



# Teho-omavaraisuuden parantaminen omakotitalossa

Aurinkopaneelin ja akuston avulla

Timo Ihalainen

OPINNÄYTETYÖ  
Lokakuu 2021

Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkinto  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkinto  
Sähkövoimatekniikka

IHALAINEN, TIMO

Teho-omavaraisuuden parantaminen omakotitalossa  
Aurinkopaneelin ja akuston avulla

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Lokakuu 2021

---

Työssä tutkittiin 200-neliöisen omakotitalon teho-omavaraisuuden parantamista aurinkosähköjärjestelmän ja energiavaraston avulla. Kohteen vuotuinen kulutus on noin 20000 kWh. Työssä oli tarkoitus tarkastella myös suurimpien tehopiikkien leikkaamista energiavaraston avulla, mutta lopulta se jouduttiin rajaamaan pois työn laajuuden leviämisen vuoksi.

Työssä kehitettiin tarkoitukseen sopiva Excel-työkalu, jonka avulla voi testata erikokoisia aurinkosähköjärjestelmiä ja akustoja. Työkalun ulostulona saadaan kulutus, jonka avulla voidaan tarkastella verkosta otetun sähkötehon osuutta. Lisäksi työkalulla voi tarkastella jakeluverkkoon syötettävän sähkötehon osuutta.

Työn yhtenä tuloksena saatiin, että 10 kW:n aurinkosähköjärjestelmä 100 kWh:n akustolla riittää takaamaan tarkastelun kohteena olevan omakotitalon teho-omavaraisuuden vaihtelevissa sääolosuhteissa toukokuusta elokuuhun.

---

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkopaneelit

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering  
Power Engineering

IHALAINEN, TIMO  
Improving Power Self-sufficiency in a Detached House  
With Solar Panel and Battery

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 1 pages  
October 2021

---

The purpose of the work was to study the improvement of power self-sufficiency of a detached house equipped with a photovoltaic system and energy storage.

The consumption data were collected from an existing detached house. Weather data from the same year were also collected via Ilmatieteenlaitos website. Solar irradiance predictions were produced with PVGIS and used as reference Excel tool.

The thesis aimed to develop a suitable Excel tool that can be used to test photovoltaic systems and batteries of different sizes. The tool can be used to view the proportion of electrical power supplied to the electrical network.

One of the conclusions was that a 10 kW photovoltaic system with a 100 kWh battery is sufficient to guarantee the power self-sufficiency of the detached house between May and August under different weather conditions.

---

Key words: solar energy, solar panel

## SISÄLLYS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO .....                                      | 5  |
| 2 | OMAKOTITALON KULUTUSPROFIILI .....                  | 6  |
| 3 | AURINKOSÄHKÖN ENNUSTE .....                         | 10 |
|   | 3.1 Aurinkosähkö .....                              | 10 |
|   | 3.2 PVGIS .....                                     | 10 |
|   | 3.3 Pilvisyyden vaikutukset .....                   | 12 |
|   | 3.4 Tuntikohtaisen ennustusmallin lähtökohtia ..... | 13 |
|   | 3.5 Ennustemallin toiminta & säätö .....            | 13 |
| 4 | AKUSTO .....  | 17 |
|   | 4.1 Akuston yhdistäminen ennustemalliin .....       | 17 |
|   | 4.2 Kapasiteetin tarve .....                        | 18 |
| 5 | TULOKSET .....                                      | 19 |
|   | 5.1 4 KW .....                                      | 19 |
|   | 5.1.1 Huhtikuu .....                                | 20 |
|   | 5.1.2 Toukokuu .....                                | 21 |
|   | 5.1.3 Kesäkuu .....                                 | 23 |
|   | 5.1.4 Heinäkuu .....                                | 24 |
|   | 5.1.5 Elokuu .....                                  | 26 |
|   | 5.2 Erikokoisten järjestelmien vertailu .....       | 27 |
| 6 | POHDINTA .....                                      | 30 |
|   | LÄHTEET .....                                       | 31 |
|   | LIITTEET .....                                      | 32 |
|   | Liite 1. Akuston yhdistäminen kulutukseen .....     | 32 |

## 1 JOHDANTO

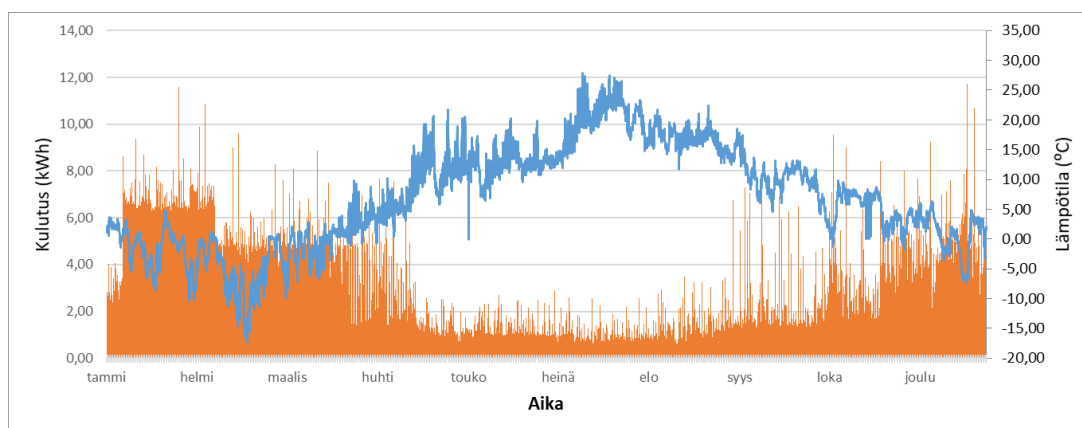
Aurinkosähkön pientuotanto on enenevässä määrin alkanut kiinnostaa suomalaisia tehokkaan markkinoinnin ja aurinkopaneelien hintojen laskun myötä. Akuston lisääminen tähän yhtälöön tuo etuna aurinkopaneeleilla tuotetun energian hyödyntämisen myös yöllä. Akuston hankkimista osaksi aurinkopaneelijärjestelmää tukee myös energiavarastojen hintojen lasku. Helppokäyttöisiä aurinkosähkölaskureita on tarjolla useita. Harvemmassa ovat kuitenkin ne, joissa otetaan kulutuksen ja tuotannon tuntikohtainen vaihtelu huomioon. Akuston käyttäytymistä ei löytynyt yhdestäkään kokeillusta laskurista. Aurinkosähkölaskureilla saa helposti käsityksen, että kaikki tuotettu sähkö on kulutettavissa omiin tarpeisiin. Yli oman sähkön kulutuksen ylittävä aurinkosähkön tuotanto siirtyy sähköverkkoon eli käytännössä myydään pakotetusti verkkoyhtiölle.

Työn tarkoituksena oli tutkia omakotitalon teho-omavaraisuuden parantamista aurinkosähkölaitteiden ja energiavaraston avulla. Työssä analysoidaan omakotitalon kulutusprofiilia ja esitellään aurinkosähkölaitteiden kannalta olennaisia asioita. Tämän jälkeen työn käsittelyssä edetään akuston toimintaperiaatteen selittämiseen ja samassa luvussa pohditaan kapasiteetin tarvetta luvussa 2 esitellyn omakotitalon tehotarpeiden perusteella. Tuloksissa esitellään työssä rakennetun ennustemallin toimintaa vertailemalla erikokoisten aurinkosähkölaitteiden ja akustojen kombinaatioita aurinkosähkön kannalta tuottavimpina kuukausina.

## 2 OMAKOTITALON KULUTUSPROFIILI

Tarkastelun kohteeksi valikoitui 200-neliöinen kaksikerroksinen hirsirunkoinen omakotitalo, jonka lämmitys on toteutettu maalämmöllä yhdistettynä vesikiertoiseen lattialämmitykseen. Lisäksi alakerrassa on varaava takka. Kohde sijaitsee noin 20 kilometrin päässä Uudenkaupungin keskustasta.

Kuvassa 1 on esitetty kohteessa vuoden 2016 aikana kulutettu sähköenergia ja Ilmatieteenlaitoksen Kustavin Isokarin havaintoasemalta mitattu lämpötila. Kuvan kulutuslukemat ovat yhden tunnin aikana kulutettuja sähköenergioita. Kuvan tarkoitus on luoda yleiskatsaus kulutuksesta.

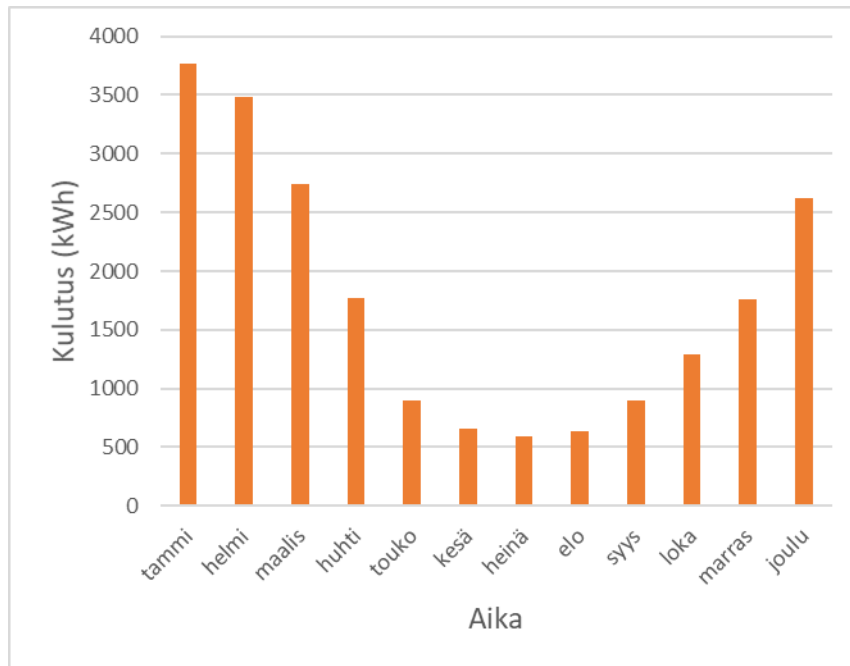


KUVA 1. Kohteen vuotuinen kulutus

Talvikuukausina lämpötila vaikuttaa lämmitystarpeen nousun myötä kasvattavasti sähkönkulutukseen. Mielenkiintoisesti alkuvuodesta kulutus näyttää olleen yli 6 kWh, mutta pakkasen kiristyessä helmi-maaliskuu välillä kulutus laskee alle 6 kWh:n. Tiedusteltaessa kohteen omistajalta selvisi maalämpöpumpun olleen tammi-helmikuu välillä epäkunnossa ja tästä syystä lämmitys on ollut sähkövastuksen varassa. Kuvasta arvioimalla kulutus näyttäisi olevan linjassa mainitun tapauksen kanssa, koska maalämpöpiirin ollessa epäkuntoinen tuotetaan lämpö ainoastaan vastuksilla, jolloin kompressorin lisäksi maapiirin kiertopumppu on pois käytöstä.

Kuvan 1 perusteella lämpötilalla ei kesäkuukausina näytä olevan juurikaan vaikutusta sähkön kulutukseen ja kesäaikaan hetkelliset suuret kulutukset muodostuvat pääosin käyttöveden lämmityksestä. Sähkösauna on käytössä ainoastaan syksyllä ja talvella.

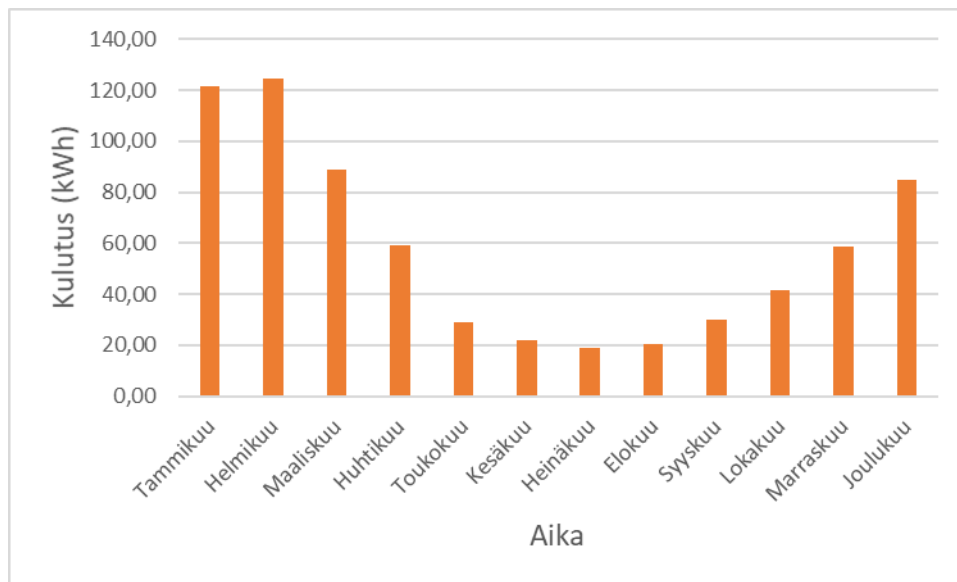
Tarkastellaan kulutusta vielä hieman yksinkertaisemmalla esitysmuodolla. Kuvassa 2 on kohteen vuotuinen kulutus kuukausitasolla kuvattuna.



KUVA 2. Kohteen vuotuinen kulutus kuukausitasolla

Kuvasta 2 nähdään kulutuksen olevan alkuvuodesta selkeästi korkeammalla tasolla verrattuna joulukuuhun. Aikaisemmin mainittu laitevika on nostanut sähkön kulutusta noin 1000 kilowattituntia kuukaudessa. Vuotuinen kulutus on kuvasta arvioimalla noin 20700 kWh.

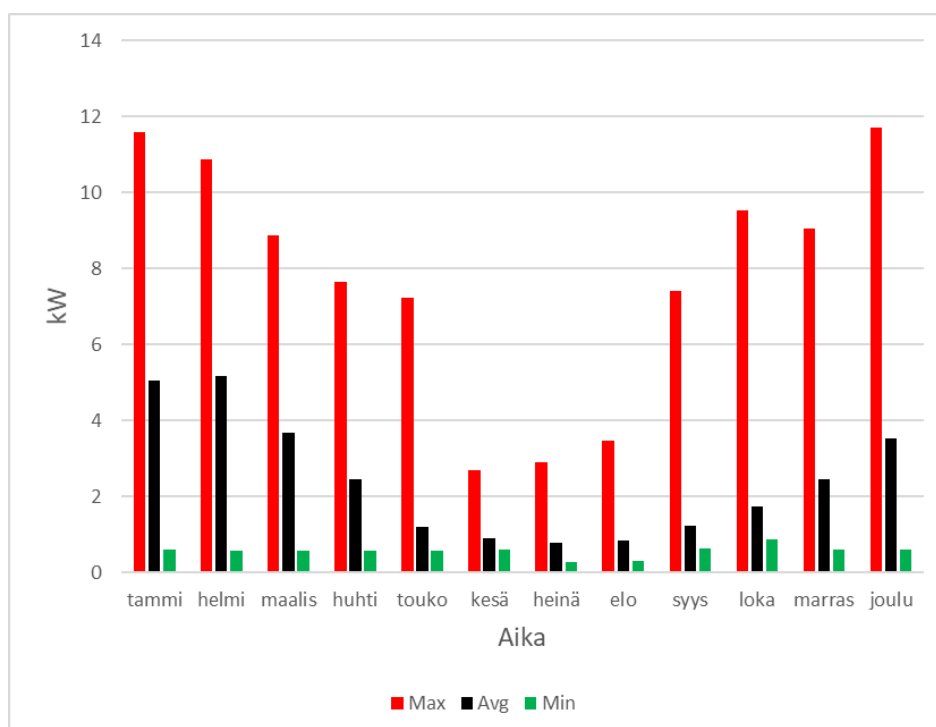
Tutkitaan seuraavaksi vuorokauden sähkön kulutusta. Vuorokauden sähkön kulutuksesta voidaan myöhemmin arvioida akuston kapasiteetin tarvetta. Kuvassa 3 on jokaiselle kuukaudelle laskennallinen vuorokauden keskimääräinen sähkön kulutus.



KUVA 3. Vuorokauden keskimääräinen sähkön kulutus kuukausittain

Kuvasta 3 voidaan havaita vuorokauden kulutuksen seuraavan kuukauden kulutuksen muotoa. Kuitenkin helmikuussa vuorokauden sähkön kulutuksen keskiarvo ylittää hieman tammikuun vastaavan.

Katsotaan seuraavaksi tarkemmin tunnin keskitehojen eroja. Kuvassa 4 on esitettyä kuukauden yksittäisten tuntien huippu-, keskiarvo- ja minimitehot (Max, Avg ja Min).



KUVA 4. Yksittäisten tuntien huippu-, keski- ja minimiteho



Kuvasta 4 huomataan yksittäisten huipputehopiikkien kohoavan huomattavasti korkeammalle verrattuna keskiarvotehoon. Suurimmat tehopiikit ovat odotetusti talvikuukausilla ja ovat suuruudeltaan yli 10 kW:n luokkaa. Kevätkausina ollaan lähempänä 8 kW:n tasoa. Kesäkausina tehokerrat ovat suuruudeltaan noin 3 kW.

### 3 AURINKOSÄHKÖN ENNUSTE

Tässä luvussa käydään läpi, mitä aurinkosähkö on ja miten pilvisuus vaikuttaa aurinkosähkön tuotantoon. Lisäksi esitellään ennustemallin lähtökohtia. Lopuksi esitellään ennustemallin toimintaperiaate ja käydään läpi mallin säätäminen omakotitalon sijainnin mukaan.

#### 3.1 Aurinkosähkö

Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneeleilla. Auringon säteilyenergia muutetaan aurinkopaneeleiden avulla tasasähköksi, joka edelleen muunnetaan vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla vaihtosähköksi (Motiva 2021).

#### 3.2 PVGIS

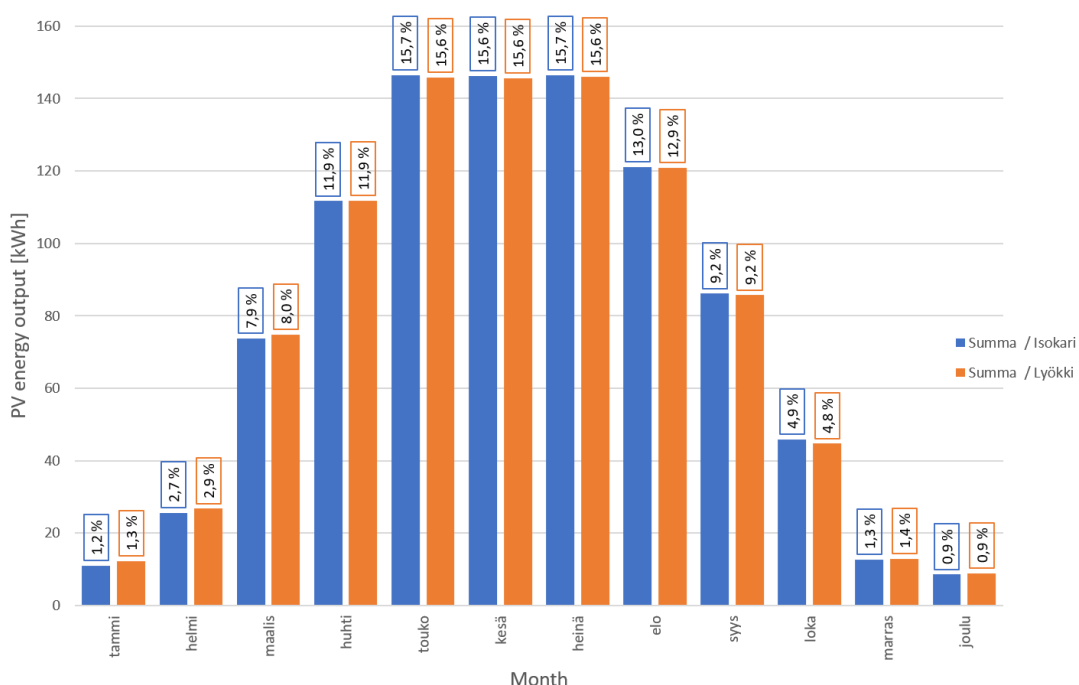
PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) on Euroopan komission ylläpitämä auringonsäteilytietokanta. Säteilytietokannan lisäksi sivustolla on interaktiivinen verkkosovellus, jonka avulla pystyy tekemään erilaisia aurinkosähkönennusteita. (PVGIS, 2020)

Työn kannalta olennaisimmat ennusteet ovat pitkän ajan keskiarvoon perustuva kuukausitason aurinkosähkön ennuste ja tuntitason aurinkosähkön tuotantoennuste yhden vuoden ajalle. Pitkän ajan keskiarvoon perustuvaa aurinkosähkönennustetta käytetään referenssinä tulosten tarkastelussa. Tuntitason aurinkosähkön tuotantoennustetta käytetään työssä tehdyn ennustemallin säätöön.

Aurinkopaneeleiden suuntaus on työssä oletettu optimaaliseksi. Tällöin PVGIS optimoi asennuskulman parhaan tuotannon mahdollistamiseksi. Optimaalinen asennuskulma kyseisellä kohteella on Azimuth  $8^\circ$  ja Slope  $45^\circ$ . Aurinkopaneeleiden suuntaus määritetään atsimuuttikulman (azimuth) ja kallistuskulman (slope) perusteella. Atsimuuttikulma kertoo paneelien suuntauskulman suhteessa etelään (PVGIS, 2020). Käytännössä atsimuutti nolla astetta tarkoittaa, että paneelit on suunnattu suoraan etelään. Kallistuskulma määrittää paneelien kallistuksen

suhteessa vaakatasoon (PVGIS, 2020). Kallistuskulman ollessa nolla astetta paneelit ovat vaakatasossa.

Aurinkosähkön vuosituotantoa on hyvä tarkastella, jotta saa käsityksen tuotannon jakautumisesta vuositason tasolla. Kuvassa 5 on vertailu kohteen ja kohdetta lähimpänä sijaitsevan Ilmatieteen laitoksen sääaseman aurinkosähkön ennustetuista tuotantomääristä pitkän ajan keskiarvon perusteella. Voimalan kooksi on määritetty 1 kW. Lähin sääasema on Isokarissa, joka sijaitsee ulkosaaristossa noin 20 kilometrin päässä kohteesta. Lisäksi kuvassa on esitetty jokaisen kuukauden osuus vuosituotannosta.

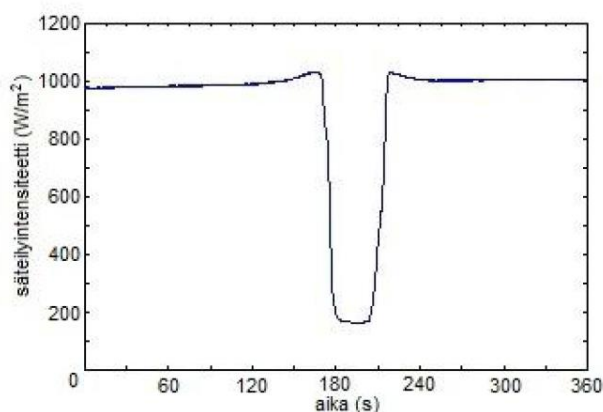


KUVA 5. Ennuste vuosituotannosta (PVGIS, 2020)

Kuvasta huomataan Isokarin tuotantoennusteen olevan hyvin lähellä kohteen ennustetta, joten voidaan pitää hyvänä lähtökohtana käyttää kyseisen havaintoaseman kohdilta tehtyä ennustetta työssä toteutettavan ennustemallin referenssinä. Kuvasta on myös havaittavissa aurinkosähkön tuotannon painotus valoisimmille kuukausille. Vuotuisesta tuotannosta yli 70 prosenttia tuotetaan huhti-elokuu välisenä aikana.

### 3.3 Pilvisyyden vaikutukset

Sääolosuhteilla on suuri merkitys aurinkosähkövoimalan tuotantoon (Korpela, A. 2014, 68). Kuvassa 6 on havainnollistettu pilvien aiheuttamia tyypillisiä vaikutuksia säteilyintensiteettiin. Pilvi osuu auringon ja mittapisteen väliin kohdassa, jossa säteilyintensiteetti lähtee rajuun laskuun.



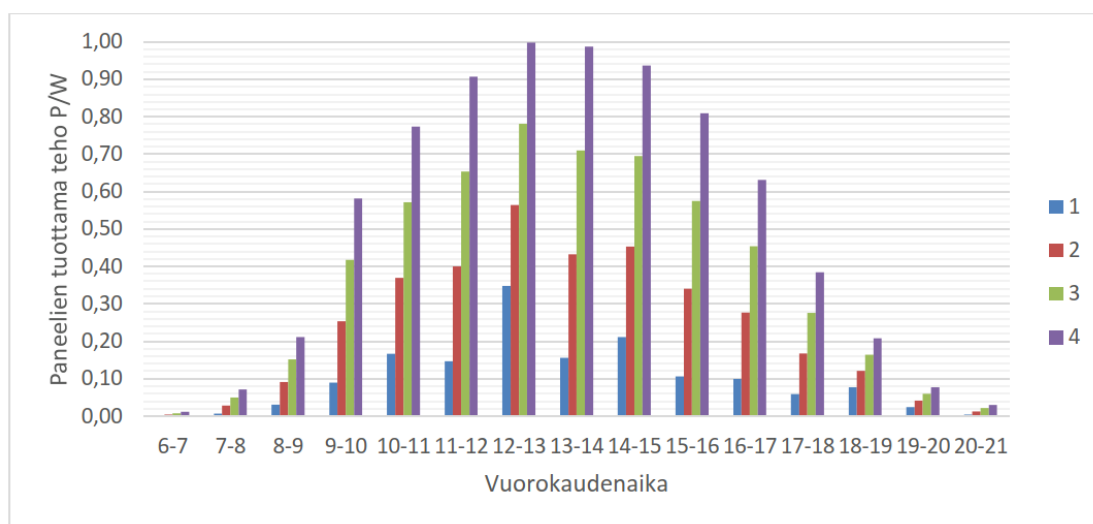
KUVA 6. Pilvien vaikutukset säteilyintensiteettiin. (Korpela, A. 2014, 69)

Pilvet taittavat auringon säteilyä ja tästä syystä pilven lähestyessä mittauspistettä säteilyintensiteetti voi hetkellisesti nousta korkeaksi ja pilven osuessa mittauspisteen ja auringon väliin putoaa säteilyintensiteetti voimakkaasti (Korpela, A. 2014, 68–69). Kuvasta huomataan säteilyintensiteetin putoavan karkeasti 20 prosentin tasolle huipusta. Yliopettaja Aki Korpelan (2021) mukaan näin rajun pudotuksen aiheuttaa vain erittäin tummat pilvet.

Miten pilvisyyttä sitten mitataan? PVGIS käyttää pilvisyyden havainnointiin satelliittikuvia, joiden erottelukyky on noin 5 kilometriä (PVGIS. 2020). Ilmatieteen laitoksen pilvisyyshavainnot mitataan pilvenkorkeusmittarilla, joka mittaa pilvihavaintoja kapealla keilalla suoraan mittalaitteen yläpuolelta ja kyseisen keilan havaintoalue on halkaisijaltaan noin 4 metriä 5 kilometrin korkeudessa (Ilmatieteenlaitos). Ilmatieteen laitoksen datasta saadaan näin ollen helpommin esiin pilvipeitteen pienempiä rakoiluja. Havainnot pilvisyysdatassa ovat kokonaislukuina välillä 0–9 siten, että 0 on täysin selkeää ja 8 on täysin pilvinen. Arvolla 9 pilvisyyttä ei voida määrittää.

### 3.4 Tuntikohtaisen ennustusmallin lähtökohtia

Ennustemalliin tehtiin neljä tehoporrasta, joiden tarkoituksena on mallintaa erilaisia pilvisyysolosuhteita. Neljäportaisen tuotantomallin ajatus syntyi Jani Vesan opinnäytetyöstä, jossa yksi käsiteltävistä aiheista oli aurinkosähkön tuntitason tuotantoennustemalli. Kyseisessä mallissa on muodostettu jokaiselle vuodenajalle oma tuotantoennuste ja jokaisessa vuodenaajassa on jokaiselle tunnille neljä eri sääriippuvaa tuotantotehovaihtoehtoa. Kuvassa 7 on huhtikuun eritasoisten tuntien tuotannot. Huhtikuu on kyseisessä mallissa kevätkuukausien verrokkikuukausi. Porras 1 kuvastaa huonointa tuotantotehoa ja porras 4 puolestaan parasta tuotantotehoa. (Vesa, J. 2016, 34) Portaen 2 tuotantoteho on hieman puolivälin alapuolelta ja porras 3 vastaavasti hieman puolivälin yläpuolelta (Vesa, J. 2016, 34).



KUVA 7. Huhtikuun eritasoisten tuntien tuotannot (Vesa, J. 2016, 34)

Kuten kuvasta 7 nähdään, tuotanto on suurimmillaan puolenpäivän aikoihin, jolloin tuotantoteho on lähellä aurinkopaneelin nimellistehoä.

### 3.5 Ennustemallin toiminta & säätö

Ennustemallin säätö toteutettiin PVGIS-työkalulla tuotetun tuntitason aurinkosähköennusteen perusteella. On hyvä huomioida, että kyseinen ennuste ei perustu pitkän ajan keskiarvoon vaan on laskettu vuoden 2016 säteilydatasta.

Ilmatieteen laitoksen tuottamasta pilvisyysdatasta saatiin tieto pilvien määrästä asteikolla nolasta kahdeksaan. Pilvisyystiedot ladattiin kohdetta lähimpänä olevan sääaseman mukaan ja aurinkosähköennuste tuotettiin sääaseman koordinaattien perusteella, jotta tulokset olisivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Ilmatieteenlaitoksen pilvisyysdatasta muodostettiin 4 portainen säätilamalli. Muodostaminen toteutettiin case-funktiolla. Taulukossa 1 on esitetty säätilan muodostamisen logiikka. Arvot on valittu oman arvion perusteella.

### TAULUKKO 1. Säätilan logiikka

|                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ilmatieteenlaitos | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Säätila           | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9 |

Kuvassa 8 on esitelty toukokuun säädetyn ennustemallin tuotantotehot. Jokainen kuukausi koostuu samankokoisista ja muotoisista taulukosta.

|                 |           | 20 %  | 47 %  | 73 %  | 100 % |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Vuorokaudenaika | Kuukausin | 1     | 2     | 3     | 4     |
| 0:00:00         | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 1:00:00         | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 2:00:00         | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 3:00:00         | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 4:00:00         | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 5:00:00         | Toukokuu  | 0,010 | 0,023 | 0,037 | 0,050 |
| 6:00:00         | Toukokuu  | 0,022 | 0,051 | 0,081 | 0,110 |
| 7:00:00         | Toukokuu  | 0,058 | 0,135 | 0,213 | 0,290 |
| 8:00:00         | Toukokuu  | 0,100 | 0,234 | 0,367 | 0,500 |
| 9:00:00         | Toukokuu  | 0,132 | 0,308 | 0,484 | 0,660 |
| 10:00:00        | Toukokuu  | 0,158 | 0,369 | 0,579 | 0,790 |
| 11:00:00        | Toukokuu  | 0,172 | 0,402 | 0,630 | 0,860 |
| 12:00:00        | Toukokuu  | 0,180 | 0,420 | 0,660 | 0,900 |
| 13:00:00        | Toukokuu  | 0,176 | 0,411 | 0,645 | 0,880 |
| 14:00:00        | Toukokuu  | 0,156 | 0,364 | 0,572 | 0,780 |
| 15:00:00        | Toukokuu  | 0,122 | 0,285 | 0,447 | 0,610 |
| 16:00:00        | Toukokuu  | 0,080 | 0,187 | 0,293 | 0,400 |
| 17:00:00        | Toukokuu  | 0,038 | 0,089 | 0,139 | 0,190 |
| 18:00:00        | Toukokuu  | 0,007 | 0,016 | 0,026 | 0,035 |
| 19:00:00        | Toukokuu  | 0,002 | 0,005 | 0,007 | 0,010 |
| 20:00:00        | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 21:00:00        | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 22:00:00        | Toukokuu  |       |       |       |       |
| 23:00:00        | Toukokuu  |       |       |       |       |

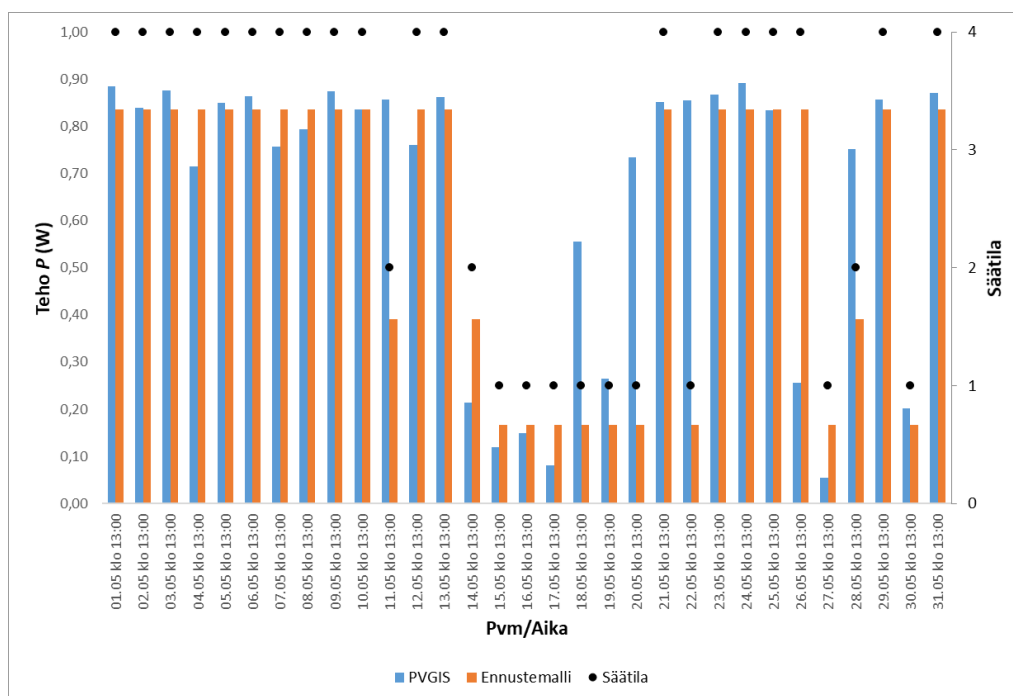
### KUVA 8. Ennustemallin arvoja.

Tehoportaat ovat muodostettu tasavälein tehon tuotannon kannalta parhaan portaan perusteella ja alin porrass on arvoltaan 20 prosenttia huippuun verrattuna. 20 prosenttiin päädyttiin kuvan 6 perusteella. Huonoimman ja parhaan tuotannon

väliin tehtiin siis kuvitteelliset tehoportaavat, joiden tarkoituksena on kuvastaa sääolosuhteita täysin pilviseen ja pilvettömän välimaastoon.

Mallin toiminta rakentuu funktiolle, joka hakee halutusta matriisista vastinefunktion avulla oikealta riviltä oikeasta sarakkeesta luvun. Ensiksi funktio tarkistaa samalla rivillä sijaitsevan kuukausikentän ja valitsee tämän perusteella esimerkiksi kuvassa 8 näkyvän toukokuun taulukon. Tämän jälkeen funktio tarkistaa kellonajan ja valitsee tämän tiedon avulla oikean rivin. Oikealta riviltä haetaan vielä aiemmin mainitun sääolon perusteella oikea tehoporras. Funktion löytämä luku on yhden tietyn päivän ja ajanhetken sekä sääolon mukaan valittu aurinkovoiman tuottama keskiteho, joka saadaan yhdellä tunnilla kerrottuna muutettua tunnin aikana tuotetuksi energiamääräksi. Päivän aurinkosähkön energiamäärä muodostuu päivän kaikkien tuntikohtaisten tuotantoennusteiden summasta.

Kuvassa 9 on esiteltynä säädön apuvälineenä käytetty malli. Kuvan mustat pisteet kuvastavat säätilaa. Siniset palkit kuvastavat PVGIS-työkalulla tuotettua aurinkosähkön tuotantoennustetta ja oranssit palkit puolestaan työssä toteutetun ennustemallin vastaavaa. On myös huomattava, että kuvassa näkyy jokaisen päivän sama ajankohta kuukauden ajalta.



KUVA 9. Tuotantomallin säätömalli.

Kuvasta 9 voidaan huomata aurinkosähkön tuotannon vaihtelun olevan vähäisintä arvon 4 säätilan tasolla. Ennustemallin säätö on siis tämän perusteella tehtävä arvon 4 säätilan tehoportaalla.

Kuvasta nähdään myös ennustemallin toiminta. Jokainen saman säätilan tunti näyttää samaa arvoa. Esimerkiksi arvon 2 säätilan tuotantoteho on lähes 50 prosenttia arvon 4 säätilan tuotantotehosta.

Ennustemallin säätö toteutettiin parhaan tehoportaan mukaan tarkastelemalla jokaista samaa ajanhetkeä ja sääoloa omaavaa tuntia kuukauden jaksoissa. Käytännössä kuvan 9 tilanne haetaan jokaiselle tunnille erikseen ja kuvasta arvioimalla valitaan kyseisen tunnin tuotantoteho. Näin toimimalla tehtiin jokaiselle kuukaudelle välillä huhti-elokuu omat tuotantoennustemallit.



## 4 AKUSTO

Ennustemalliin täytyy vielä lisätä akuston toiminta. Tässä luvussa käydään läpi akuston toiminnan yhdistäminen ennustemalliin ja pohditaan akuston kapasiteetin tarvetta.

### 4.1 Akuston yhdistäminen ennustemalliin

Akuston yhdistäminen kulutukseen on esitetty logiikkakaaviolla liitteessä 1. Kyseisessä logiikkakaaviossa on kaksi erillistä osiota, jotka ovat Akun varaus ja Akun vaikutus kulutukseen. Osiot ovat käytännössä toistensa peilikuvia.

Akun varaus tarkastaa aina edellisen tunnin osalta, otetaanko omakotitalon kulutus sähköverkosta vai saadaanko kulutus omasta tuotannosta. Kulutuksen tapauksessa verrataan, voidaanko edellisen tunnin kulutus ottaa kokonaan akusta. Jos voidaan, niin akun varauksesta vähennetään kulutuksen osuus. Jos ei, niin akun varaus säilyy ennallaan. Ylituotannon tapauksessa verrataan, voidaanko ylituotanto lisätä kokonaisuudessaan akkuun. Jos voidaan, niin akun varaukseen lisätään ylituotannon osuus.

Akun vaikutus kulutukseen puolestaan kuvaa tilannetta kulutuksen kannalta ja kyseinen logiikka tarkistaa aina samalta tunnilta akun varauksen tilan. Jos kulutus voidaan ottaa kokonaan akusta, niin tällöin verkosta otettu sähköenergia on 0. Jos ei, niin tällöin kulutus otetaan sähköverkosta. Ylituotannon tapauksessa verrataan, voidaanko ylituotanto lisätä kokonaisuudessaan akkuun. Jos voidaan, niin sähköverkkoon ei syötetä mitään. Jos ei, niin tällöin joudutaan ylituotanto syöttämään sähköverkkoon.

## 4.2 Kapasiteetin tarve

Akuston mallintaminen on toteutettu ilman häviöitä, jolloin kaikki aurinkopaneelleilla tuotettu oman kulutuksen ylittävä sähköenergia on talletettavissa akustoon. Akuston C-arvo on riippuvainen akkukemiasta ja se kuvaa akun lataus- ja purkutehon kerrointa (Korpela, A. 2018, 19). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että latautumis- ja purkamistehoja ei omakotitalokäytössä tarvitse huomioida, jos käytetään vähintään omakotitalon huipputehon suuruista akustoa, jonka c-arvo on vähintään 1. Esimerkiksi, jos omakotitalon huipputeho on 1 kW, niin akuston kapasiteetin on oltava vähintään 1 kWh ja c-arvon oltava vähintään 1, jotta omakotitalon huipputehot voidaan tarvittaessa hoitaa kyseisellä akustolla.

Tarvittavaa akuston kapasiteettia mitoittaessa on hyvä ottaa huomioon kohteen sähkönkulutusprofiili. Lisäksi täytyy päättää, kuinka pitkä ajanjakso halutaan pärjätä ilman ostosähköä.

Kuvasta 3 voidaan tehdä alustava arvio tarvittavasta kapasiteetin tarpeesta. Kesäkuukausina päiväkohtainen sähkön kulutus on suunnilleen 20 kWh:n luokkaa. Jos haluttaisiin olla viikko ilman ostosähköä, voitaisiin tämä toteuttaa noin 140 kWh:n akuston avulla, jos mahdollisen aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa ei huomioida.

## 5 TULOKSET

Tässä luvussa tarkastellaan tuotetun ennustumallin avulla luotuja kuvaajia. Mallilla pystyy tarkastelemaan erikokoisia aurinkosähköjärjestelmien ja akustojen kombinaatioita. Alussa käydään läpi 4 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän ja 20 kWh:n akuston yhdistelmää jokaiselta kuukaudelta viikotasolla. Lisäksi tarkastellaan kolmen erikokoisen järjestelmän ja akuston kombinaatioita akun varausprosentin perusteella. Yleisesti kuvista mainittakoon, että kulutuksella tarkoitetaan verkosta ostettavan sähkön osuutta. Lisäksi akustossa on huhtikuun ensimmäisenä päivänä varastoituna 20 % kapasiteetista. Tämä luku on oma arvio akun varauksen lähtötasosta.

### 5.1 4 KW

Ennustemallin säätö toteutettiin yhden tietyn vuoden aurinkosähköennusteen perusteella, joten on hyvä verrata ennustemallilla tuotettua ennustetta PVGIS-työkalulla tuotettuun pitkänajan keskiarvoon. Taulukossa 2 on esitetty 1 kW:n aurinkopaneelijärjestelmälle PVGIS-työkalulla ja työssä rakennetulla ennustemallilla viikossa tuotettu energian määrä kilowattitunteina sekä näiden välinen ero prosentteina.

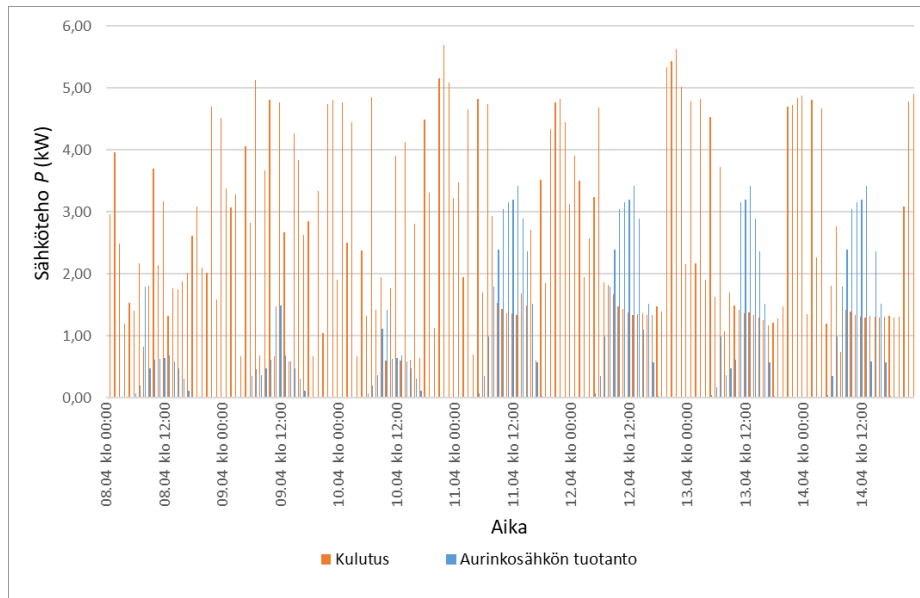
**TAULUKKO 2. Eri kuukausina viikossa tuotetut energiamäärät (kWh) 1 kW:n aurinkopaneelijärjestelmälle**

| Kuukausi | PVGIS | Ennustemalli | Ero   |
|----------|-------|--------------|-------|
| Huhtikuu | 27,9  | 28,5         | 2 %   |
| Toukokuu | 36,6  | 43,2         | 15 %  |
| Kesäkuu  | 36,6  | 38,0         | 4 %   |
| Heinäkuu | 36,6  | 28,7         | -28 % |
| Elokuu   | 30,3  | 24,6         | -23 % |

Tuloksissa on havaittavissa jonkin verran eroavaisuuksia. Tulosten ero voidaan selittää sääolosuhteiden vaihtelulla. Jokaisen kuukauden kohdalla ero voisi olla molempiin suuntiin. Negatiivisen eron tapauksessa kyseinen viikko on ollut pitkän ajan keskiarvoa pilvisempi ja positiivisessa tapauksessa päinvastoin.

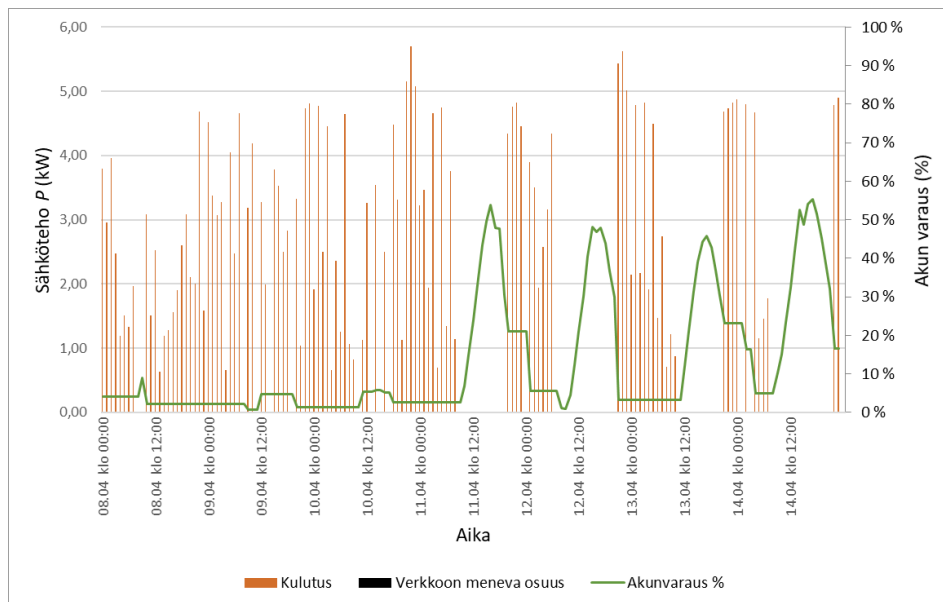
### 5.1.1 Huhtikuu

Huhtikuu on ensimmäinen kuukausi, joka pitkän ajan keskiarvon perusteella on suhteellisen hyvä aurinkosähkön tuotannon kannalta. Taulukon 2 perusteella huhtikuun toinen viikko näyttäisi olevan linjassa pitkän ajan keskiarvoon. Kuvassa 10 on esitetty huhtikuun kulutus ja tuotanto ajan funktiona.



KUVA 10. Huhtikuun kulutus & tuotanto (4 kW)

Huhtikuun toisella viikolla aurinkosähkön tuotanto on ollut vähäistä runsaan pilvisyyden vuoksi ja loppuviikko on ollut lähes pilvetön. Kulutus puolestaan on vielä suurehkoa johtuen lämmityksen aiheuttamasta kuormituksesta. Kuvassa 11 on esitetty omakotitalon kulutus ja verkkoon syöttö aurinkosähkön sekä akuston kanssa.

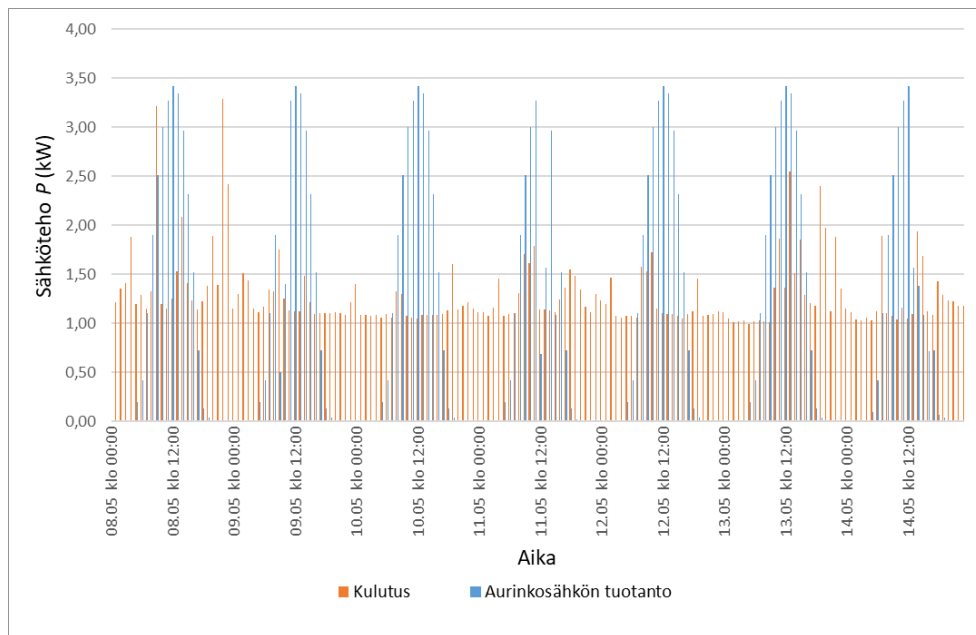


KUVA 11. Huhtikuun Kulutus, verkkoon syöttö & varaus (20 kWh)

Neljän kilowatin järjestelmällä pystytään hyvänä päivänä tuottamaan kuluvan päivän tarpeisiin riittävästi sähköä. Huhtikuussa aurinkosähkön tuotanto on vielä verrattain pientä, jolloin tuotettu sähkö saadaan kokonaisuudessaan hyödynnettyä omaan kulutukseen. Akuston varaus käy korkeimmillaan noin 65 prosentissa, mutta tämäkään ei vielä riitä takaamaan täydellistä omavaraisuutta hyvissäkään tuotanto-olosuhteissa.

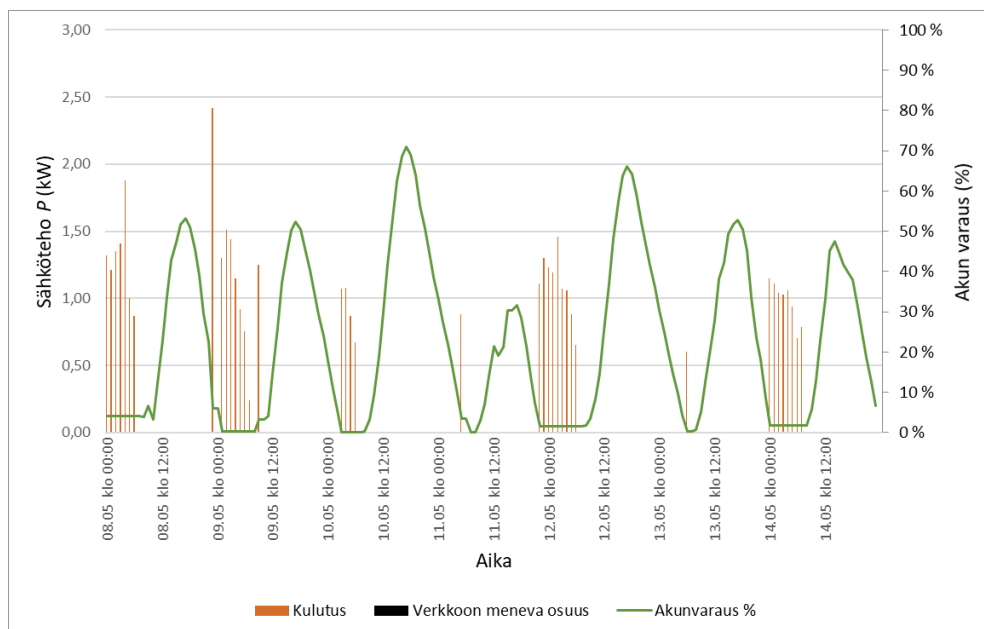
### 5.1.2 Toukokuu

Toukokuu on ensimmäinen kuukausi, jonka aurinkosähkön potentiaali on pitkän ajan keskiarvoon viitaten hyvällä tasolla. Taulukosta 2 on havaittavissa, että toukokuun toisen viikon osalta tuotanto on keskiarvoa parempi. Kuvassa 12 on toukokuun kulutus ja tuotanto ajan funktiona.



KUVA 12. Toukokuun kulutus & tuotanto (4 kW)

Toukokuun toisella viikolla kulutus on huomattavasti tasaisempaa ja maltillisempaa verrattuna huhtikuuhun. Aurinkosähkön kannalta viikko näyttää hyvältä. Kuvassa 13 on esitettyä omakotitalon kulutus ja verkkoon syöttö aurinkosähkön sekä akuston kanssa.

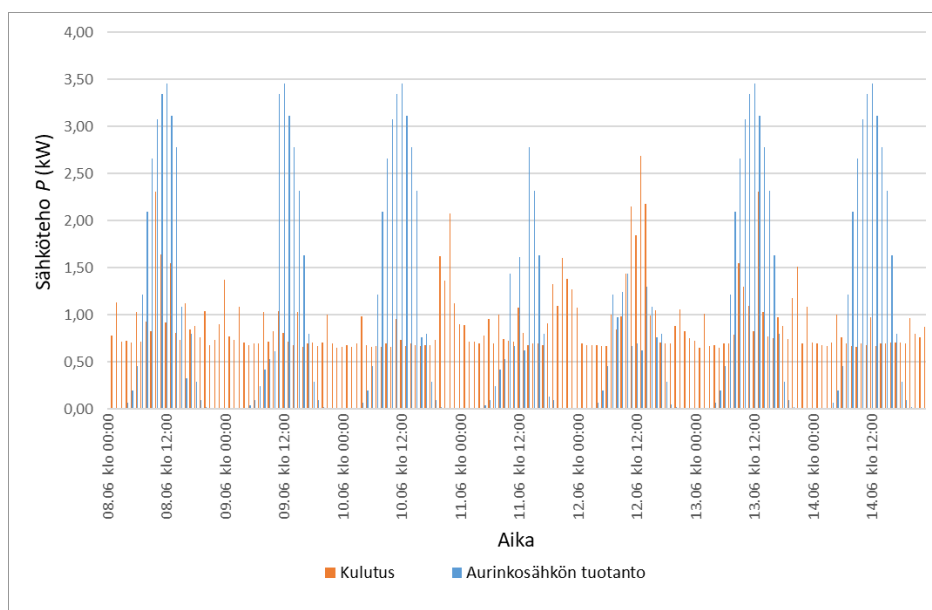


KUVA 13. Toukokuun Kulutus, verkkoon syöttö & varaus (20 kWh)

Tuotettu sähkö kyseisellä viikolla ei riitä lataamaan akustoa täyteen yhtenäkkään päivänä, jolloin kaikki paneeleilla tuotettu sähkö on hyödynnetty omaan kulutukseen ja tästä syystä verkkoon syötettävää sähköä ei näy kuvassa ollenkaan. Teho-omavaraisuus on jo paremmalla tasolla verrattuna huhtikuuhun. Kuitenkin täydelliseen omavaraisuuteen on vielä matkaa.

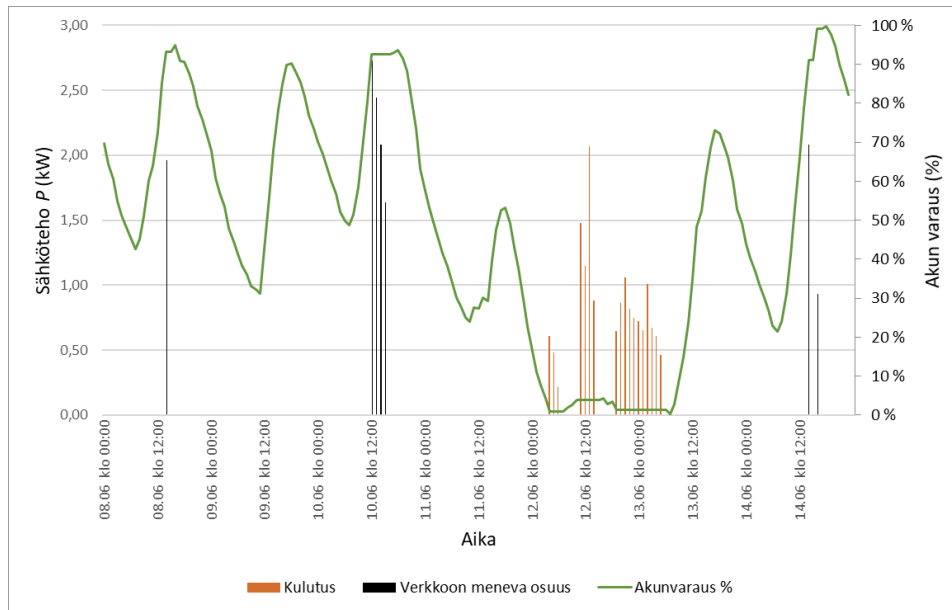
### 5.1.3 Kesäkuu

Kesäkuun toisen viikon tuotanto on linjassa pitkän ajan keskiarvoon. Kuvassa 14 on kesäkuun kulutus ja tuotanto ajan funktiona.



KUVA 14. Kesäkuun kulutus & tuotanto (4 kW)

Kesäkuussa kulutus on pientä ja aurinkosähkön tuotanto puolestaan suurta. Alkuviikko ja loppuviikko näyttävät aurinkosähkön kannalta hyviltä. Ainoastaan kahdena päivänä tuotanto on selvästi pudonnut. Kuvassa 15 on esitettyä omakotitalon kulutus ja verkkoon syöttö aurinkosähkön sekä akuston kanssa.



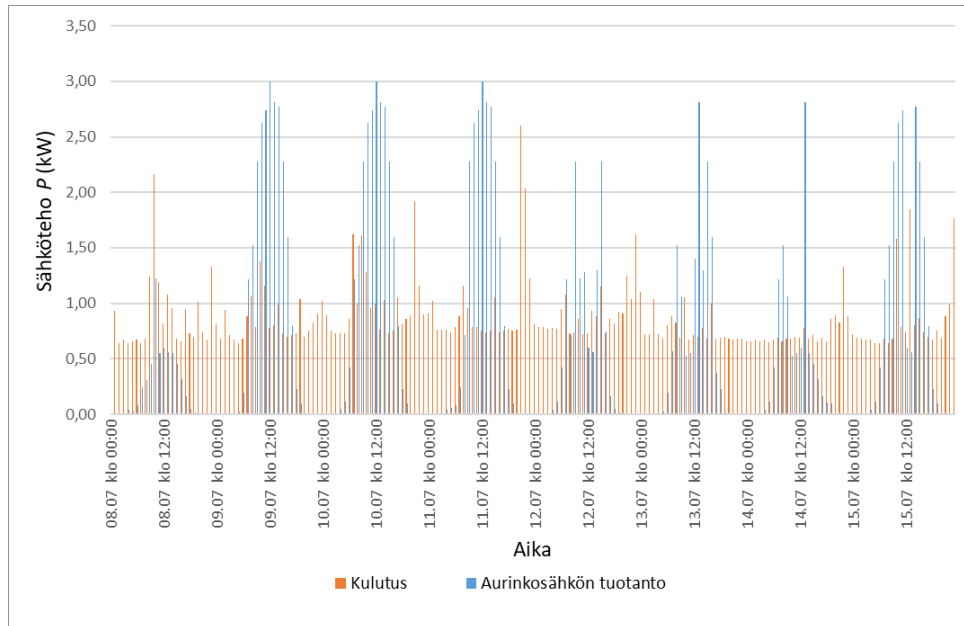
KUVA 15. Kesäkuun Kulutus, verkkoon syöttö & varaus (20 kWh)

Hyvien tuotantopäivien ja pienen pohjakulutuksen vuoksi alku- ja loppuviikosta on jouduttu tuotettua aurinkosähköä myymään verkkoyhtiölle. Tämä johtuu enustemallin logiikasta (liite 1). Ylituotantoa on ollut enemmän kuin akkuun on sillä hetkellä mahtunut, joten ylituotanto on syötetty kokonaisuudessaan sähköverkkoon. Pilvisinä päivinä akuston kapasiteetti ei aivan ole riittänyt omiin tarpeisiin, jolloin on jouduttu turvautumaan ostosähköön.

#### 5.1.4 Heinäkuu

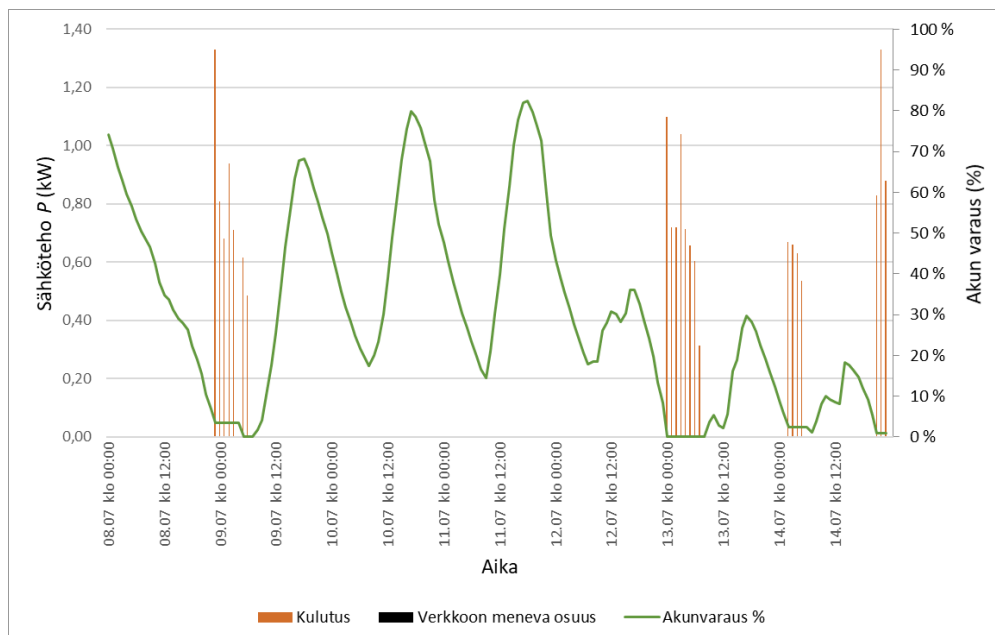
Heinäkuun toinen viikko näyttää taulukon 1 perusteella keskiarvoa huonommalta. Kuvassa 16 on heinäkuun kulutus ja tuotanto ajan funktiona.





KUVA 16. Heinäkuun kulutus & tuotanto (4 kW)

Heinäkuussa kulutus näyttäisi olevan linjassa kesäkuun kanssa. Aurinkosähkön tuotanto on ollut hyvin vaihtelevaa. Viikkoon on mahtunut erinomaisia päiviä ja hyvin pilvisiä päiviä. Kuvassa 17 on esitettyä omakotitalon kulutus ja verkkoon syöttö aurinkosähkön sekä akuston kanssa.

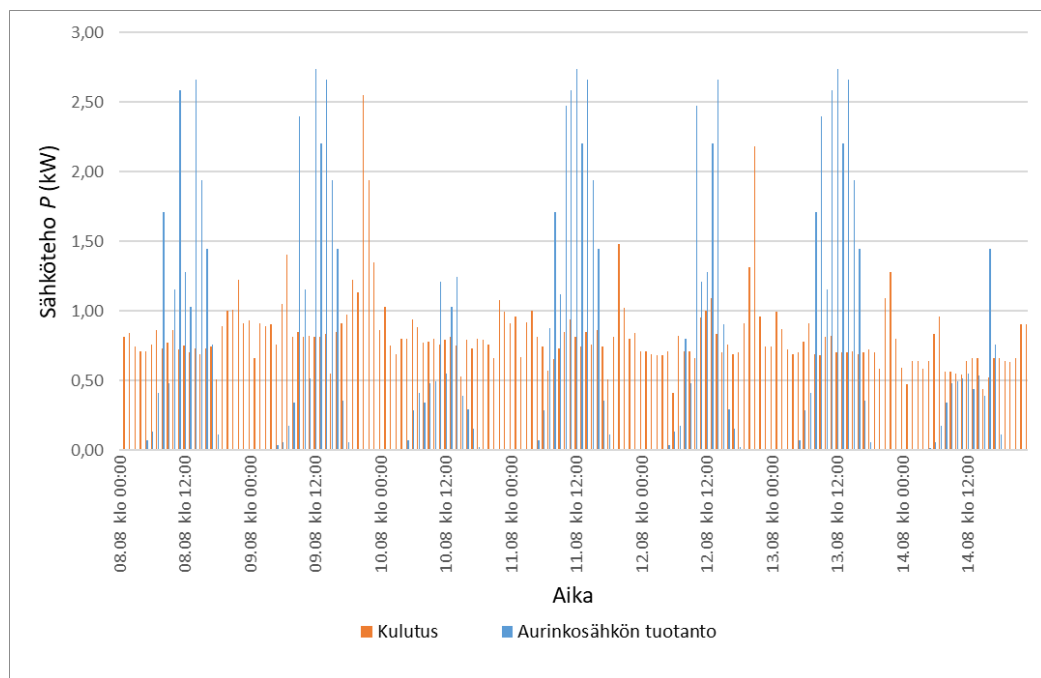


KUVA 17. Heinäkuun Kulutus, verkkoon syöttö & varaus (20 kWh)

Edellisen viikon viimeinen päivä on ollut aurinkosähkön kannalta hyvä, koska tarkasteltavan viikon ensimmäinen päivän kulutus on saatu otettua akustosta. Seuraavana yönä akuston varaus on täysin käytetty ja kulutusta on jouduttu ostamaan sähköverkosta. Seuraavat päivät ovat olleet aurinkoisia ja akuston varaus on riittänyt yön yli, jolloin on päästy noin kolmen päivän teho-omavaraisuuteen. Loppuviikosta päiviin on osunut pilvisiä ajankohtia ja tästä syystä akuston varaus ei aivan ole riittänyt kokonaisille vuorokausille.

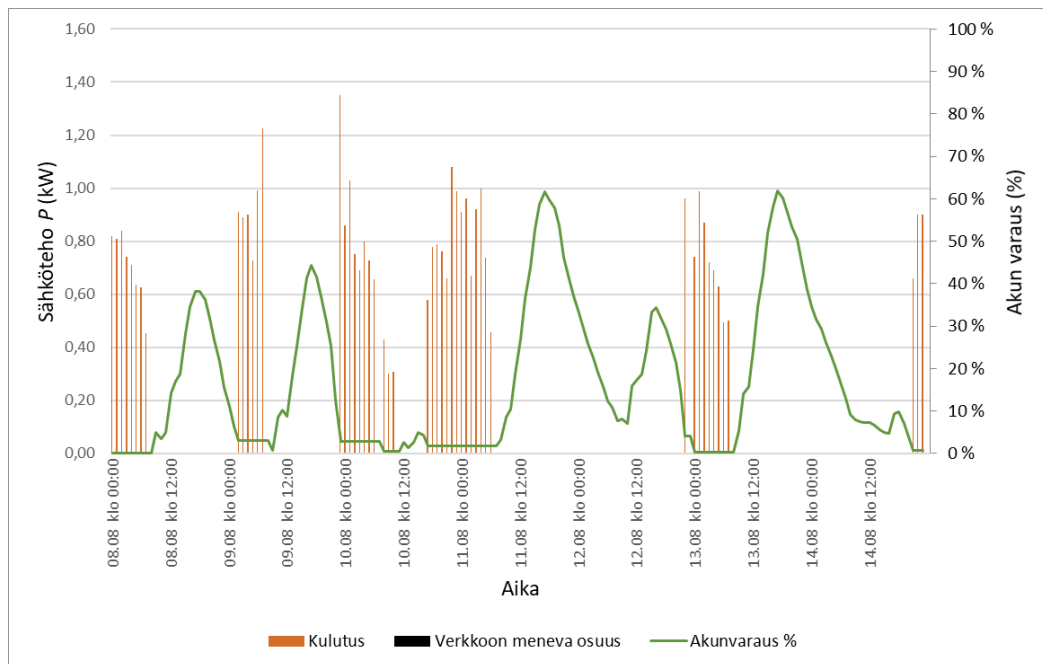
### 5.1.5 Elokuu

Elokuun toisella viikolla tuotanto on ollut huonompaa verrattuna pitkän ajan keskiarvoon. Kuvassa 18 on elokuun kulutus ja tuotanto ajan funktiona.



KUVA 18. Elokuun kulutus & tuotanto (4 kW)

Elokuussa kulutus näyttäisi kyseisellä viikolla olevan aavistuksen kesä- ja heinäkuun kulutuslukemia korkeampia. Aurinkosähkön tuotanto on ollut vaihtelevaa. Kuvassa 19 on esitettyä omakotitalon kulutus ja verkkoon syöttö aurinkosähkön sekä akuston kanssa.

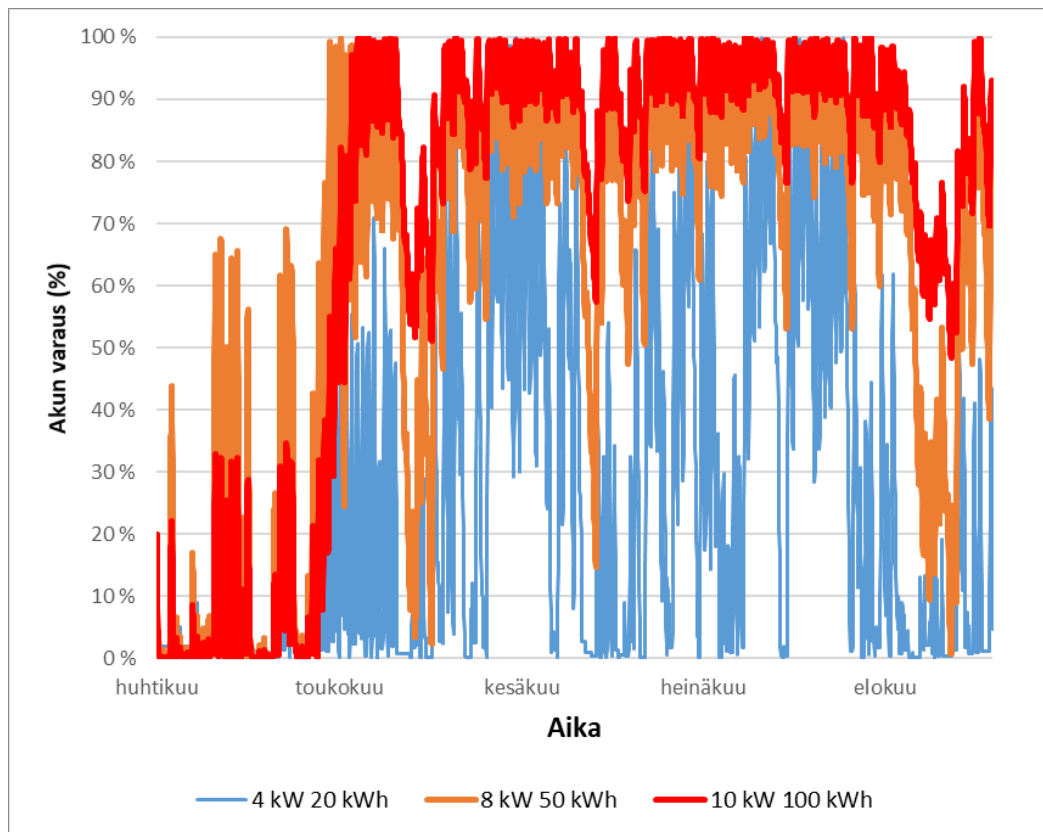


KUVA 19. Elokuun Kulutus, verkkoon syöttö & varaus (20 kWh)

Elokuussa aurinkosähkö riittää pilvettöminä päivinä hyvin päivän kulutukseen, mutta yöllä joudutaan turvautumaan ostosähköön. 10.8 on havaittavissa, että pilvisenäkin päivänä aurinkosähköllä pystytään pienentämään päivän kulutusta.

## 5.2 Erikokoisten järjestelmien vertailu

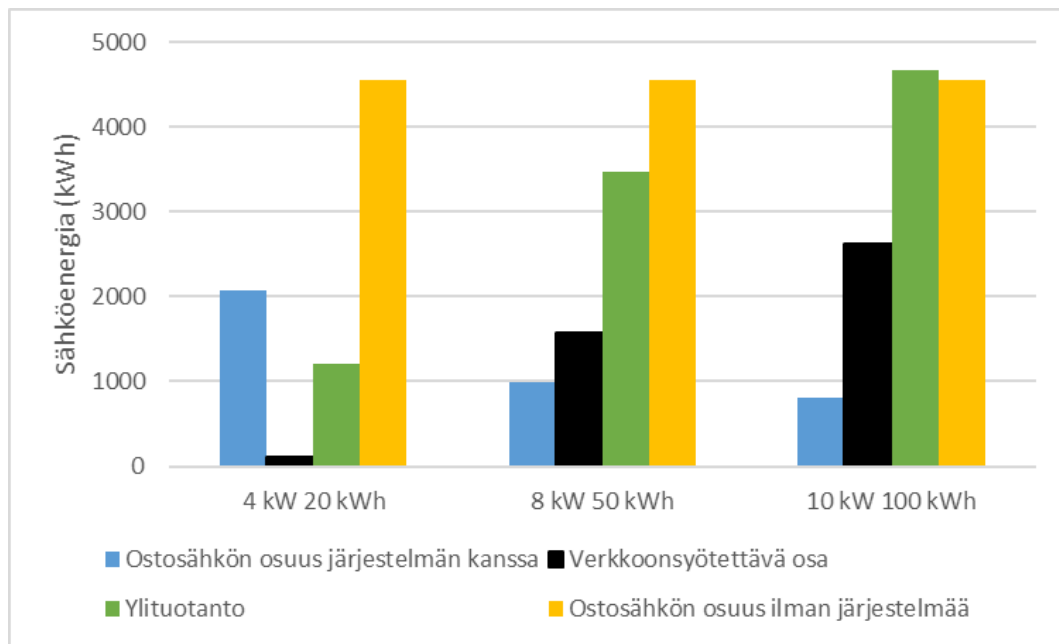
Tarkastellaan seuraavaksi eritehoisten aurinkopaneelien ja erikokoisten akustojen kombinaatioita. Kuvassa 20 on esitelty kolmen eri kombinaation akkujen varausprosentin käyttäytymistä välillä huhtikuu-elokuu. 4 kW:n aurinkopaneelin ja 20 kWh:n akuston kombinaation käyttäytymistä on esitelty aiemmassa osassa yksityiskohtaisemmin.



KUVA 20. Erikokoisten järjestelmien akunvaraus % ajalta huhtikuu-elokuu

Kuvasta 20 nähdään, että akun varaus laskee huhtikuussa kaikilla järjestelmillä akun varauksen alarajalle useaan kertaan. Teho-omavaraisuus on kuvan perusteella saavutettavissa 10 kW:n aurinkopaneelin ja 100 kWh:n akun avulla välillä toukokuu-elokuu. Tämä on lähellä aiemmin pohdittua 140 kWh:n akustoa. Suurempien järjestelmien osalta saavutetaan täysi varaus huomattavan usein. Tämän seurauksena muodostuu ylituotantoa, joka täytyy myydä sähköverkkoon.

Tarkastellaan vielä hieman eri järjestelmien lukuja. Kuvassa 21 on esitettyä erikokoisten järjestelmien vertailu välillä huhtikuu-elokuu. Kuvasta on luettavissa ostosähkön osuus järjestelmän kanssa. Kuvasta on myös luettavissa ylituotannon ja verkkoon syötettävän sähkön osuudet sekä ostettavan sähkön osuus ilman järjestelmää.



KUVA 21. Eri järjestelmien erot aikavälillä huhtikuu-elokuu

Kaikilla tarkasteltavilla järjestelmillä joudutaan verkosta ostamaan sähköä. Sähkön oston tarve ajoittuu huhtikuulle. 4 kW:n järjestelmällä verkkoon syötettävä osuus on odotetusti pienin ja 10 kW:n järjestelmällä puolestaan suurin. Yhteen vetona voidaan todeta, että aurinkopaneelijärjestelmän tuotantotehon kasvattaminen nostaa ylituotannon osuutta ja akuston kapasiteetin kasvattaminen parantaa tuotetun sähkön omakäyttöosuutta.

## 6 POHDINTA

Työssä tarkasteltiin, voidaanko omakotitalon teho-omavaraisuutta parantaa aurinkosähköjärjestelmän ja akuston avulla. Tähän tarkoitukseen kehitettiin Excel-työkalu, jonka avulla tuotettiin säätilariippuvaisia aurinkosähköennusteita. Työssä oli alun perin tarkoitus tutkia myös huipputehon leikkaamista talvisin ja pörssisähkön hintaan perustuva energiavaraston lataamista, mutta aikataulullisista paineista johtuen nämä jouduttiin rajaamaan työn ulkopuolelle.

Lopputulena 4 kW:n aurinkovoimala 20 kWh:n akuston kanssa ei riitä takaamaan tarkastelun kohteena olevan omakotitalon teho-omavaraisuutta tarkastellulla aikavälillä. Suurimmat verkkoon syötettävät tehopiikit ovat alle 3 kW:n suuruisia, jolloin älykkäällä lämminvesivaraajan ohjauksella voitaisiin ylimääräinen tuotanto ohjata vaikkapa käyttöveden lämmitykseen.

Täydelliseen teho-omavaraisuuteen aikavälillä toukokuu-elokuu tavoiteltaessa joudutaan todella suuri osa tuotetusta sähköstä myymään verkkoyhtiölle, koska jo 4 kW:n aurinkosähkövoimalan tuottamaa sähköä menee jo myyntiin. Teho-omavaraisuuteen päästäisiin ainakin 10 kW:n aurinkosähkövoimalalla ja 100 kWh:n akustolla. Tällöin verkkoon myytävän sähkön osuus on karkeasti puolet tuotetusta sähköstä.

Työssä haastavimmaksi osuudeksi ohjelmallisesti osoittautui työkalun lataus- ja purkautumislogiikan muodostaminen Excelissä. Tähän tarkoitukseen jälkikäteen ajateltuna olisi kannattanut valita jokin simulaatio-ohjelma. Kuitenkin oma kiinnostus kyseistä taulukkolaskentaohjelmaa kohtaan ja sen luonteva käyttö muiden toimintojen, kuten taulukoiden muodostaminen tuntui luontevammalta kyseisellä ohjelmalla.

Tuotantomallia voisi jatkokehittää esimerkiksi muuttamalla toiminnan dynaamisemmaksi. Tällä hetkellä akustoa puretaan ainoastaan, jos koko edellisen tunnin kulutus voidaan ottaa akustosta. Käytännössä akustoa voidaan purkaa hyvinkin joustavasti. Lisäksi aurinkopaneelien asennuskulman voisi ottaa huomioon pitkän ajan keskiarviossa.

## LÄHTEET

Ilmatieteenlaitos. nd. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintosuureet>

Korpela, A. 2014. Aurinkosähkön perusteet

Korpela, A. 2021. Henkilökohtainen tiedonanto. Luettu 13.10.2021

Korpela, A. 2018. Suuren kokoluokan energianvarastointiteknologioiden tekniset ja taloudelliset näkymät. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu

Motiva. 2021. Uusiutuva energia  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)

PVGIS. 2020. Käyttöohje. <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>

Vesa, J. 2016. Aurinko- ja tuulisähkön tuotantoprofiilit ja aurinkosähkön tuntitason ennustaminen. Sähkövoimatekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108658/Vesa\\_Jani.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108658/Vesa_Jani.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## LIITTEET

## Liite 1. Akuston yhdistäminen kulutukseen

