltoaseman sijaan sähköauto ladataan yleensä kotona, jonka vuoksi on oleellista tietää miten ja kuinka paljon sähköauton lataamisessa on mahdollista säästää.

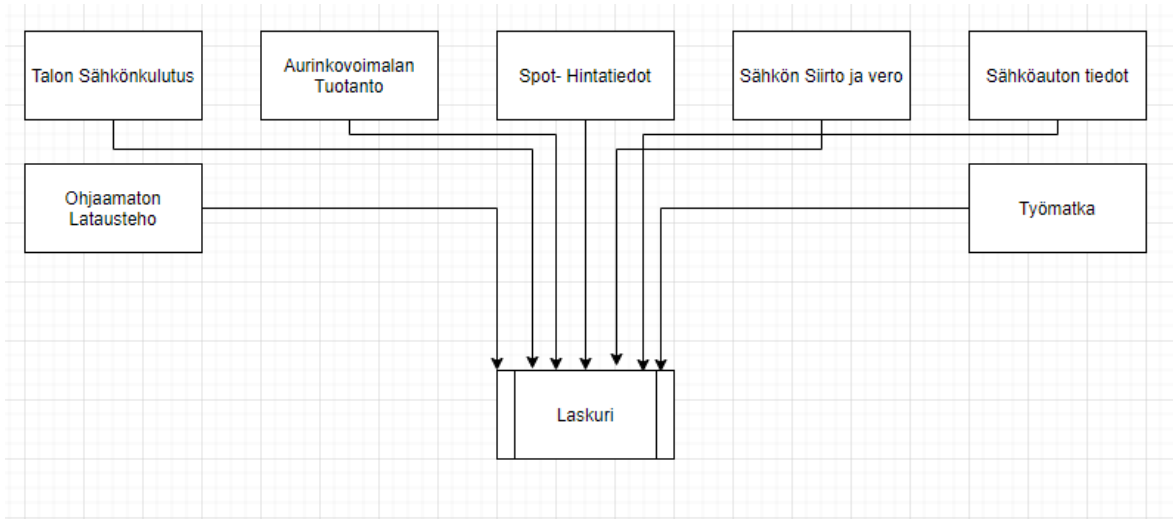
Työssä tutkittiin Lappeenrannassa sijaitsevaa omakotitaloa, johon on asennettu 5,2 kWp tehoinen aurinkovoimala. Aurinkopaneelit ovat suunnattu kiinteistössä etelään. Tutkinnan kohteena on sähköauton latauksesta aiheutuvat kulut ja säästöt. Latauksen osalta tutkitaan juuri aurinkoenergialla tuotetun latauksen kustannushyötyjä. Suomessa ei käytännössä voida koko latausta suorittaa aurinkoenergian voimalla, koska yleensä sähköautoa käytetään yleiseen työssäkäyntiaikaan eli 7–17. Mikäli työssäkävijä olisi vain yöllä töissä, olisi sähköauton lataaminen käytännössä mahdollista pelkällä aurinkoenergialla kesäaikaan. Tässä työssä on keskitytty siihen, että sähköauto liikkuu päivällä ja lataaminen tapahtuu vain osin päiväaikaan. Kustannus on myös tarkistettu tilanteessa, jossa auto olisi koko päivän kotona. Etelä-Suomessa saadaan aurinkoenergiaa lähes yhtä paljon kuin Keski-Euroopassa. Suomen pitkät kesäpäivät tasaavat talven pimeän ajan huonompaa tuottoa (Auvinen.K, 2017).

Tämän kandidaatintyön aihe saatiin GreenEnergy Finland:ilta(GEF).Tässä kandidaatintyössä vastataan seuraavaan kolmeen tutkimuskysymykseen:

1. Mikä on halvin tapa ladata sähköauto kotona?
2. Milloin on halvin ladata sähköauto kotona?
3. Miten sähköauton lataaminen vaikuttaa kiinteistön aurinkosähkön omakäyttöasteeseen?

Työn tarkoituksena on tutkia sähköauton lataamista minimikustannuksella kohteessa, jossa on ylijäämäsähköä aurinkovoimalasta. Työtä varten kehitettiin Python CalcTwo-ohjelma joka lukee tiedostoista talon sähkönkulutuksen, aurinkovoimalan tuotannon ja sähkön edellisvuoden spot- hinnan eli pohjoismaisen sähköverkon sen hetkisen Suomen osion

sähkön hinnan eli Nordpoolspot hinnan. Ohjelmaan syötetään yleissiirto, sähkövero, auton kotoa lähtemis-, ja kotiintuloaika, ohjaamattoman latauksen latausteho, työmatka, sähköauton sähkönkulutus (kWh/ 100 km), laturin maksimilatausteho sekä sulakkeen maksimiteho. Nämä tiedot saatuaan, ohjelma laskee, niin sanottujen ohjatun ja ohjaamattoman latauksen hinnan sähköauton lataukselle ja näiden omakäyttöasteet sähkövoimalalle. Älykäs eli ohjattu lataus tarkoittaa sitä, että ohjauksella pyritään lataamaan edulliseen aikaan. Ohjaamaton (eng. Unregulated) lataus lataa käytännössä annetulla teholla heti kun auto laitetaan ladattavaksi. Latauksen logiikan lohkokaavio kuvassa 1



Kuva 1, Latauksen logiikan lohkokaavio.

Tyypillisesti vaihtoehdot omakäyttöasteen eli oman tuotetun sähkön itsekuluttamisen lisäämiselle, ovat olleet kuorman hallinta (eng. Demand site management) tai akusto (Luthander ym., 2015, s. 81). Sähköauto sopii molempiin kategorioihin, joten sen vaikutusta omakäyttöasteeseen aurinkosähköä tuottavassa kiinteistössä on hyvä tarkastella.

Työssä on tutkittu eri tilanteissa sähköauton latausta esim. auto kotona klo 17 tai auto kotona koko päivän, ajomatkaa 20 km, 50 km tai 100 km päivässä.

2. LATAAMINEN

Tässä luvussa määritellään käsitteet: omakäyttöaste, omavaraisuusaste, lataustyytit, (välitön lataus, ohjaamaton lataus, aurinkolataus, valley fill ja älykäs lataus). Tämän lisäksi luvussa käsitellään käytettyjä laskentakaavoja, laturityyppejä ja käytetyn koodin pääpiirteinen toiminta.

2.1 Yhtälöiden esittäminen

Taulukossa 1 on esitetty omakäyttöasteen ja omavaraisuusasteen laskemiseen käytetyt yhtälöt.

| |
|--|
| $\text{Omakäyttöaste} = \frac{\text{Omaan käyttöön saatu tuotanto}}{\text{Tuotettu aurinkosähkö}}$ |
| $\text{Älykäsomakäyttö} = \frac{\text{Omaan käyttöön saatu tuotanto} + \text{Sähköauton AurLataus}}{\text{Tuotettu aurinkosähkö}}$ |
| $\text{Tyhmä Omakäyttöaste} = \frac{\text{Omaan käyttöön saatu tuotanto} + \text{tyhmäaurinko}}{\text{Tuotettu aurinkosähkö}}$ |
| $\text{Netto Omavaraisuusaste} = \frac{\text{tuotettu aurinkosähkön määrä}}{\text{Käytetty sähkön määrä}}$ |
| $\text{Kokonais omavaraisuus} = \frac{\text{Tuotettu aurinkosähkön määrä}}{\text{Talonsähkö} + \text{Sähköautonlataus}}$ |

Taulukko 1, Käytetyt yhtälöt.

Omakäyttöaste (Motiva, 2021) on laskettu jakamalla omaan käyttöön saatu tuotanto eli itse kulutettu aurinkosähkö kaikella tuotetulla aurinkosähköllä. Omakäyttöaste kuvaa kuinka suuri osa tuotetusta sähköstä kulutetaan itse.

Älykkäässä omakäyttöasteessa omaan käyttöön saatuun tuotantoon lisätään sähköauton lataukseen käytetty aurinkosähkö, ohjaamaton omakäyttöaste toimii samalla lailla kuin älykäs.

Omavaraisuusasteessa (Motiva, 2021) tuotettu aurinkosähkö jaetaan käytetyllä sähkön määrällä. Omavaraisuusaste kuvaa sitä kuinka paljon kulutetusta sähköstä tuotetaan itse.

Kokonais omavaraisuus; Tuotettu aurinkosähkön määrä on jaettu talon kuluttamalla sähkön määrällä, johon on lisätty sähköauton lataukseen käytetty sähkön määrä.

2.2 Lataustyypit

Tässä kappaleessa kerrotaan älykkäästä lataamisesta, erilaisista sähköauton latauspistokkeista ja lataustyypeistä. Lataustyyppinä on vaihtovirta, tasavirta ja pikalataus tasavirralla.

Sähköauton latauspistoketyypinä on kaksi perustyyppiä ja muutama erikoistyyppi (Latauslaitteet, 2021):

Tyyppien 1 ja 2 liittimet ovat standardin SAE J1772 mukaisia kaikille EV:ille.

Lisäksi on ainakin kaksi Pika/Teholatausliitintä:

- CHAdeMo

Tämä toimii tasavirralla ja latausteho voi olla jopa 63 kW.

- CCS combo

Pikalatausstandardi, joka mahdollistaa jopa 125 kWh pikalatauksen. Tätä liitintä voi käyttää esimerkiksi ladattavien Volkswagen ja BMW autojen pikalataamiseen.

Jotta lataustehon ja sen säätämisen kanssa ei tulisi ongelmia logiikan kanssa, työssä oletetaan käytettävän tyyppien 2 kolmivaihelaturia, joka kykenee 11 kWh/h latausnopeuteen ja lähes portaattomaan säätöön.

Työssä oletetaan tuntinetotus sähkömittauksen suhteen, jolloin ei laturin tehonsäädön kyvykkyydellä ole niinkään merkitystä.

Tässä kandidaatintyössä keskitytään kuitenkin vain tyyppien 2 latureihin, koska näillä päästään haluttuun huipputehoon kotitalouskäytössä, ja sitä kautta myös haluttuun tehonsäätöön tuntinetotuksen kautta. Tehonsäätö on oleellista olla, koska älykkään lataamisen lataustyyli edellyttää mahdollisuuden säätää lataustehoa.

2.3 Lataustyyli

Tässä kappaleessa tullaan käsittelemään seuraavat Viisi käsitettä: Ohjaamaton lataus, välitön lataus, aurinkolataus, valley fill ja älykäs lataus.

Ohjaamaton lataus (Keenan ym., 2011, 10718) tarkoitetaan tilannetta, jossa saavutaan latauspaikalle, liitetään laturi autoon ja annetaan laturin ladata laturin ominaisteholla laturista riippuen yleensä yhdestä kymmeneen kilowattituntia. Lataus kestää, kunnes akku on täysi tai auto otetaan latauksesta pois.

Ohjaamaton lataus lataa annetulla latausteholla auton kotiin tulemisesta niin kauan, että auton akku on täynnä, huolimatta siitä, onko aurinkosähköä tarjolla vai ei. Jos aurinkosähköä on tarjolla, kun ohjaamaton lataus on käynnissä, niin sitä käytetään niin paljon kuin sitä on tarjolla, kuitenkin rajoittaen lataustehon arvoon.

Aurinkolataus on tilanne, jossa joko autoa ladattaessa tai auton latausta odotellessa aurinkosähköä on saatavilla ja sitä käytetään lataamaan sähköauton akustoa. Tässä kohdassa on hyvä ottaa huomioon, että sähköautoa ladattaessa tarvitaan minimilatausteho, joka on yleensä 1.4 kW verran, laturista ja autosta hieman riippuen (Doll, 2021). Tilanteessa, jossa aurinkosähköä on saatavilla vähemmän kuin 1.4 kW, joko ei voida ladata tai puuttuva teho pitää ottaa julkisesta sähköverkosta. Työssä ohjaamattoman latauksen lataustehoksi valittiin 3 kWh, koska tällä teholla pystytään hyödyntämään aurinkosähköä, jos auton lataus suoritetaan hyvällä hetkellä. Tämä teho valittiin siksi, että hitaasti lataamalla suurin osa aurinkosähköstä päätyy auton akkuun. 3kWh latausteho ei kuitenkaan ole niin pieni, ettei auton akkua saisi täytettyä järkevässä ajassa 100 km tai alle ajomatkoilla.

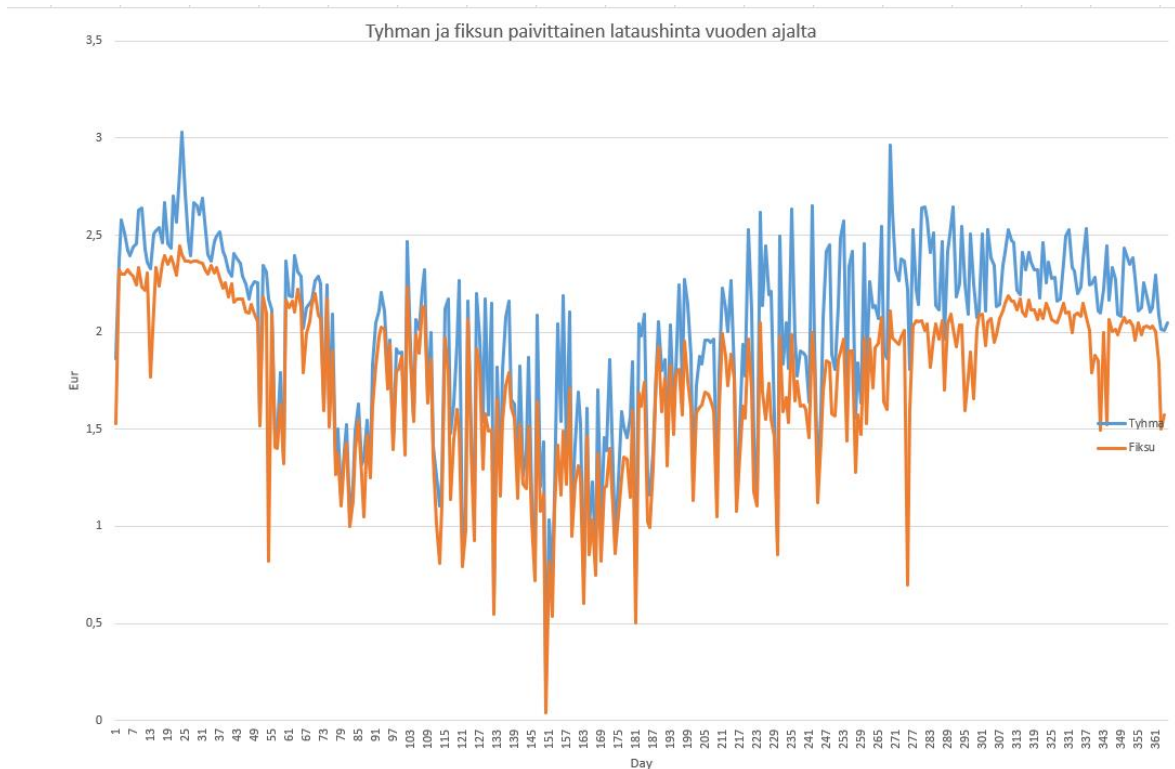
Valley fill (Valentine, Temple, Zhang, 2011) on termi, jota käytetään kuvamaan tilannetta, jossa ostetaan haluttu sähkö yön halvimpien tuntien aikana. Kyseiset tunnit on ohjelmassa haettu Nordpoolspotin vuoden 2019 taulukoiduista hinnoista ja asettuvat yleensä yhdestä aamuyöllä kuuteen aamuyöllä. Käytännössä sähköauto kytkettäisiin laturiin ja latauslogiikka odottelisi halvimpia aikoja vaikkapa perustuen edelliseen päivään ja aloittaisi sinä ajankohtana lataamisen.

Ohjattu lataaminen tarkoittaa tilannetta, jossa lataus toteutetaan mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla. Älykäs lataus ei siis ole erillinen lataustapa, vaan yhdistelmä edellä mainittuja lataustapoja. Näitä yhdistelemällä saadaan toteutettua lataus mahdollisimman kustannustehokkaasti. Älykäs lataus pyrkii täyttämään akun aina halvimalla mahdollisella tavalla. Käytännössä tämä kuitenkin tarkoittaa sitä, että aurinkosähköllä ladataan, kun sitä on tarjolla. Loput ladataan laturin maksimiteholla halvan spottihinnan osuessa kohdalle, muttei kuitenkaan ylittämällä kaistan sallimaa tehoa. Joskus voi kuitenkin ilmetä sellainen hetki, jolloin päivittäinen sähköenergian hinta (SPOT) on suurempi, kuin yöllä samana päivänä ollut verkkosähkön hinta. Kyseisen tapahtuessa halvin tapa ladata on siis myydä sen tunnin aurinkosähkö verkkoon ja ostaa halvempaa yö sähköä verkosta.

Ohjatussa latauksessa on myös tarkistus sille, ettei talon sähkönkulutus ja sähköauton lataus ylitä 25 A sulakkeen kokonaistehomäärää. Tämä on 17 kW hetkenä, jona kyseinen kokonaisteho ylitettäisiin, rajoitetaan sähköauton lataus ja talon kulutus yhteensä 17 kW:iin.

Koska aurinkosähköllä lataamisesta ei tarvitse maksaa siirto- eikä sähköveroa, niin se on silloin yleensä kaikkein halvinta sähköä. Ohjelmassa aurinkosähköä käytettiin aina, kun sitä oli tarpeeksi tarjolla. Akun loppukapasiteetti täytettiin sitten yleensä yön pikkutuntien halpojen tuntien kohdalla, eli Valley fill -metodilla perustuen kuitenkin historiadataan.

Kuvassa 2 esitetään latauskustannus päivän funktiona. Kuvasta 2 näemme, että oranssilla esitetty älykäs lataus on aina halvempi, kuin sinisellä esitetty ohjaamaton lataus. Tämän perusteella voimme todeta, että logiikallinen lataus toimii niin kuin pitääkin



Kuva 2, Latauskustannus päivän funktiona.

2.4 Käytetyn koodin toiminta

Tässä kappaleessa on listattu vakiot ja alkuarvot, jotka on syötetty ohjelmaan. Kappaleessa käsitellään myös koodin pääpiirteinen toiminta.

Taulukossa 2 on esitetty ohjelmalle annettavat alkuarvot, jotka ovat Lappeenrannan energian yleissähköhintaan perustuvat. Lähtö ja saapumisajat on valittu tavanomaisten työaikojen perusteella. 25 ampeerin sulake kestää 17 kW tehon.

| | |
|----------------------|---------------------|
| Siirto (€/kWh) | 0,0528 |
| Vero (€/ kWh) | 0,0279 |
| Lähtö (klo) | 7:00, 12:00 |
| Saapuminen (klo) | 12:00, 15:00, 17:00 |
| Työmatka (km) | 20 , 50 , 100 |
| Kulutus (kWh/100 km) | 18 |
| Lataus (kW) | 11 |
| Maksimikaista (kW) | 17 |

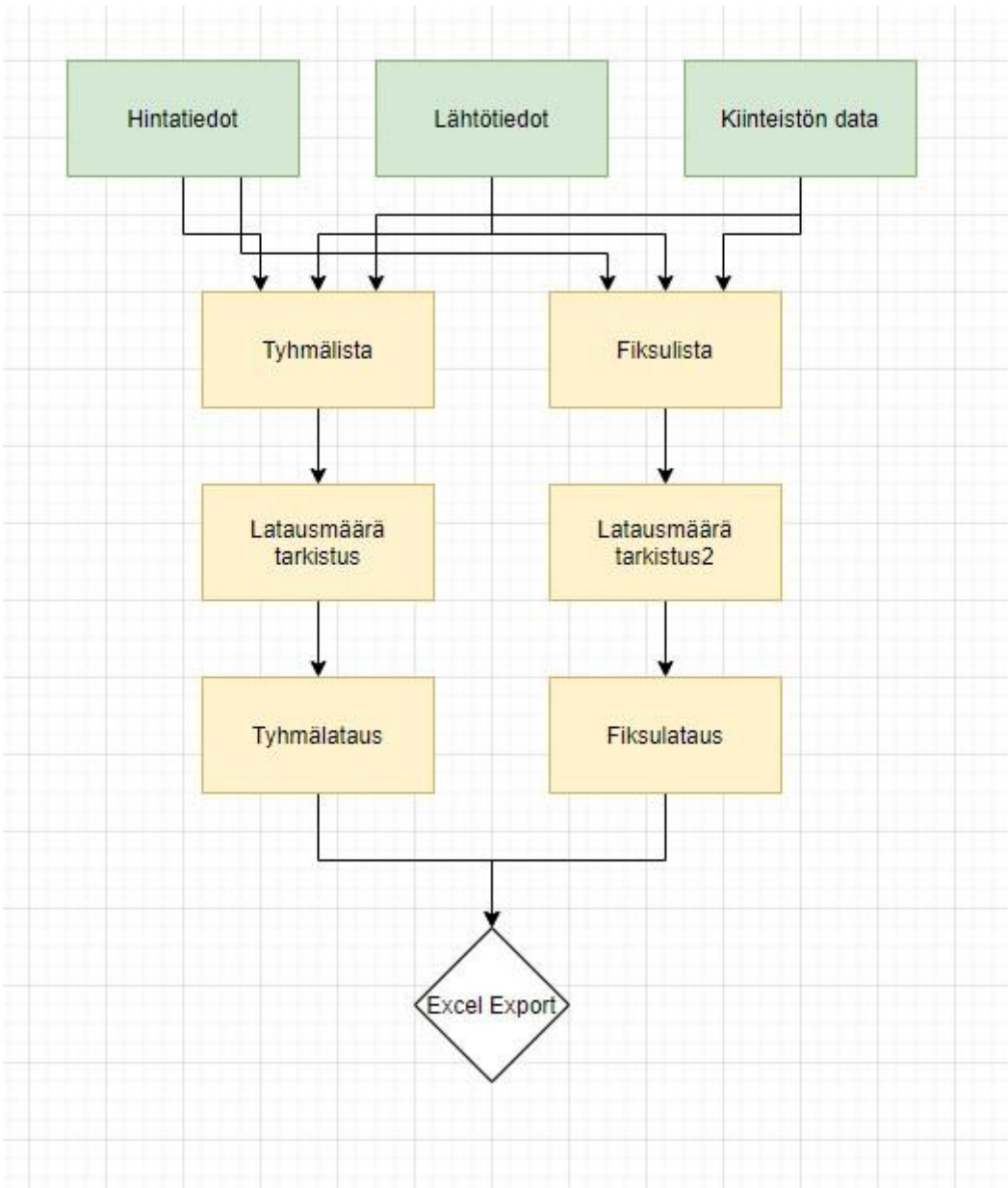
Taulukko 2 Ohjelman alkuarvot.

Kuvassa 3 on esitetty lohkokaaavion muodossa koodin pääpiirteinen toiminta. Excel-tiedostoista saadaan arvot sähköenergian hinnalle ja kiinteistön sähkön kulutus- ja tuotantotiedot. Kyseisiä tietoja ja alkuarvoja hyväksikäyttäen ohjelma luo tyhmälistat ja fiksulista listat, joissa jokaiselle tunnille vuodessa on listattu latauksen hinta. Tyhmälistat ja fiksulista ovat koodin sisäisiä termejä, jotka viittaavat päivittäisiin latauskustannuksiin ohjaamattomalla ja ohjatulla latauksella.

Nämä listat sitten käyvät läpi latausmäärän tarkistuksen, jonka yhteydessä tarkistetaan, että akku saadaan jokaisena päivänä täyteen. Mikäli viimeisen tunnin latausmäärää ei tarvitse kokonaan hyödyntää, niin käytetty latausmäärä suhteutetaan hintaan. Ohjelmassa tarkistetaan myös, ettei kiinteistön pääsulakkeen tai laturin maksimilataustehoa ylitetä.

Ohjaamaton lataus muodostaa vuoden jokaiselle päivälle lataushinnan, ottaen huomioon mahdollisesti käytettävissä olevan aurinkosähkön, ja tulostaa tiedot excel-tiedostoon eli tyhmälistat.

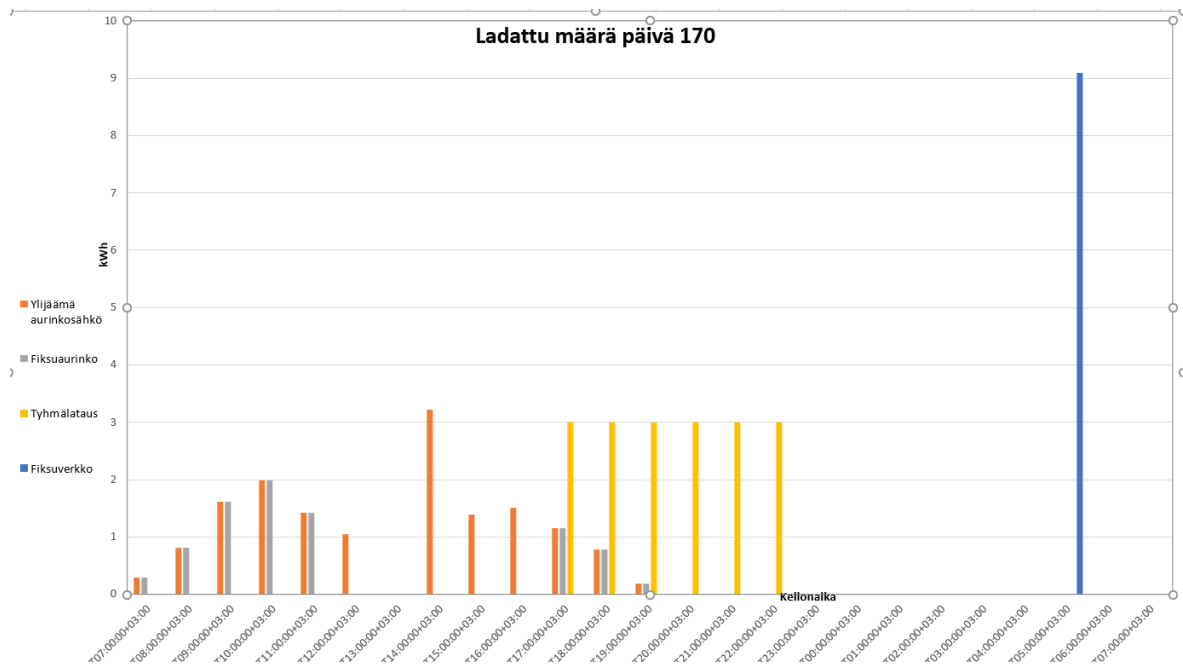
Ohjattu lataus laskee joka tunnille maksimilataustehon mukaisen lataushinnan, aurinkolatauksen hinnan ja laskee näistä halvimman mahdollisen päivittäislatauksen. Tämä tapahtuu hyödyntäen aurinkosähköä mahdollisimman tehokkaasti ja puuttuvan määrän yön halvimmilta tunneilta verkosta ladaten. Tämä käytännössä fiksulista.



Kuva 3, Koodin toimintaa vastaava flowchart.

Kuvassa 4 esitetään latausenergia ajan funktiona. Kuvassa 4 näemme ladattujen kWh:n määrät ohjatun ja ohjaamattoman latauksen tapauksissa, kun auto on poissa kotoa klo 12–17 ja auton päivittäinen ajomatka on 100 km 18 kWh/100 km kulutuksella.

Kuvasta 4 näkyy, että fiksulataus lataa aurinkosähköä aamupäivällä, kun sitä on tarjolla. Klo 12–17 aikaan kumpikaan lataustyyli ei lataa, koska auto ei ole paikalla. Kello 17 lähtien molemmat lataustyyliä lataavat. Ohjattu lataus lataa niin paljon, kun aurinkosähköä on tarjolla. Ohjaamaton lataus lataa tasaisesti valitulla 3 kWh/h lataustahdilla, kunnes akku on täysi eli kuusi tuntia kello 22:00 asti. Fiksulataus lataa puuttuvat noin 9.1 kWh aamuyöllä kello 5, jolloin verkkosähkö on sinä yönä kaikkein halvinta.



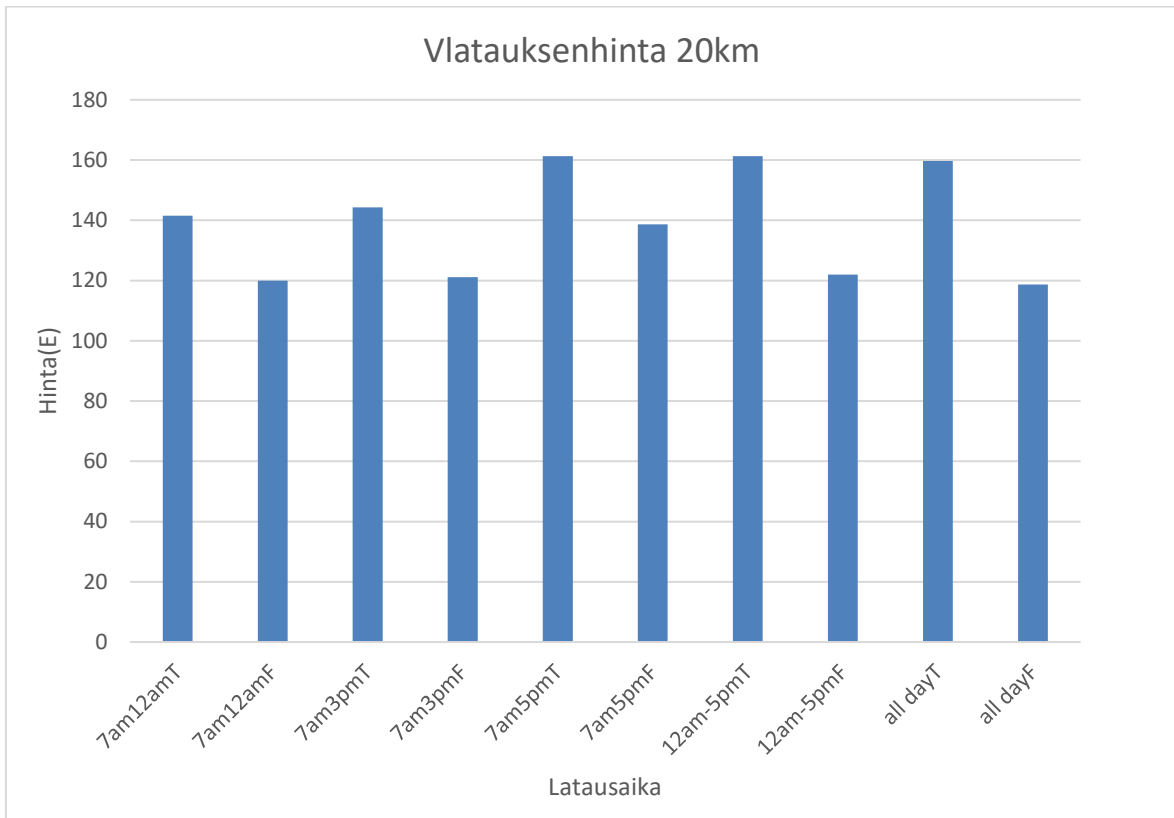
Kuva 4, Latausenergia päivä 170.

2.5 Tulokset

Tässä luvussa esitetään vuotuisen latauksen hinta, kuukausittaisten omakäyttöasteiden ja kuukausittaiset aurinkomäärät kuvaajien ja tekstin muodossa. Vuotuisen latauksen hinta näkyy auton erilaisten käyttöhetkien perusteella ja latauksen logiikasta riippuvat lataushinnat. Tarkastellaan myös talouden omakäyttöasteita ja saatua aurinkosähkön kokonaismäärää, sillä pelkkä omakäyttöaste kuukausien kohdalla antaa väärän käsityksen aurinkolatauksen kannattavuudesta vähäaurinkoisina kuukausina. Tässä luvussa käsitellään 20 km, 50 km ja 100 km päivittäisellä ajomatalla saadut tulokset.

Työssä saatiin selville, että älykäs lataaminen, tai toisin sanoen kustannustehokas lataaminen, on käytännössä taloudellisin tapa ladata sähköauto.

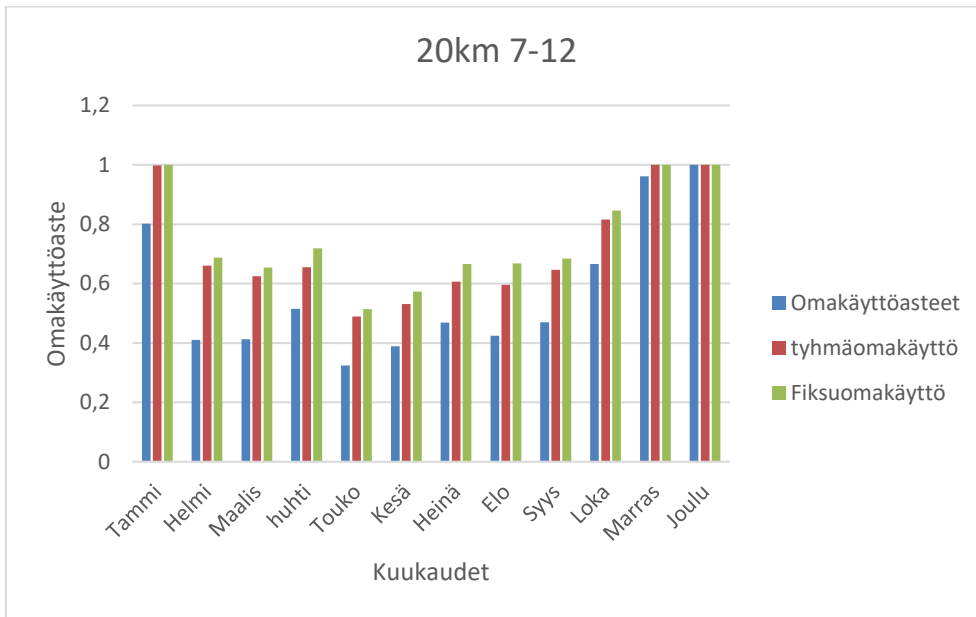
Kuvassa 5 esitetään vuotuisen latauksen hinta 20 km päivittäisellä ajomatalla ohjaamattomalla ja älykkäällä latauksella auton ollessa pois kotoa aika väleillä 7–12, 7–15, 7–17, 12–17 sekä auton ollessa kotona koko päivän.



Kuva 5, Vuotuisen latauksen hinta 20 km päivittäisellä ajomatalla.

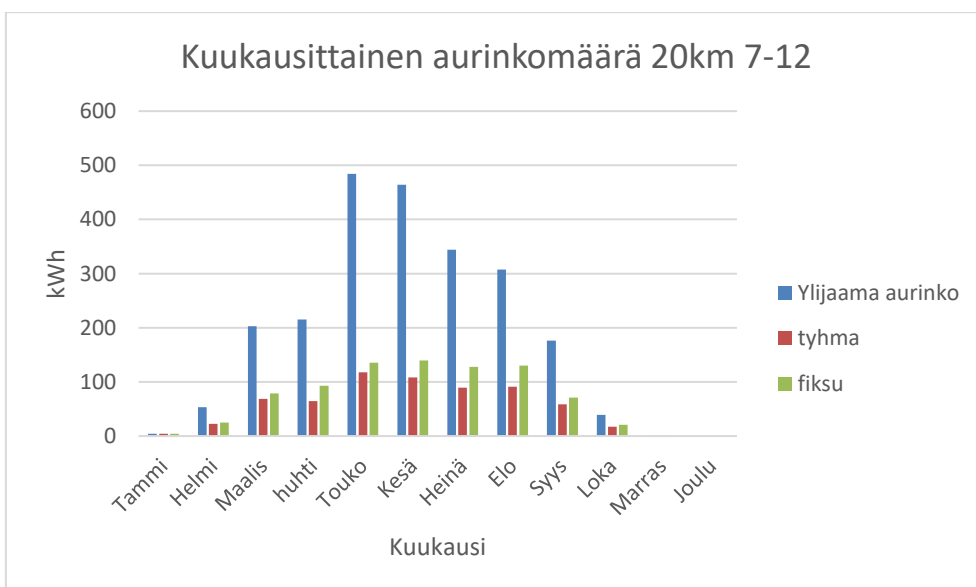
Kuvasta 5 nähdään, että tällä ajomatalla älykkään latauksen hinta on noin 120 € vuodessa, kaikissa muissa tapauksissa, paitsi klo 7–17, jossa se on 138 €. Ohjaamattoman latauksen hinta on klo 7–12 ja klo 7–15 tapauksessa noin 142 €, ja loppuissa noin 160 €. Tässä kohtaa on kuitenkin hyvä huomioida, että ohjaamattoman latauksen kokopäivä tapauksessa, lataus aloitettiin aamulla kello 7:00. Halvemmasi tämän kohdan ohjaamattoman latauksen olisi saanut muuttamalla latauksen aloitusta, mutta tämän kohdan tarkoituksena lähinnä löytää mahdollinen ”minimilataushinta” fiksulle lataukselle.

Kuvasta 6 nähdään aurinkovoimalan tuottaman sähkön omakäyttöaste eri kuukausina, ja omakäyttöasteen fiksun ja ohjaamattoman latauksen kanssa 20km päivittäisellä ajomatalla. Perusomakäyttöasteella tarkoitetaan talossa itsekulutetun aurinkosähkön suhdetta kaikkeen tuotettuun aurinkosähköön. Helmikuusta lokakuuhun perusomakäyttöaste vaihtelee 40 % molemmin puolin. Lokakuussa vähän alle 70 %. Sähköauton kanssa omakäyttöaste on yli 60 %, kaikkina muina kuukausina paitsi touko- ja kesäkuussa, jossa se on hieman yli 50 %. Tammi-, marras- ja joulukuussa sähköautollinen omakäyttöaste on 100 %.



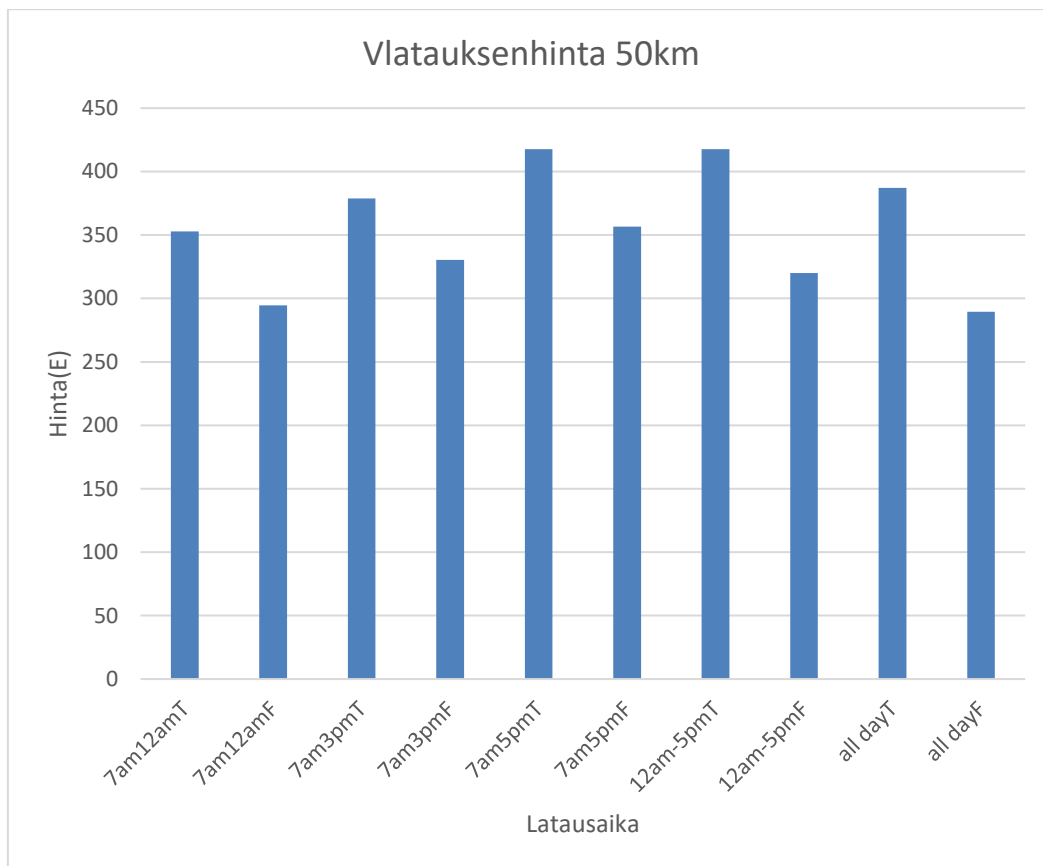
Kuva 6, 20 km ajomatalla auto töissä klo 7–12.

Kuvasta 7 nähdään tuotetun ylijäämän aurinkosähkön määrän ja kuinka paljon siitä ohjaamaton ja fiksulataus hyödyntävät 20km päivittäisellä ajomatalla. Tammi-, helmi-, marras- ja joulukuussa nähdään tuotannon olevan melko minimaalista eli alle 55 kWh koko kuukauden aikana. Lopuissa kuukausissa nähdään aurinkotuotannon vaihtelevan 176 kWh–484 kWh kuukausituotantona. Huomataan myös, että vaikka aurinkosähkön ylijäämää on, sitä ei ole kuitenkaan käytetty kuin noin 28–40,5 % sähköauton kanssa tällä ajomäärällä. Tästä voidaan päätellä, että tämän kokoiselle voimalalle, 20 km päivittäisellä ajomatalla, ei pystytä hyödyntämään kaikkea mahdollista aurinkosähköä.



Kuva 7, Kuukausittainen aurinkomäärä 20 km ajomatalla auto töissä klo 7–12.

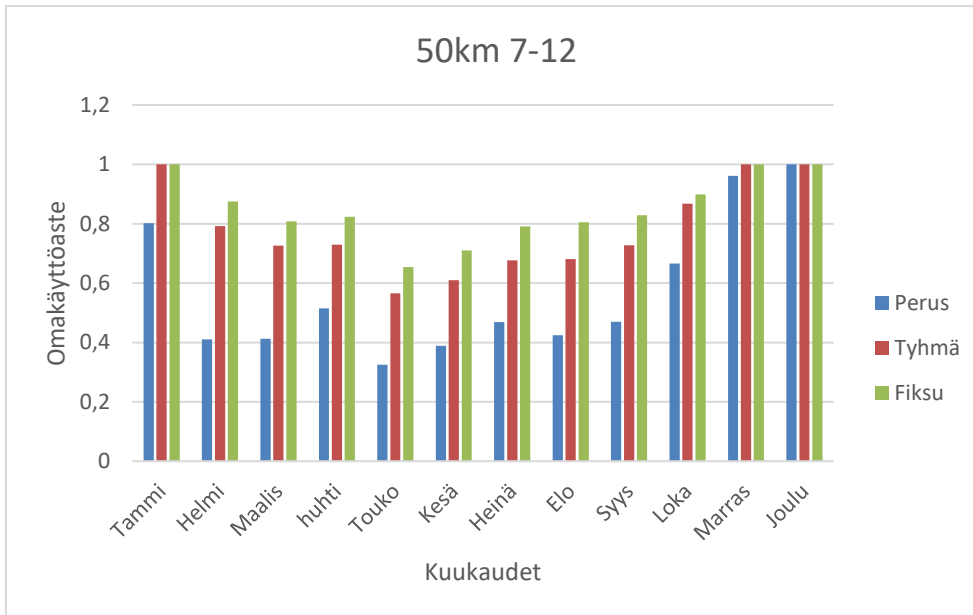
Kuvassa 8 esitetään vuotuisen latauksen hinta 50 km päivittäisellä ajomatalla ohjaamattomalla ja älykkäällä latauksella auton ollessa pois kotoa aika väleillä 7–12, 7–15, 7–17, 12–17 sekä auton ollessa kotona koko päivän.



Kuva 8, Vuotuisen latauksen hinta 50 km päivittäisellä ajomatalla.

Kuvasta 8 nähdään fiksun latauksen olevan halvimmissaan auton ollessa kotona koko päivän, jolloin hinnaksi tulee noin 290 € ja ohjaamattoman latauksen olevan samassa latausajankohdassa hieman yli 350 €. Kalleimmillaan ohjaamaton lataus on auton ollessa poissa kotoa kellonaikoina: 7–17, jolloin ohjaamattoman latauksen hinnaksi tulee 417.50 €. Älykäs lataus auton ollessa pois kotoa klo 7–17, jolloin hinnaksi tulee 356,60 €, joka tarkoittaa että tällä aikavälillä eri lataustyilien kustannusero on 61,90€. Kaikkein suurin ero ohjatun ja ohjaamattoman latauksen väliin tulee auton ollessa poissa kotoa klo 12–17, jolloin kustannusero näiden kahden latauksen välillä on huomattavat 97,60€.

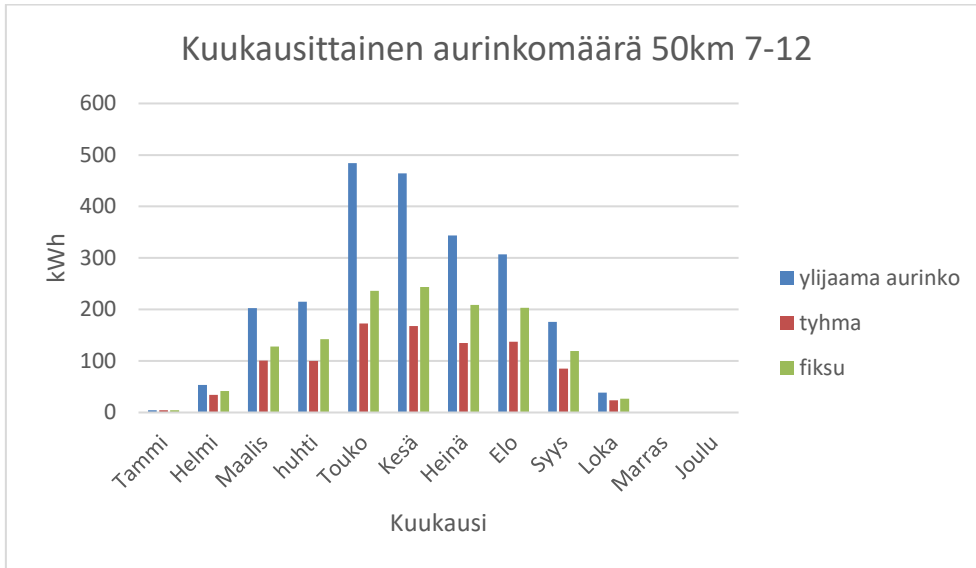
Kuvasta 9 nähdään aurinkovoimalan tuottaman sähkön perusomakäyttöasteen eri kuukausina ja omakäyttöasteen fiksun ja ohjaamattoman latauksen kanssa 50km päivittäisellä ajomatalla.



Kuva 9, aurinkovoimalan tuottaman sähkön perus-, ohjaamattoman ja älykäs omakäyttöaste auto töissä klo 7–12.

Kuvasta 9 näkyy ohjaamattoman ja fiksun omakäyttöasteen olevan 100 % tammi-, marras- ja joulukuussa. Noin 80 % helmi-, maalis-, huhti-, heinä-, elo-, syys- ja lokakuussa ja vähän 70 % alapuolella touko- ja kesäkuussa. Perusomakäyttöaste vaihtelee pienimmillään toukokuussa 32,5 %, suurimmillaan joulukuun 100 %. Muina kuukausina perusomakäyttöaste on noin 40 %, 50 % ja suurimmillaan lokakuussa 66,5 %. Toukokuun erotus perus ja fiksun omakäyttöasteen välillä on 32,9 %, joka käytännössä tarkoittaa, että sähköauton omistaminen kaksinkertaistaisi kiinteistön omakäyttöasteen.

Kuvasta 10 näkyy kuukausittainen tuotettu ylijäämä aurinkosähkön määrä ja kuinka paljon siitä pystymme hyödyntämään sähköauton lataukseen 50 km päivittäisellä ajomatalla.

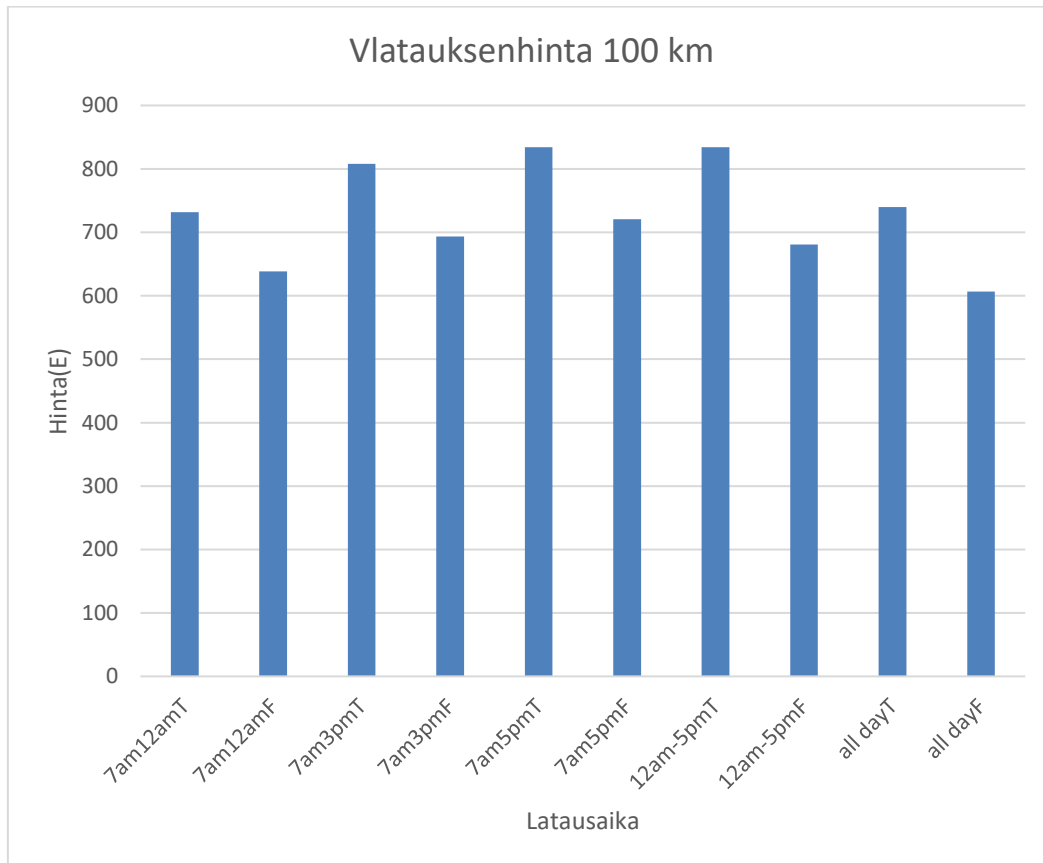


Kuva 10, Kuukausittainen aurinkomäärä 50 km ajomatalla auto töissä klo 7–12.

Kuvasta 10 näkyy että tammi-, marras- ja joulukuussa sähköntuotanto on minimaalista, alle 10 kWh koko kuukautena. Helmikuussa päästään 53,3 kWh, ja lokakuussa 38,8 kWh. Maaliskuussa tuotetaan 202,8 kWh, josta fiksulataus pystyy hyödyntämään 128,3 kWh. Elokuussa hyödynnetään 66,1% tuotetusta aurinkosähköstä fiksun latauksen kohdilta. Huhti-, kesä- ja heinäkuussa hyödynnetyn aurinkosähkön määrä on kuitenkin melko vähäinen, oletettavasti koska merkittävä osa tuotetusta aurinkosähköstä sattuu näiden kuukausien aikana aamupäivälle.

Kuvaa 10 vertaamalla kuvaan 7 huomataan, että 20 km ajomatalla noin 20–40,5 % ja 50 km ajomatalla lähemmäs 48,8–66,1 % tuotetusta aurinkosähkön ylijäämästä pystytään hyödyntämään sähköauton lataamiseen.

Kuvassa 11 esitetään vuotuisen latauksen hinnan 100 km päivittäisellä ajomatalla ohjaamattomalla ja älykkäällä latauksella auton ollessa pois kotoa aika väleillä 7–12, 7–15, 7–17, 12–17 sekä auton ollessa kotona koko päivän.



Kuva 11, Vuotuisen latauksen hinta 100 km päivittäisellä ajomatalla auto töissä klo 7–12.

Kuvasta 11 näkyy, että kaikkein halvimmillaan lataus on, kun autoa saisi ladata koko päivän ajan, tässä tapauksessa fiksulataus pääsisi 606,50 € hintaan ja ohjaamaton lataus noin 740 €

Klo 7–12 poissaoloajalla hinnoiksi tulee fiksulle 638 € ja ohjaamattomalle noin 732 €

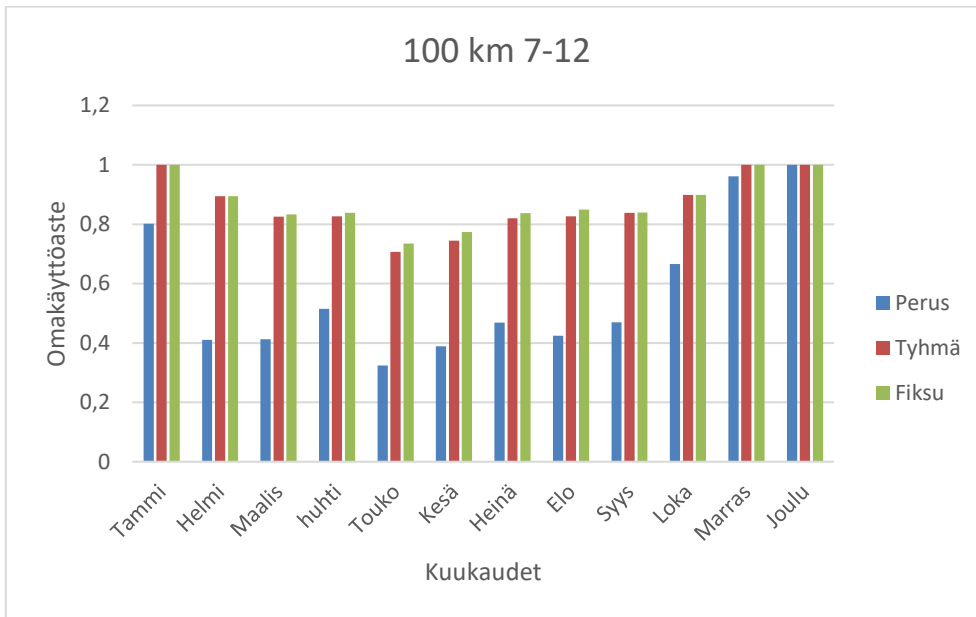
Klo 7–15 poissaoloajalle fiksun hinta olisi 693,30 € ja ohjaamattoman n noin 808 €. Siitä seuraavana työajankohtana eli 7–17 fiksun: 720 €, ja ohjaamattoman n:834,20 €.

12–17 välisenä käyttöaikana fiksu: 681 € ja ohjaamaton: 834,20 €

Jos verrataan latauskustannuksen prosentuaalista nousua 20 km, 50 km ja 100 km päivittäisillä ajomatkoilla, niin huomataan, että 20 km klo 7–12 hintanousu on 17,5 %

50 km klo 7–12 hintanousu on 19,7 % ja 100 km klo 7–12 hintanousu on 14,6 %. Tästä voidaan tehdä se johtopäätös, että fiksun ja ohjaamattoman latauksen hintaero pysyy prosentuaalisesti melko samoissa luvuissa $17 \pm 3\%$, kunhan aurinkovoimalan koko on riittävän suuri. Mikäli aurinkovoimalan koko olisi pienempi, niin omakäyttöaste olisi lähempänä 100 % myös paljon sähköä tuottavina kuukausina.

Kuvasta 12 näemme aurinkovoimalan tuottaman sähkön perusomakäyttöasteen eri kuukausina ja omakäyttöasteen fiksun ja ohjaamattoman latauksen kanssa 100 km päivittäisellä ajomatalla.



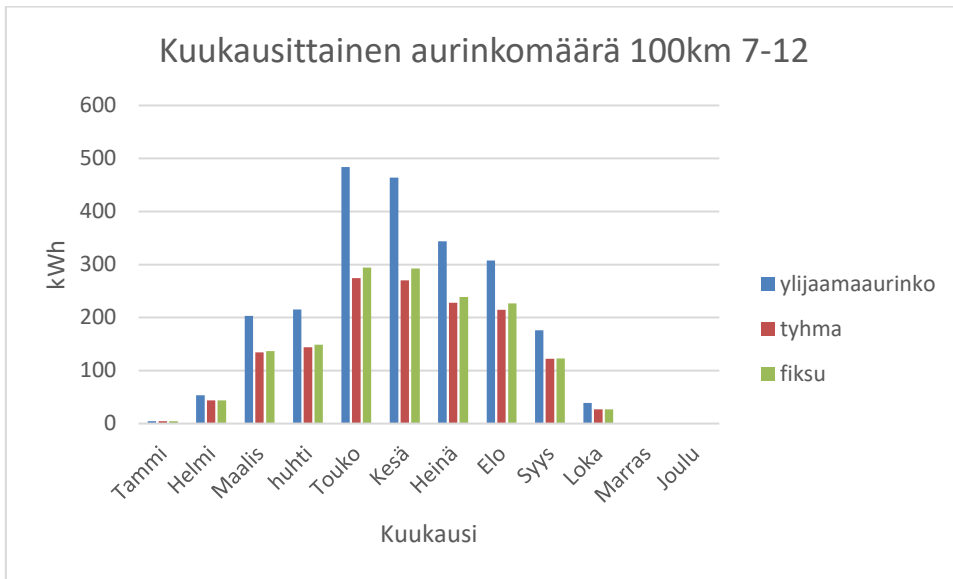
Kuva 12, Omakäyttöasteet 100 km päivittäisellä ajomatalla auto töissä klo 7–12.

Kuvasta 12 näemme tammi-, marras ja joulukuun omakäyttöasteiden yltävän 100%.

Helmi- ja lokakuun omakäyttöasteet sähköauton kanssa yltävät miltei 90 %, joista helmikuussa perusomakäyttöaste on vain 40 %. Omakäyttöasteet sähköauton kanssa ovat helmi-lokakuussa 90%–70% sähköauton kanssa, joista touko- ja kesäkuu ovat lähimpänä 70 %, helmi- ja lokakuu lähimpänä 90 % ja loput kuukausista vähän 80 % yläpuolella.

Helmi-lokakuussa perusomakäyttöasteet ovat pienimmillään, 32,5 % toukokuussa ja suurimmillaan 66,5 % lokakuussa. On siis huomattavissa, että miltei puolet kuukausista: helmi-, maalis-, touko-, kesä-, elo- ja syyskuu omakäyttöaste lähestulkoon tuplaantuu sähköauton kanssa. Sähköauton hankkimisesta aurinkosähköä tuottavaan kiinteistöön on siis hyötyä omakäyttöasteen näkökulmasta, kunhan aurinkovoimala on mitoitettu niin, että ylijäämäsähköä on jonkin verran.

Kuvasta 13 näemme kuukausittainen tuotettu ylijäämä aurinkosähkön tuotanto ja kuinka paljon siitä pystymme hyödyntämään sähköauton lataukseen 100 km päivittäisellä ajomatalla.



Kuva 13, Kuukausittainen aurinkomäärä 100 km päivittäisellä ajolla auto töissä klo 7–12.

Kuvasta 13 näemme aurinkosähkön saatavuuden olevan melko hyvä maaliskuussa. Tammi-, helmi-, marras- ja joulukuissa saatavuus on alle 55 kWh. Maaliskuussa saatavuus 202,8 kWh ja syyskuussa saatavuus noin 175,9 kWh. Huhtikuussa 215,2 kWh, toukokuussa saatavuus on huipussaan 484,1 kWh ja elokuussa saatavuus noin 307,2 kWh. Kesäkuussa 464,2 kWh ja heinäkuussa saatavuus on noin 343,9 kWh. Kun kuvaa 13 verrataan kuvaan 10, niin huomataan, että tuotettu aurinkosähkö käytetään miltei kaikkinsa sähköauton lataamiseen 100 km ajomatkan tapauksessa. Tällöin voidaan sanoa että 5,2 kWp aurinkojärjestelmästä saadaan tällä ajomatalla suurin hyöty irti tutkituista ajomatkoista. Voidaan sanoa, että 5,2 kWp järjestelmän maksimaalinen hyöty aurinkosähkön suhteen saavutetaan noin 100 km ajomatalla.

3. YHTEENVETO/JOHTOPÄÄTÖKSET

Työ tehtiin GreenEnergy Finland (GEF):in pyynnöstä ja työn tarkoituksena oli selvittää onko aurinkopaneelilliseen kiinteistöön sähköauton hankkimisesta taloudellista hyötyä ja miten se vaikuttaa sähköjärjestelmän omakäyttöasteeseen. GEF antoi työtä varten kolmen eri kiinteistön kulutusprofiilit 3,12 kWp, 5,2 kWp ja 20,4 kWp, joista laskurissa käytin tuloksien laskemiseen 5,2 kWp dataa.

Tässä kandidaatintyössä vastattiin seuraaviin kolmeen tutkimuskysymykseen;

1. Mikä on halvin tapa ladata sähköauto kotona?
2. Milloin on halvin ladata sähköauto kotona?
3. Miten kotona lataaminen vaikuttaa kiinteistön omakäyttöasteeseen?

Työstä selvisi, että omakäyttöaste nousee parhaimmillaan 40 %-yksikköä (32.5 %→73.5 %) toukokuussa 100 km ajomatalla sähköauton mukaanlukien kiinteistön sähkönkäyttöön. Mikäli sähköauto ei ole kotona aurinkoiseen aikaan voidaan huomata pienimmillään 3% omakäyttöasteen nousu 20km ajomatalla auton ollessa käytössä klo 7–17. Tammikuussa, marraskuussa ja joulukuussa omakäyttöaste on 100 %. Tämä johtuu siitä, että aurinkovoimala tuottaa hyvin vähän näinä kuukausina. Voimalan tuotannon ollessa enemmän kuin 1 kWh päivässä, niin omakäyttöaste on lähes 70 % vain 20 km ajomatalla. Ajomatkan ollessa 50 km tai 100 km , omakäyttöaste lähentelee 80 %. 50 km ja 100 km ajomatkoilla fiksut omakäyttöasteet ovat lähes samat. Tämä viittaa siihen, että yli 50 km ajomatalla ei pystytä hyödyntämään kaikkea tuotettua sähköä, tai että tuotettu sähkö on tullut aamupäivällä ja täten sitä ei olla pystytty hyödyntämään sähköauton lataamiseen. Kaikkina muina kuukausina paitsi toukokuussa, ei pystytä käyttämään kaikkea aurinkosähköä 50 km ajomatalla. 100 km ajomatalla pystytään hyödyntämään lähes kaikki aurinkosähkö auton lataamiseen kaikkina muina kuukausina paitsi heinäkuussa.

Kaikkein halvin lataus saavutetaan koko päivän kotona olemisen poislukien ohjatulla latauksella auton ollessa käytössä 7–12. Ohjaamattomalla latauksella edullisin lataushetki on kun lataus alkaa klo 12, jos ei ole mahdollista ladata koko päivää. Ohjatun latauksen edullisin latausaika on, jos voi ladata koko päivän. Mikäli tämä ei ole mahdollista, niin seuraavaksi halvimmat ajankohdat ovat, kun auto on poissa kotoa klo 7–12 ja 12–17. 20 km ajomatalla ohjatulla latauksella latauskustannukset ovat lähes samat kaikilla muilla käyttöajankohdilla, paitsi klo 7–17. Tänä ajankohtana lataus on n. 20 euroa kalliimpi vuositasolla. 50 km ja 100 km ajomatkoilla latauskustannus kasvaa järjestyksessä klo 7–12 , 12–17, 7–15 ja 7–17 auton ollessa käytössä näinä ajankohtina. 50 km matkalla ohjaamattoman latauksen kustannus vaihtelee 352,8– 417,4 € välillä. Samalla matkalla ohjatun latauksen hinta vaihtelee 294,5 –356,6 € välillä. 100 km ajomatalla ohjaamattoman latauksen kustannusväli 731,7– 834,2€. Ohjatun latauksen hinta samalla ajomatalla vaihtelee 638,2–720,5€ välillä. Vuositasolla kustannusten ero ohjaamattoman ja ohjatun latauksen välillä on pienimmillään 93,5 €. Suurimmillaan kustannusten ero vuodessa on 113,7€. Tulosten perusteella huomataan, että ohjatun latauksen käytöllä saadaan huomattava kustannussäästö. Ohjattu lataus on sitä kannattavampi mitä pidempään

autoa pidetään latauksessa valoisaan aikaan. Klo 7–12 ja 12–17 välisinä aikoina latauskustannus on melkein sama käyttäessä ohjattua latausta. Ohjaamattoman latauksen käyttö tulee sitä edullisimmaksi, mitä aikaisemmin lataus aloitetaan valoisaan ajankohtana. Suurin vaikutus ohjatulla latauksella saadaan, kun auto on poissa kotoa klo 12–17.

Päivittäisiä latauskustannuksia tarkasteltaessa tutkimuksessa kävi ilmi, että ohjattu lataus on päivätasolla aina halvempi. Aurinkosähkö on halvempaa kuin halvin yösähkö verkosta. Aurinkosähkö vaikuttaa myös radikaalisti ohjaamattoman latauksen tunnistamiseen lataushintaan.

Eri ajomatkan vaikutuksesta säästöihin selvisi, että pienellä ajomatalla (20km) 20–40 euron säästö vuotuisiin latauskustannuksiin saatiin riippuen käyttöajanhetkestä ja latauslogiikasta. Prosentuaalisesti säästö on pienellä ajomatalla suurin (18–34,5 %). Ajomatkan pidentyessä 100 kilometriin päivässä pienenee säästö (14,7–22,4 %). Vuotuiset säästöt kuitenkin tässä tapauksessa ovat 93,5 €–153,2€ riippuen käyttöajanhetkestä ja latauslogiikasta.

Kuukausittaisista omakäyttöasteista saa vähän harhaa antavan kuvan hyvistä kuukausista sähköauton lataamiselle, jos niitä ei katso kuukausittainen aurinkomäärä– kuvaajien kanssa. Kun molempia kuvaajia tarkastelee samanaikaisesti, huomaa että parhaat kuukaudet sähköauton lataamiselle, ovat toukokuusta elokuuhun. On kuitenkin hyvä huomioida, että marras-, joulukuussa ja tammikuussa sähköautoa ei pysty lataamaan aurinkosähköllä, sillä näinä kuukausina paneelit tuottavat liian vähän. Datasta päätellen aurinkovoimalan koon suurentaminen ei juurikaan auta näinä kuukausina. Mikäli aurinkovoimalan koon kasvattaa nelinkertaiseksi voisi tammikuussa aurinkosähköllä ladata autoa. Tässä tapauksessa ei ole järkevää ohjata tuotantoa pois talon pohjakulutuksesta. Sähköauton ladattavana oleminen aurinkosähköä tuottavassa kiinteistössä useimmiten lähes tuplaa kuukausittaisen omakäyttöasteen.

Tämän tutkimuksen tuloksia voisi laajentaa tutkimalla myös 3,12 kWp ja 20,4 kWp tuottavien aurinkovoimaloiden tuloksia ja myös katsomalla omakäyttöasteita muillekin ajankohdille kuin 7–12 auton poissaoleville hetkille. On myös hyvä huomioida työn tuloksien verrattavuuden toimivan vain Etelä-Suomen alueella auringonvalon kulman ja intensiteetin takia. Tässä kandidaatintyössä ei sitä kuitenkaan ruvettu tekemään, koska se olisi tehnyt työstä liian laajan. Ohjaamattoman latauksen hinnan optimointia olisi myös hyvä tutkia, eli tutkia millä latauksen aloitusajankohdalla ohjaamattomalla latauksella saadaan paras hinta.

Sähköauton hankinta aurinkovoimalalliseen kiinteistöön vaikuttaa positiivisesti omakäyttöasteeseen. Latauskustannukset aurinkovoimaa käyttämällä ovat huomattavasti pienemmät kuin verkkosähköä käyttämällä. Sähköauton hankintakustannus on kuitenkin niin suuri, että aurinkosähköä tuottamalla säästöillä ei saada kuoletettua auton kustannuksia. Aurinkovoimalan takaisinmaksuaika kuitenkin pienenee tällaisessa tapauksessa. Maksimaalisen hyödyn saamiseksi aurinkovoimalasta, tulisi hankittava voimala mitoittaa jo hankintavaiheessa niin reilun kokoiseksi, että auton lataus onnistuu pääsääntöisesti aurinkovoimalla. Yhteiskunnan paineet fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiselle ohjaa ihmisiä väkisininkin sähköautoiluun huolimatta sähköauton kustannuksista.

LÄHTEET

Auvinen, K, 2017 [Viitattu 14.11.2021]

Saatavissa:[Finsolar.net/aurinkoenergialuulot-totta-tai-tarua/](https://finsolar.net/aurinkoenergialuulot-totta-tai-tarua/)

Heinimäki,R.(2021)[Viitattu14.11.2021]

Saatavissa:https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_hinta

Luthander,R., Widén, J., Nilsson, D.,Palm,J.(2015) Applied Energy 142 80–94

Latauslaitteet(2021)[Viitattu23.8.2021]

Saatavissa:<https://latauslaitteet.fi/artikkelit/latauspistoketyypit-sahkoautoille>

Lappeenrannanenergia.(2021)[Viitattu 14.11.2021]

Saatavilla:<https://www.lappeenrannanenergia.fi/hinnastot-ja-ehdot/sahkon-verkkopalveluhinnasto>

Liikenne ja viestintäministeriö verkkojulkaisu 2021:15 (<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-588-0>)

Motiva.(2021)[Viitattu 14.11.2021]

Saatavilla:https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/tuotannon_optimaalinen_hyodyntaminen

Motiva.(2021)[Viitattu 14.11.2021]

Saatavilla:https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/sahkoenergian_omavaraisuus

Nordpoolspot hintadata haettu osoitteesta :

<https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/#/nordic/table>

S.Doll, (2021).[Viitattu 01.09.2021]

Saatavissa:<https://electrek.co/2021/07/21/electric-vehicle-ev-charging-standards-and-how-they-differ/#h-level-1-120v-chargers>

Verkkajulkaisu (<https://sitoumus2050.fi/autoala#/=>)

Valentine, K.,William, G.,Temple, K.,Zhang,M. Journal of Power Sources 196 (2011) 10717–10726