

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikka

Toni Bertlin

SÄHKÖN VARASTOINNIN VAIKUTUKSET AURINKOSÄHKÖN
OMAKÄYTTÖASTEeseen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019

**OPINNÄYTETYÖ**

Toukokuu 2019

**Energia- ja ympäristötekniikan koulu-
tus**

Karjalankatu 3

80200 JOENSUU

+358 13 260 600 (Vaihde)

Tekijä

Toni Bertlin

Nimeke

Sähkön varastoinnin vaikutukset aurinkosähkön omakäyttöasteeseen

Toimeksiantaja

Joensuun Telemaailma Oy / Solarworks

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli seurata toimeksiantajan valitsemien akullisten aurinkosähkölaitteiden energiankulutusta vuoden 2018 osalta. Akkuja voidaan käyttää sähköntuotannon siirtoon myöhemmälle ajankohdalle ja kulutushuippujen tasaamiseen. Tutkimuskohteita oli neljä kappaletta, joista kaksi oli yhdistystoimintaan liittyviä ja toiset kaksi yksityisiä asuntoja. Kohteisiin on asennettu aurinkosähkölaitteiden lisäksi akusto, johon ylituotettu sähkö varastoidaan tai tehosäädin, joka ohjaa ylituotantoa lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

Kohteisiin asennettujen laitteiden energiankulutusta seurattiin Solar.web-sovelluksen avulla ja saatujen tietojen pohjalta mietittiin toimeksiantajan kanssa kehitysehdotuksia laitteisiin. Haikolan talolla ja Jyväskylän Huvilatien laitteisiin arvioitiin ylituotannon ohjaamisesta käyttöveden lämmitykseen saatava hyöty omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin. Höljäkän nuorisoseurantalolle tehtiin simulointeja akkukapasiteetin kasvattamisen vaikutuksista omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin.

Tämän opinnäytetyön kohteissa sähkön varastoinnin osuus vuoden 2018 kesäajan kokonaisenergiankulutuksesta oli 20-30 %. Sähkön varastoinnilla voidaan parantaa aurinkosähkön omakäyttöastetta ja kannattavuus paranee akkujen hintojen laskiessa.

Kieli

Suomi

Sivuja 67

Liitteet 7

Liitesivumäärä 7

Asiasanat

aurinkosähkö, energiavarasto, sähkövarasto, akusto, omakäyttöaste, omavaraisuusaste



THESIS
May 2019
Energy- and environmental program

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Toni Bertlin

Title
Impacts of electrical storage to own-consumption rate of photovoltaic systems

Commissioned by
Joensuun Telemaailma Oy / Solarworks

Abstract

Purpose of the thesis was to examine energy flows of PV-systems with battery storage system at research objects in 2018. Batteries are used to transfer production for later use and to flatten consumption peaks. There were four research objects, from which two are association buildings and other two are private buildings used for living. Three research objects have battery storage systems and one has consumption regulator that directs overproduction to water boiler.

Energy flows of each installed PV plus storage systems were monitored on Solar.web and if needed improvement suggestions were made. At Haikola's talo and Jyväskylä's Huvilatie benefits to own-consumption and self-sufficiency from directing PV overproduction to water heating was estimated with calculations. At Höljääkä simulations were made to estimate benefits of adding battery pack to the existing battery system.

Portion of stored solar energy was 20-30 % from total energy consumption in 2018 at all research objects of the thesis. Electrical energy storage can improve own-consumption rate of PV-systems and they can become economically viable when battery prices drop.

Language

Finnish

Pages 67

Appendices 7

Pages of Appendices 7

Keywords

Photovoltaic, energy storage, electrical storage, battery, own-consumption, self-sufficiency

Sisältö

1	Johdanto	8
2	Keskeiset käsitteet	9
3	Sähkövarastot	10
3.1	Sähkön varastoinnin tarkoitus	10
3.2	Älykäs sähköverkko	11
3.3	Varastointitekniikat	12
3.4	Akkuvarastot	13
3.5	Sähköauton akku sähkövarastona	13
4	Aurinkosähkön varastointi	14
4.1	Aurinkosähköjärjestelmän toiminta	14
4.2	Aurinkosähkön varastointi	14
5	Akkuteknologiat aurinkosähkön varastointiin	15
5.1	Lyijyakut	16
5.2	Litiumioniakut	16
5.2.1	Toimintaperiaate	17
5.2.2	Aktiivimateriaalit	18
6	Akullisten aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus	20
7	Energian varastoiminen vesivaraajaan	21
7.1	Laskukaavat	21
7.2	Ylituotannon ohjaus käyttöveden lämmitykseen	22
8	Laitteet ja ohjelmat	22
8.1	Fronius Solar battery	22
8.2	Fronius Ohmpilot	23
8.3	Solar.web	23
8.4	PV-Simulation	24
9	Tutkimuksen toteutus	25
9.1	Tutkimuksen tavoite	25
9.2	Tutkimusmenetelmät	26
9.3	Aiemmat tutkimukset	26
10	Tarkasteltavat järjestelmät	27
10.1	Haikolan talo	27
10.1.1	Vuoden 2018 tuotanto ja kulutus	28
10.1.2	Haikolan talon lämpimän käyttöveden kulutus	35
10.1.3	Arvio ylituotannon ohjaamisesta käyttöveden lämmitykseen	36
10.2	Höljäkän nuorisoseurantalo	37
10.2.1	Vuoden 2018 toteutunut tuotanto ja kulutus	39
10.2.2	Simuloinnin lähtötiedot	43
10.2.3	Arvio akkukapasiteetin kasvattamisen vaikutuksista	44
10.3	Jyväskylä Huvilatä	46
10.3.1	Toteutunut tuotanto ja kulutus huhti-joulukuu 2018	48
10.3.2	Jyväskylän kohteen lämpimän käyttöveden kulutus	53
10.3.3	Ylituotannon ohjaaminen käyttöveden lämmitykseen	54
10.4	Niittylahti Kummuntie	56
10.4.1	Toteutunut tuotanto ja kulutus	58
11	Pohdinta	63
11.1	Tulosten luotettavuus	63
11.2	Yhteenveto	64

Kuvat

- Kuva 1 Sähköenergiavarastot (Euroopan komissio).
- Kuva 2 Ionien ja elektronien kulkemissuunta litiumakussa (Zhang & Ramadas, 327).
- Kuva 3 Fronius Solar Battery 4.5 (Fronius).
- Kuva 4 Fronius Ohmpilot -tehosäädin (Fronius).
- Kuva 5 Näkymä Solar.web-sovelluksesta (Fronius).
- Kuva 6 Näkymä PV-simulation -ohjelmasta (Hottgenroth).
- Kuva 7 Ilmakuva Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmästä (Solar.web).
- Kuva 8 Höljäkän nuorisoseurantalon aurinkopaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).
- Kuva 9 Simuloinnin tulokset 4,5 kWh akulla (PV-simulation).
- Kuva 10 Itäpuolen aurinkosähköpaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).
- Kuva 11 Länsipuolen aurinkosähköpaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).
- Kuva 12 Invertterit ja akusto (Kuva: Samuli Pykäläinen).
- Kuva 13 Longi aurinkopaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).
- Kuva 14 Fronius Ohmpilot konfiguraatio (Fronius.)
- Kuva 15 Haikolan talon Ohmpilotin hyödyntämiseen tarvittavat laskut.
- Kuva 16 Jyväskylän kohteen Ohmpilotin hyödyntämiseen tarvittavat laskut.
- Kuva 17 Länsipuolen aurinkopaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).
- Kuva 18 Höljäkän säteilytiedot (PV-simulation).
- Kuva 19 Simuloidun järjestelmän komponentit ja suuntaus (PV-simulation).
- Kuva 20 Simuloinnin tulokset 4,5 kWh:n akulla.
- Kuva 21 Simuloinnin tulokset 6 kWh:n akulla.

Kuviot

- Kuvio 1 Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto 2018 (Solar.web).
- Kuvio 2 Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmän vuoden 2018 huhti-elokuun tuotanto (Solar.web).
- Kuvio 3 Haikolan talon sähkönkulutus 2018 (Solar.web).
- Kuvio 4 Haikolan talon vuoden 2018 huhti-elokuun sähkönkulutus (Solar.web).
- Kuvio 5 Haikolan aurinkosähköjärjestelmän tuotanto 17.6.2018 (Solar.web).
- Kuvio 6 Haikolan talon kulutusprofiili 17.6.2018 (Solar.web).
- Kuvio 7 Maalämpöpumpun aiheuttama kulutuspiikki (Solar.web).
- Kuvio 8 Kulutuspiikki järjestelmän tuotannon näkökulmasta (Solar.web).
- Kuvio 9 Arvio Ohmpilotin lisäyksen vaikutuksista Haikolan talon omavaraisuusasteeseen.
- Kuvio 10 Höljäkän aurinkosähköjärjestelmän tuotanto kesä-joulukuu 2018 (Solar.web).
- Kuvio 11 Höljäkän nuorisoseurantalon aurinkosähköjärjestelmän kesä-elokuun keskimääräinen tuotanto.
- Kuvio 12 Höljäkän nuorisoseurantalon sähkönkulutus 2018 (Solar.web).

- Kuvio 13 Höljäkän nuorisoseurantalons aurinkosähköjärjestelmän kesä-elokuun 2018 sähkönkulutus.
- Kuvio 14 Höljäkän aurinkosähköjärjestelmän 7.9.2018 tuntikohtainen tuotanto (Solar.web).
- Kuvio 15 Höljäkän kohteen tuntikohtainen kulutus 7.9.2018 (Solar.web).
- Kuvio 16 Jyväskylän kohteen aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto vuonna 2018 (Solar.web).
- Kuvio 17 Jyväskylän Huvilatien aurinkosähköjärjestelmän tuotanto huhti-elokuu 2018.
- Kuvio 18 Jyväskylän kohteen sähkönkulutus 2018 (Solar.web).
- Kuvio 19 Jyväskylän kohteen huhti-elokuun sähkönkulutus.
- Kuvio 20 Jyväskylän kohteen sähkönkulutus 22.5.2018 (Solar.web).
- Kuvio 21 Ohmpilotin lisäyksen vaikutukset omavaraisuusasteeseen.
- Kuvio 22 Ohmpilotin lisäyksen vaikutukset omakäyttöasteeseen huhti-elokuussa.
- Kuvio 23 Niittylahden kohteen sähköntuotantotiedot 2018 (Solar.web).
- Kuvio 24 Niittylahden aurinkosähköjärjestelmän tuotanto kesä-elokuu.
- Kuvio 25 Niittylahden kohteen sähkönkulutustiedot 2018 (Solar.web).
- Kuvio 26 Niittylahden kohteen sähkönkulutus kesä-elokuu 2018.
- Kuvio 27 Niittylahden kohteen kuukausikohtainen tuotantoprofiili heinäkuu 2018 (Solar.web).
- Kuvio 28 Niittylahden kohteen kuukausikohtainen tuotantoprofiili elokuu (Solar.web).
- Kuvio 29 Niittylahden kohteen kuukausikohtainen tuotantoprofiili syyskuu (Solar.web).

Taulukot

- Taulukko 1 Litiumioniakuissa käytettävien katodimateriaalien ominaisuuksia (Battery University).
- Taulukko 2 Haikolan talon sähkönkulutus 2018 (Solar.web).
- Taulukko 3 Haikolan talon sähkönkulutus 2018 (Solar.web).
- Taulukko 4 Lähtötiedot.
- Taulukko 5 Lämpimän käyttöveden kuukausittainen energiantarve.
- Taulukko 6 Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmän ylituotannot 2018 (Solar.web).
- Taulukko 7 Höljäkän järjestelmän sähköntuotanto kesä-joulukuu 2018 (Solar.web).
- Taulukko 8 Höljäkän järjestelmän sähkönkulutus kesä-joulukuu 2018 (Solar.web).
- Taulukko 9 Simuloinnin tulokset eri akku vaihtoehdoilla (PV-simulation).
- Taulukko 10 Jyväskylän kohteen sähköntuotanto 2018 (Solar.web).
- Taulukko 11 Jyväskylän kohteen sähkönkulutustiedot 2018 (Solar.web).
- Taulukko 12 Lähtötiedot.
- Taulukko 13 Lkv:n lämmitykseen kuukausittain kuluva energia.
- Taulukko 14 Niittylahden Kummuntien sähkönkulutustiedot 2018 (Solar.web).
- Taulukko 15 Jyväskylän aurinkosähköjärjestelmän ylituotannot 2018 (Solar.web).
- Taulukko 16 Niittylahden kohteen sähköntuotantotiedot 2018 (Solar.web).
- Taulukko 17 Niittylahden kohteen sähkönkulutus 2018 (Solar.web).

Lyhenteet

kWh	kilowattitunti
mWh	megawattitunti
kW _p	piikkikilowatti

Liitteet

Liite 1	Laskelmat Ohmpilotin lisäyksen hyödyistä
Liite 2	Fronius Solar Battery –akkujen ominaisuudet
Liite 3	Höljäkän säteilytiedot
Liite 4-5	Simuloidun järjestelmän komponentit ja suuntaus
Liite 6-7	Simuloinnin tulokset 4,5 kWh:n ja 6 kWh:n akuilla

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tarkastellaan aurinkosähkön varastoinnin vaikutuksia aurinkosähkön omakäyttöasteeseen. Työn tavoitteena oli tehdä selvitystä toimeksiantajan valitsemien akullisten aurinkosähköjärjestelmien toiminnasta. Toimeksiantajana toimi Joensuun Telemaailma Oy / Solarworksilta ja opinnäytetyö tehtiin selvityksenä kohteista, joissa aurinkosähköä varastoidaan joko akustoon tai lämminvesivaraajaan. Tavoitteena oli seurata kohteisiin asennettujen järjestelmien energiavirtoja vuoden 2018 osalta ja tutkia sähkön varastoinnista saatuja hyötyjä omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin. Toimeksiantaja voi käyttää työn aikana saatuja tietoja hyödyksi omissa suunnitelmissaan ja asiakasmarkkinoinnissa. Selvitys akkujen käytön toiminnasta ja hyödyistä aurinkosähköjärjestelmissä voi mahdollisesti hyödyttää myös muita asiasta kiinnostuneita. Tarkasteltavia kohteita oli neljä kappaletta, joista kolmessa on käytössä aurinkosähköjärjestelmän lisäksi akku ja yhdessä ylituotettua sähköä varastoidaan lämminvesivaraajaan.

Tietoperustassa käydään läpi asiaosiossa tarvittavaa teoriaa. Käytännön osuudessa järjestelmien vuoden 2018 toteutuneita tuotanto- ja kulutustietoja tarkasteltiin Solar.web -sovelluksen avulla ja PV-simulation -ohjelmalla tehtiin tarvittavat simuloinnit. Haikolan talon ja Jyväskylän Huvilatien järjestelmiin arvioitiin ylituotantoa käyttöveden lämmitykseen hyödyntävästä tehosäätimestä saatava hyöty omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin. Höljäkän nuorisoseurantalon järjestelmään testattiin erikokoisia akkuja ja niistä saatavaa hyötyä omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin.

Joensuun Telemaailma Oy:n toimialaan kuuluu elektroniikkalaitteiden myynti, asennukset ja huolto. Yrityksen toiminta alkoi vuonna 1977 ja yrityksen myymälä sijaitsee Joensuussa Rantakylässä. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimivan Samuli Pykäläisen vastuulla oleva Solarworks -osasto erikoistuu aurinkosähköjärjestelmiin, joita se suunnittelee, myy ja asentaa pääosin Pohjois-Karjalan alueella. Yritys tarjoaa älykkäitä aurinkosähköratkaisuja, joissa oman käytön hyöty on mahdollisimman suuri. Ratkaisuissa otetaan huomioon varjostavat tekijät, ja

sähköä on mahdollista varastoida akkuihin tai lämminvesivaraajaan. Toimituksissa Solarworks käyttää itse maahantuotuja eurooppalaisia aurinkosähköalan tuotteita. Solarworks on Motivan sertifioitu aurinkosähköasentaja ja Froniuksen service-partneri. (Pykäläinen 2019.)

2 Keskeiset käsitteet

Anodi eli negatiivinen elektrodi toimittaa elektroneja katodille akkusolun purkauksessa (Doeff 2013, 5).

Aurinkosähkö tuotetaan auringonsäteilyenergian avulla. Auringonsäteily koostuu fotoneista eli hiukkasista, jotka kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Fotoneiden osuessa aurinkokennoihin ne luovuttavat energiansa materiaalin elektroneille, muodostaen sähkövirran aurinkokennojen virtajohtimiin. (Motiva 2017a.)

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta aurinkopaneelistä ja muista sähkökomponenteista, kuten invertteristä, suojalaitteista ja kaapeleista. (Tahkokorpi ym. 2016, 144).

Akku on laite, joka koostuu yhdestä tai useammasta sähkökemiallisesta solusta, joissa kemiallinen energia muutetaan tehoksi. Akut voidaan luokitella primääri- (ei uudelleen ladattava) tai sekundääriakuiksi (uudelleen ladattava). (Doeff 2013, 5.)

Akkukapasiteetti on akun toimittama maksimaalinen sähköenergia, jonka akku voi toimittaa määrättyissä olosuhteissa (Tahkokorpi 2016, 193).

Verkkoinvertteri tai vaihtosuuntaaja muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi (Tahkokorpi ym. 2016, 206).

Omakäyttöaste kertoo, kuinka suuri osa tuotetusta aurinkosähköstä käytetään suoraan kohteessa verkkoon myynnin sijaan.

Omavaraisuusaste kertoo, kuinka suuri osa kokonaisenergian kulutuksesta ka-
tetaan aurinkosähköllä.

Katodi eli positiivinen elektrodi vastaanottaa elektroneja anodilta solun purkau-
tuessa (Doeff 2013, 20).

PV lyhenne englanninkielen sanasta photovoltaic, joka tarkoittaa aurinkosähköä
(Tahkokorpi 2016, 204).

PV simulation on aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu- ja simulointiohjelma
(PV-simulation).

3 Sähkövarastot

3.1 Sähkön varastoinnin tarkoitus

Uusiutuvat energiat ovat iso osa tulevaisuuden energiapolitiikkaa, jossa keskity-
tään vähäpäästöisiin hajautettuihin energiantuotantotapoihin kasvihuonekaasu-
päästöjen vähentämiseksi. Aurinko- ja tuulivoimalla tuotettu sähkön määrä on
riippuvaista vaihtelevista sääolosuhteista, jolloin aurinkoisena ja tuulisena päi-
vänä voi tulla sähkön ylituotantoa, kun taas pilvisenä ja vähä tuulisena päivänä
joudutaan turvautumaan muihin sähköntuotantotapoihin. Sähkönvarastoinnilla ti-
lannetta voidaan tasapainottaa varastoimalla ylituotettu sähkö ja käyttämällä se
vähäisen tuotannon aikaan. Varastointi auttaa reagoimaan nopeasti sähkön ky-
synnän ja tarjonnan muutoksiin. (IEC 2011.)

Energian varastointijärjestelmien avulla sähkö voidaan muuttaa toiseen energia-
muotoon ja varastoida. Varastoitu energia voidaan yleensä onnistuneesti muut-
taa takaisin sähköksi pienin häviöin ja toimittaa se sähköverkkoon. Varastoitu
sähkö voidaan myös vapauttaa toisessa olomuodossa kuten power-to-gas (säh-

köstä kaasuksi) ja power-to-heat (sähköstä lämmöksi) ratkaisuihin tehdään. Power-to-gas järjestelmässä sähkö muunnetaan vety- tai metaanikaasuksi. Power-to-heat systeemissä sähkö muunnetaan kuumaksi vedeksi tai vesihöyryksi, ennen jakeluverkkoon siirtämistä. (Komarnicki, Lombardi & Styczynski 2017, 129.)

Energianvarastointijärjestelmillä on ollut perinteisesti kolme pääroolia. Varastoinnilla voidaan vähentää sähkökuluja varastoimalla sähköä sähkön ollessa halpaa (yleensä yöllä), ja käyttämällä sitä kulutushuipun aikaan, kun sähkö on kallista (yleensä päivällä). Toisena roolina on sähkönjakelun luotettavuuden parantaminen esimerkiksi luonnon katastrofeista johtuvien sähköverkkoon syntyneiden vikojen takia. Energianvarastointijärjestelmillä voidaan myös ylläpitää ja parantaa sähkönlaatua, taajuutta ja jännitettä. (IEC 2011.)

3.2 Älykäs sähköverkko

Älykäs sähköverkko tarkoittaa sähköverkkoa, joka valvoo automatisoidusti, tieto- ja viestintäteknologioita hyödyntäen, sähköverkon energivirtoja ja mukautuu energian tarjontaan ja kulutukseen. Älykkäiden mittareiden avulla kuluttajat ja tuottajat voivat seurata reaaliajassa sähkön kulutusta ja mukautua vaihteleviin energiahintoihin ohjaamalla kulutusta ajalle, jolloin sähkö on halpaa. (Euroopan komissio.)

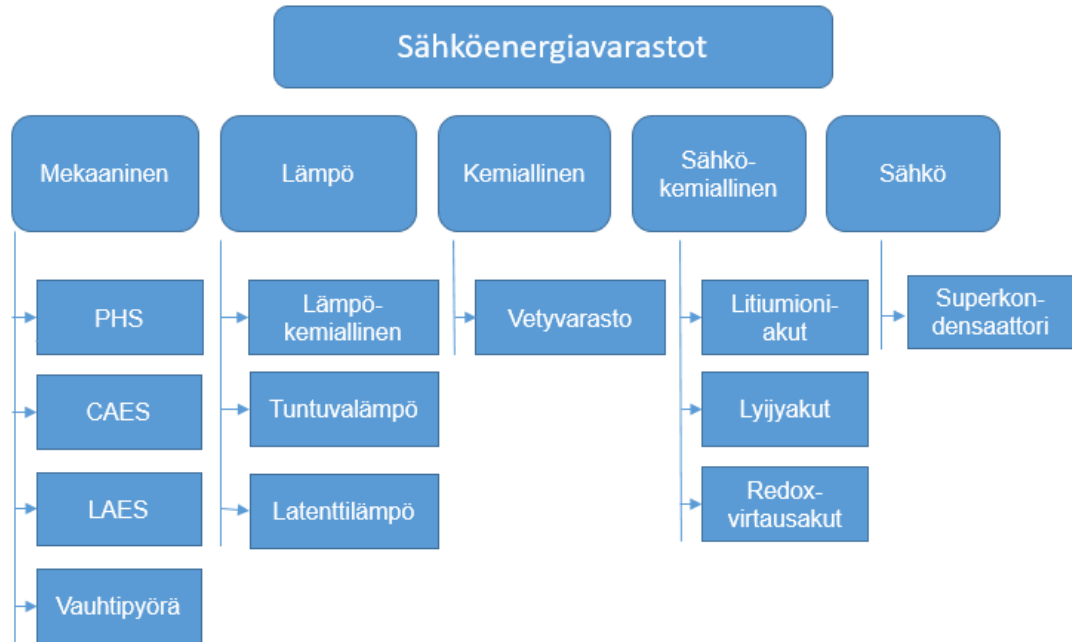
Älykäs sähköverkko helpottaa uusiutuvien energioiden käyttöönottoa. Älymittareiden avulla voidaan esimerkiksi yhdistää energian tarve sääennusteisiin, jolloin sähköverkon operaattorit voivat paremmin suunnitella uusiutuvien energioiden käyttöä. (Euroopan komissio.) Älykäs sähköverkko on kaksisuuntainen, jolloin energia virtaa sähköverkossa molempiin suuntiin eli myös sähkön pienkuluttajat, teollisuus ja yritykset voivat siirtää sähköä verkkoon. (Motiva 2017b.)

Älykäs mittausjärjestelmä on tärkeä osa älykästä sähköverkkoa. Älykkäät eli etäluettavat mittarit mahdollistavat tiedon jakamisen sähköverkon toimijoille, mikä edesauttaa tuotteiden ja palveluiden kehittämistä. Myös asiakkaat saavat entistä tarkempaa tietoa sähkön kulutuksestaan. Etäluettaviin mittareihin voidaan myös

integroida hälytystoimintoja, kuten ilmoitukset sähkökatkoista. (Sarvaranta 2010, 56.)

3.3 Varastointitekniikat

Energian varastointitekniikat voidaan jaotella mekaanisiin-, lämpö-, kemiallisiin-, sähkökemiallisiin- ja sähkövarastoihin (kuva 1). Mekaanisia varastoja ovat pumppuvoimalaitokset, paineilmalaitokset ja vauhtipyörät. Sähkökemiallisia varastointitekniikoita ovat sekundääriakut ja flow-akut. Sähköisiin varastoihin kuuluvat SMES eli suprajohtava magneettinen energiavarasto ja superkondensaattorit. Suuria gigawatti kokoluokan energiavarastoja ovat lämpövarastot, pumppuvoimalaitokset ja CAES eli paineilma-akut. Keskisuuria verkkosovelluksissa käytettäviä megawatti kokoluokan varastoja ovat vauhtipyörät, superkondensaattorit, akut ja vetyvarastot. Pienemmässä kilowatti kokoluokassa käytetään vauhtipyöriä ja erilaisia akkuja. Ylivoimaisesti käytetyin energianvarastointitapa on pumppuvoimalaitos, joka vastaa noin 99 % globaalia varastointikapasiteetista. Pumppuvoimalaitosten asennuskapasiteetti on noin 127 000 megawattia, kun taas seuraavaksi käytetyimmän paineilma-akun vain 440 megawattia. Pumppuvoimalaitosten reaktioajat vaihtelevat, vanhat voimalaitokset reagoivat hitaasti, kun taas uuden teknologian pumppuvoimalaitokset reagoivat sekuntien sisällä sähköverkon tarpeisiin. (IEC 2011.)



Kuva 1. Sähköenergiavarastot (Euroopan komissio).

3.4 Akkuvarastot

Akustot ovat vanhimpia ja vakiintuneimpia tekniikoita energian varastointiin. Akuteknologiat luokitellaan latauskyvyn mukaan primääri- ja sekundääriakkuihin. Primääriakut voidaan vain purkaa, kun taas sekundääriakut voidaan ladata ja purkaa useita kertoja, tästä johtuen vain sekundääriakut soveltuvat energianvarastointijärjestelmiin. (Komarnicki, Lombardi & Styczynski. 2017.)

3.5 Sähköauton akku sähkövarastona

Sähköautojen käytön lisääntyminen pakottaa autoteollisuutta kehittämään akuteknologioita, jonka ansiosta akkujen kustannukset laskevat. Suurin osa sähköautoista on tällä hetkellä yksisuuntaisia sähkövarastoja, eikä niitä voida kuin ladata. Sähköautojen akut voisivat V2G –liitännällä verkkoon kytkettyinä toimia säätövoimana sähköverkossa, lisäten sähköverkon joustavuutta. V2H –liitäntä mahdollistaa sähköauton akuston kytkemisen osaksi kotitalouden älykästä sähköjärjestelmää. (Blomqvist, Härkönen & Makkonen. 2017, 7-11.)

4 Aurinkosähkön varastointi

4.1 Aurinkosähköjärjestelmän toiminta

Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, vaihtosuuntaaja eli invertteri tai latausohjain sekä mahdollisesti sähkövarasto. Valosähköiset aurinkokennot vastaavat aurinkoenergian keräämisestä ja muuntamisesta sähköksi. Ryhmä sarjaan kytkettyjä aurinkokennoja muodostavat aurinkopaneelin. Aurinkosähköjärjestelmä koostuu useista joko rinnan- tai sarjaan kytketyistä aurinkopaneeleista sekä lisäkomponenteista, kuten invertteristä ja suojalaitteista. (Cervantes & Choobineh, F. 2018.)

Aurinkopaneelien tuottama tasavirta muutetaan vaihtosuuntaajan avulla kiinteistön sähköverkon ja jakeluverkon vaatimuksia vastaavaksi vaihtovirraksi. (Tahkokorpi ym. 2016, 144.) Invertterit ovat joko yksi- tai kolmivaiheisia. Pieniä kolmivaihe inverttereitä ei ole saatavilla, joten yksivaihe inverttereitä käytetään alle 3 kWp:n järjestelmissä. Yksivaiheinen invertteri kytketään verkon yhteeseen vaiheeseen kolmesta mahdollista, kun taas kolmivaihe invertteri hyödyntää kaikkia kolmea vaihetta. Aurinkosähköä hyödyntävät vain vaiheeseen kytketyt laitteet. (Motiva 2016.)

4.2 Aurinkosähkön varastointi

Aurinkosähkön tuotanto ja kotitalouksien sähkönkulutus tapahtuvat usein eri aikaisesti. Verkosta ostetun sähkönhinnan ja verkkoon myydyin sähkönhinnan välinen ero lisää aurinkosähkön omakäytön lisäämisen houkuttelevuutta. Yhdistämällä aurinkosähköjärjestelmään akusto, voidaan lisätä aurinkosähkön omakäyttöastetta kohteessa. Päivällä tuotettu sähkö varastoidaan akustoon ja käytetään myöhemmin illalla tai yöllä, jolloin aurinkosähkön tuotantoa ei muutoin ole. Näin voidaan vähentää verkosta ostetun sähkön määrää ja kasvattaa sähkön omavaraisuusastetta. (Weniger, Tjaden & Quaschnig. 2014, 79.)

Aurinkosähkön varastoinnilla tavoitellaan joko tuoton siirtoa myöhempää käyttöä varten tai sähköverkon stabilointia. Tuoton siirrolla tarkoitetaan tuotetun sähkön varastointia myöhempää käyttöä varten. Sähköverkkoon kytkemättömissä järjestelmissä sähkö kannattaa varastoida akkuihin, koska muuten sähköä ei olisi ilman aggregaattia saatavilla lainkaan auringon laskiessa. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä päiväsaikaan ylituotettu sähkö varastoidaan akustoon ja käytetään illalla tai yöllä, kun paneelit eivät muutoin tuota sähköä. (Tahkokorpi ym. 2016, 152.)

Verkon stabilisointi tarkoittaa esimerkiksi säästä johtuvan uusiutuvien energioiden tuotannon ailahtelun tasaamista sähköverkossa sähkön varastoinnin avulla. Verkkoa stabiloidessa varastoitavan energian määrät ovat suhteellisen pieniä, kun taas varaus-purkaus-syklien määrä on suuri. Litiumioniakut ja vauhtipyörät toimivat tehokkaasti vajaassa varaustilassa ja niillä on suuri syklikesto, joten ne sopivat hyvin verkon stabilointiin. (Tahkokorpi ym. 2016, 153-154.)

Sähkövarasto ei ole kuitenkaan pakollinen verkkoon kytketyissä aurinkosähköjärjestelmissä. Tuotetulla aurinkosähköllä kannattaa korvata mahdollisimman paljon verkkosähköä ja ylituotantoa voidaan ohjata esimerkiksi lämminvesivaraajaan tai lattialämmitykseen. Varastointi ei ole tällä hetkellä Suomessa kannattavaa verkkoon kytketyissä järjestelmissä, mutta tilanne voi olla toinen tulevaisuudessa akkuteknologioiden kehittyessä ja hintojen laskiessa. Hintojen laskuun vaikuttaa mm. sähköautojen yleistyminen. Verkkoon myydystä sähköstä maksetaan vain sähkön pörssihinta, kun taas verkosta ostetussa sähkössä on mukana myös siirtomaksut, sähkövero ja arvolisävero. (Tahkokorpi ym. 2016, 136.)

5 Akkuteknologiat aurinkosähkön varastointiin

Tärkeitä ominaisuuksia aurinkosähköjärjestelmän akustolta ovat pitkä elinikä, vähäinen huollontarve, alhainen itsepurkaus, hyvä hyötysuhde ja turvallisuus. Akut mahdollistavat energian varastoinnin tehokkaasti vain tunti- ja päivätasolla. Käytetyin aurinkoenergian varastointiteknologia, varsinkin saareke- tai mökki-käyt-

töön on ollut pitkään lyijyakku. Sähköautojen yleistyessä ja litiumteknologian kehittyessä myös litiumioniakut ovat yleistymässä varsinkin sovelluksissa, joiden varaus-purkaussykliden määrä on suuri. (Tahkokorpi ym. 2016, 154 - 155.)

5.1 Lyijyakut

Lyijyakkuja on käytetty pitkään aurinkosähköjärjestelmissä mm. alhaisen hinnan takia. Lyijyakut ovat painavia ja niiden kestävyys heikkenee syväpurkauksessa. Täysin tyhjäksi purkaminen kuormittaa akkua, ja jokainen lataus/purkusykli heikentää akun kapasiteettia. Kapasiteetin heikentyminen kiihtyy akun kapasiteetin tippuessa puoleen sen nimelliskapasiteetista. (Battery university 2018a.)

Lyijyakkujen elinikä syväpurkaus sovelluksissa on 200 - 300 purku- ja latauskerrota. Ristikkolevyn korroosio positiivisella elektrodilla, aktiivimateriaalin loppuun kuluminen ja positiivisten levyjen laajeneminen ovat pääsyyt lyhyelle käyttöiälle. Useimpien lyijyakkutyyppeiden täyteen lataaminen kestää 14 - 16 tuntia, ja akut täytyy säilyttää täydessä lataustilassa, sillä muuten niiden suorituskyky heikkenee. Lyijyakkujen täyteen lataaminen aurinkosähköllä ei ole aina mahdollista pitkän latausajan takia, joten ne eivät ole tästä syystä paras vaihtoehto sen varastointiin. (Battery university 2018a.)

AGM eli absorbent glass mat -akkuja käytetään mm. aurinko- ja tuulisähkön varastointiin. Akusta saadaan vuotopitävä imeyttämällä rikkihappo ohueen lasi-kuitumattoon. Teknologian etuina ovat alhainen sisäinen resistenssi, korkeat virrat, luotettavuus ja AGM-akut ovat kevyempiä kuin nestemäiset lyijyakut. AGM-akkujen lataus on jopa viisi kertaa nopeampi kuin flooded lyijyakuissa ja ne voidaan syvä purkaa. (Battery university 2017.)

5.2 Litiumioniakut

Litiumioniakut ovat pitkäikäisiä, niillä saavutetaan suuri lataus- ja purkaussykliden määrä, sekä ne ovat lähes huoltovapaita. Litium sopii akkukäyttöön, sillä se on

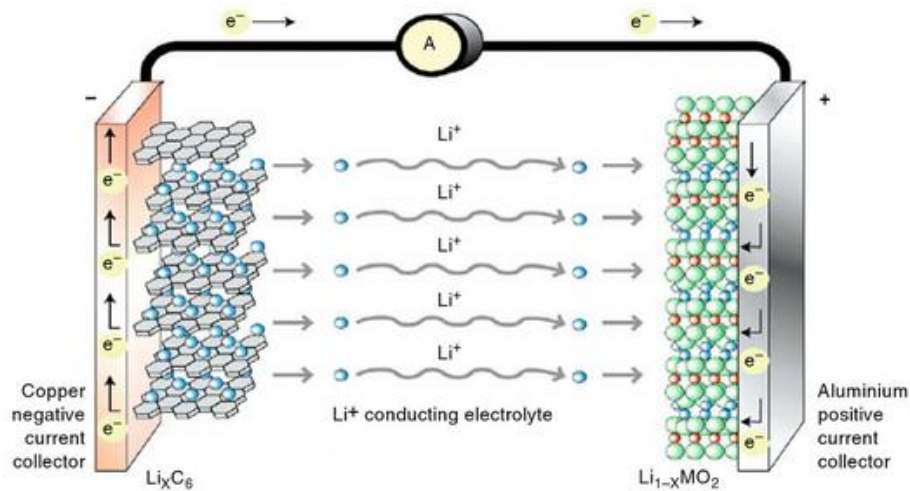
metalleista kevein, sekä sillä on metalleista suurin sähkökemiallinen potentiaali ja energiatiheys. Litiumia pidetään lupaavimpana energianvarastointi teknologiana sen korkean energiatiheyden ansiosta muihin akkuteknologioihin verrattuna. Hintojen laskiessa ja turvallisuuden, sekä eliniän parantuessa litiumioniakut soveltuvat hyvin myös uusiutuvan energian varastointiin. (Battery university 2018b.)

Yhden litiumioniakun solun nominaalijännite voi olla 3,7 voltia, kun taas nikkeli-kadmium (NiCd) ja nikkelimetalli hybridi (NiMH) soluissa se on vain 1,2 voltia. Korkeamman jännitteen ansiosta sarjaan kytkettyjen solujen määrää voidaan vähentää akustossa, joka vähentää tuotantokustannuksia. Hidasteena laajemmalle käyttöönnotolle on sen korkea hinta per kilowattitunti, johtuen tarvittavista erikoispakkauksista ja sisäisistä ylilataussuojapiireistä. (IEC 2011.)

Litiumakkujen hintojen laskiessa niitä voidaan käyttää yhdistämään aurinkosähkön tuotanto ja kulutus. Niillä voidaan mahdollistaa mm. aurinkosähkön omakäytöstä nosto varastoinnin avulla, sekä mikroverkkojen toteutus. Sähköauton litiumioniakku voi myös toimia energiavarastona kotitalouksissa, eikä erillistä akustoa tarvita. Litiumioniakkujen hinnat laskevat kulutuselektroniikan ja ajoneuvoteollisuuden tarpeesta johtuvan massatuotannon lisääntyessä. Akun purku- ja latauskertojen määrää voidaan parantaa tutkimus- ja kehitystyöllä, joka lisää litiumakkujen omistuksen kannattavuutta. (Ahola 2017.)

5.2.1 Toimintaperiaate

Litiumioni-akun kolme tärkeintä toiminnallista komponenttia ovat negatiivinen elektrodi (anodi) ja positiivinen elektrodi (katodi), sekä separaattori. Kaikki komponentit osallistuvat sähkökemialliseen reaktioon akun toiminnan aikana. Akkua purkaessa litiumionit liikkuvat negatiiviselta elektrodilta positiiviselle elektrodille. Akkua ladattaessa litiumionien suunta on käänteinen. (Zhang & Ramadass. 2013, 320.)



Kuva 2. Ionien ja elektronien kulkemissuunta litiumakussa (Zhang & Ramadass, 327).

5.2.2 Aktiivimateriaalit

Litiumioniteknologiat eroavat toisistaan lähinnä aktiivimateriaalien perusteella. Ne saavat myös nimensä aktiivimateriaalin kemiallisen nimen perusteella: esimerkiksi LiCoO^2 -akussa katodina toimii kobolttioksidi CoO^2 . Käytetyimmät litiumionityypit ovat: litium-kobolttioksidi LiCoO^2 LCO, litium-mangaanioksidi LiMn_2O_4 , litium-nikkeli-mangaani-kobolttioksidi NMC, litiumrautafosfaatti LiFePO_4 , Litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi LiNiCoAlO^2 ja Litium-titanaatti (LTO, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). (Battery university 2018c.)

Taulukko 1. Litiumioniakuissa käytettävien katodimateriaalien ominaisuuksia. (Battery University 2018c.)

Katodimateriaali	LiFePO4	LiCoO2	LTO	NMC
Jännite	3,20, 3,30 V nominaali.	3,60 V nominaali.	2,40 V nominaali.	3,60, 3,70 V nominaali.
Kapasiteetti	90 – 120 Wh/kg.	150 - 200 Wh/kg.	50 - 80 Wh/kg.	150 – 220 Wh/kg.
Lataus (C-rate)	1 C, latautuu 3,65 V asti (tyy- pillinen lataus- aika 3 h).	0.7 - 1 C (tyy- pillinen lataus- aika 3 h).	1 C, 5 C max.	0.7 – 1 C, lataus 4,20 V asti.
Purku (C-rate)	1 C, 25 C jois- sain soluissa.	1 C (yli 1 C:n C-rate lyhentää akun ikää).	10 C.	1 C, 2 C mahdol- linen joissain so- luissa.
Elinikä (riippuu pur- kaussyvyydestä ja lämpötilasta)	1000 – 2000.	500 – 1000.	3000 – 7000.	1000 – 2000.
Lämpökarkaaminen	270 °C (erittäin turvallinen jopa täyteen ladat- tuna).	150 °C.	Yksi turvallisim- pia li-ion akuista.	210 °C.
Hinta	~ 496 €/kWh.		~ 855 €/kWh.	~ 360 €/kWh.
Sovellukset	Kestävyyttä ja korkeaa kuor- maa tarvitsevat sovellukset.	Kännykät, tab- letit, läppärit, kamerat.	UPS, sähköau- tot (Mitsubishi i- MiEVE, Honda Fit EV).	Sähköpyörät, lääketieteelliset laitteet, sähköau- tot, teollisuus, Tesla Powerwall.
Kommentit	Tasainen purku käyrä, mutta al- hainen kapasiteetti.	Korkea kapasiteetti, rajoittei- nen. Kobaltti kallista.	Pitkä ikäinen, nopea lataus, laaja lämpötila alue. Alhainen kapasiteetti ja kallis.	Korkea kapasiteetti ja teho. Toi- mii hybridi so- luna.

6 Akullisten aurinkosähköjärjestelmien kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen periaatteena on hyödyntää tuotettu aurinkosähkö suoraan kohteessa mahdollisimman suurilta osin, sillä tämä on edellytyksenä järjestelmän kannattavuudelle. Aurinkosähköjärjestelmät ovat kannattavimpia kohteisiin, joissa on suuri sähkön kulutus kesäaikaan, jolloin esimerkiksi kiinteistön ilmastointi aiheuttaa sähkönkulutusta. (Finsolar 2017.) Akun valinnan tulisi perustua kokonaistaloudellisuuteen, joka koostuu akun hankintahinnasta, odotettavasta eliniästä ja huollontarpeesta. (Tahkokorpi, 2016, 152.) Akun avulla saadaan parannettua järjestelmän omakäyttö- ja omavaraisuusastetta.

Työ- ja elinkeinoministeriö voi myöntää yritysten ja kuntien aurinkosähköinvestointeihin energiatukea. (Työ- ja elinkeinoministeriö.) Kotitalouksille voidaan maksaa kotitalousvähennys aurinkosähköjärjestelmän asennuksen työkuluista. Aurinkosähkö voi olla kannattavaa kotitalouksille myös ilman investointitukea, koska sähkö ja sähkön siirto ovat kalliimpaa kotitalouksille, kuin yrityksille. Alle 800 MWh:n järjestelmistä ei myöskään tarvitse maksaa sähköveroa tai huoltovarmuusmaksuja. (Finsolar 2017.)

Akkuvarastojen hintojen laskua vauhdittaa sähköautoteollisuuden massatuotanto ja akkuteknologioiden kehittyminen. Litiumakkujen hinnat tippuivat 85 % vuoden 2010 tasosta vuoteen 2018. Litiumakkupaketin hinta oli vuonna 2010 1037 €/kWh ja vuonna 2018 enää 157 €/kWh. Hintojen laskusuhdanteen odotetaan jatkuvan niin, että vuonna 2024 litiumakkupaketti maksaa noin 84 €/kWh ja vuonna 2030 vain 55 €/kWh. (Goldie-Scot 2019.)

7 Energian varastoiminen vesivaraajaan

Sähkökemiallisen akun sijaan, aurinkosähköjärjestelmien energian ylituotanto voidaan varastoida myös lämminvesivaraajaan lämmitetyn veden muodossa. Sähkövastuksilla toimivan lämminvesivaraajan vettä voidaan lämmittää myös aurinkosähkön avulla. (Pykäläinen 2019.)

7.1 Laskukaavat

Lämpimän käyttöveden osuus veden kokonaiskulutuksesta ja sen lämmittämiseen vaadittava energia voidaan arvioida henkilömäärään perustuvan kulutuksen perusteella (kaava 7.1).

$$Q = \frac{\rho \times C_p \times V \times (t_2 - t_1)}{3600} \quad (7.1)$$

jossa

Q = veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)

ρ = veden tiheys (1 000 kg/m³)

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg °C)

V = vedenkulutus(m³)

t_2 = lämmitetyn veden lämpötila, tyypillisesti 55 °C

t_1 = lämmitettävän veden lämpötila, tyypillisesti 5...10 °C

3600 = yksikkömuunnoskerroin (kJ -> kWh).

Vedenkulutus on Suomessa noin 140 l/henkilö/vrk, josta lämpimän käyttöveden osuus on 50 - 60 l/henkilö/vrk. Asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuus

on 40 % ja muissa rakennuksissa 30 % veden kokonaiskulutuksesta. (Motiva 2019.).

7.2 Ylituotannon ohjaus käyttöveden lämmitykseen

Kahdessa opinnäytetyön kohteessa arvioitiin aurinkosähköjärjestelmien ylituotannon ohjaamista käyttöveden lämmitykseen sähkövastuksilla toimivalla varaajalla. Laskuja varten selvitettiin kohteiden käyttöveden lämmitykseen kuukausittain tarvittava energia (kaava 7.1). Se osuus kuukausittaisesta ylituotannosta mikä saatiin hyödynnettyä käyttöveden lämmityksessä, vähennettiin järjestelmän ylituotannon ja tarvittavan verkkosähkön osuudesta. Laskentatapa ei ota huomioon mm. varaajassa syntyviä lämpöhäviöitä.

8 Laitteet ja ohjelmat

8.1 Fronius Solar battery

Fronius Solar Battery on litium-rautafosfaattiakku (LiFePO₄), jolle luvataan pitää käyttöikä, lyhyitä latausaikoja ja korkeaa purkamisastetta. (Fronius.) Tämän opinnäytetyön kohteissa on käytössä Froniuksen Solar battery -akut, joiden tarkemmat ominaisuudet löytyvät liitteistä (kuva 35). Akkujen käytettävissä oleva kapasiteetti on 80 % nimelliskapasiteetista, joten esimerkiksi 4,5 kWh:n nimelliskapasiteetin omaavan Solar Battery 4.5: n käytettävissä oleva kapasiteetti on 3,6 kWh. Solar Battery- akkujen syklikestoisuus eli lataus- ja purkamissyklien määrä on 8000.



Kuva 3. Fronius Solar Battery 4.5 (Fronius).

8.2 Fronius Ohmpilot

Ohmpilot on säätölaite, joka mahdollistaa aurinkosähköjärjestelmän ylituotannon ohjaamisen portaattomasti 0-9 kilowatin säädöllä lämpökuormalle, esimerkiksi sähkövastuksilla toimivalle varaajalle. (Fronius.)

Tässä työssä Niittylahden Kummuntiellä on käytössä Ohmpilot ja Haikolan, sekä Jyväskylän kohteissa tutkitaan millaisia vaikutuksia Ohmpilotin lisäämisellä olisi omakäyttö- ja omavaraisuusasteeseen.



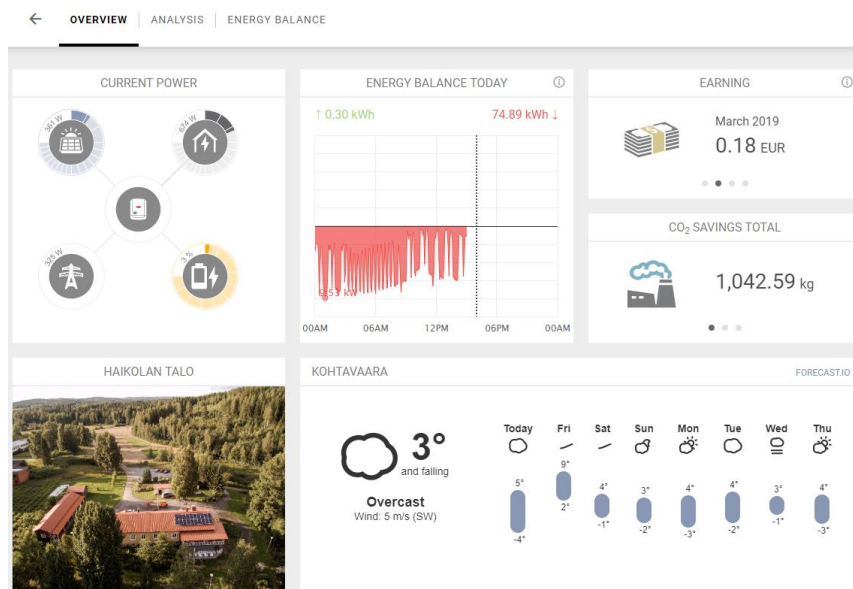
Kuva 4. Fronius Ohmpilot -tehosäädin (Fronius).

8.3 Solar.web

Solar.web on Froniuksen aurinkosähköjärjestelmän tuotannon monitorointiin, analysointiin, visualisointiin ja esitykseen tarkoitettu sovellus. Ohjelmaa voi käyt-

tää työpöytä-sovelluksena tietokoneella, sekä Fronius Solar.web app on saatavilla myös puhelimeen. (Fronius) Ohjelma seuraa järjestelmien tuotantoa ja kulu- tusta. Solar.web laskee myös järjestelmän tuotannon taloudellisen säästön ja väl- tetyt hiilidioksidipäästöt.

Tässä työssä hyödynnettiin Solar.webin tunti-, kuukausi- ja vuosikohtaisia tuo- tanto- ja kulutustietoja.



Kuva 5. Näkymä Solar.web-sovelluksesta (Fronius).

8.4 PV-Simulation

Hottgenroth Softwaren PV-simulation 3D-ohjelmisto on aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja mallintamiseen. Sen avulla voidaan tehdä nopeat laskelmat aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotannosta ja kannattavuudesta. Se ottaa huomioon varjostukset ja mahdollistaa akuston huomioon ottamisen simuloinneissa. (PV-simulation.)



Kuva 6. Näkymä PV-simulation -ohjelmasta (Hottgenroth).

9 Tutkimuksen toteutus

9.1 Tutkimuksen tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia sähkön varastoinnin vaikutuksia aurinkosähkön omakäyttöasteeseen toimeksiantajan valitsemissa kohteissa. Tutkimuksessa seurattiin kohteiden energiavirtoja ja tehtiin havaintojen pohjalta kehittämissuhteita asennettuihin järjestelmiin. Tarkasteltavia järjestelmiä oli neljä kappaletta. Kaksi yhdistyskohdetta ja kaksi yksityiskohdetta. Haikolan talon ja Höljäkän nuorisoseurantalon kohteet olivat lähes toisiaan vastaavat akulliset aurinkosähköjärjestelmät. Jyväskylän kohteessa on käytössä akullisen aurinkosähköjärjestelmän lisäksi sähköauto. Niittylahdessa aurinkosähköjärjestelmän ylituotantoa ohjataan Ohmpilot -tehosäätimen (kappale 8.2) avulla lämminvesivaraajalle.

Haasteena tutkimukselle oli järjestelmien uutuus, sillä niiden toiminnasta oli saatavilla maksimissaan yhden vuoden tuotantotiedot. Tutkimuksen kannalta olisi parempi, jos dataa olisi saatavilla useamman vuoden ajalta, jolloin mm. auringon säteilyvaihtelut huomioitaisiin paremmin.

Järjestelmien toteutuneiden tuotantojen tarkastelu oli vuosi- ja kuukausitietojen lisäksi järkevä tarkastella erikseen kesäkuukausilta, jolloin auringon säteilymäärät ovat suuremmat ja sen myötä järjestelmän sähköntuotanto. Marras-helmikuun aikana aurinko paistaa Suomeen matalalta, että säteilymäärät jäävät pieniksi.

9.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyöni on määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus ja siinä käytetään myös tapaustutkimuksen menetelmiä. Työssä hyödynnettiin vaihtosuuntaaja- ja akkuvalmistajan Froniuksen Solar.web -sovelluksesta saatavaa tuotanto- ja kulutusdataa, joista selvitettiin toteutuneet tuotannot. Yhdessä kohteessa arviointiin akkukapasiteetin kasvattamisesta saatavia hyötyjä simuloinneilla. Ylituotannon ohjaamista käyttöveden lämmitykseen arvioitiin laskelmilla. Opinnäytetyöhön sisältyi lukuisia tapaamisia ohjaajien ja toimeksiantajan kanssa.

Tietoperustaosio koostuu kirjallisista-, internet-, ja tutkimuslähteistä, kuten aurinkosähköoppaista ja sähkövarastoihin liittyvistä julkaisuista, teoksista, sekä laskentaohjeista.

9.3 Aiemmat tutkimukset

Aurinkosähköstä ja akkuteknologioista löytyy paljon aikaisempia tutkimuksia ja opinnäytetöitä. Aurinkosähkön varastointia on käsitelty mm. Markku Tahkokorven Aurinkoenergia Suomessa -teoksessa.

10 Tarkasteltavat järjestelmät

10.1 Haikolan talo

Haikolan talo on Nurmeksen Lipinlahdessa sijaitseva Nurmeksen evankelisen opiston ystävät ry:n kurssi-, kokous- ja juhlatila. Haikolan talolle asennettiin keuhällä 2017 LEADER-hankkeen investointina litiumioni-akustolla varustettu hybridi-aurinkosähköjärjestelmä tuottamaan sähköä talon tarpeisiin. Leader-rahoitus korvaa 60 % investoinnista. Järjestelmän asensi Solar Pro Oy ja se otettiin käyttöön 5.8.2017. Kohteen vuosikulutus oli vuonna 2016 noin 40 000 kWh ja järjestelmä mitoitettiin 2016 tuntikohtaisen sähkönkulutuksen perusteella. Aurinkosähköjärjestelmä koostuu 20 kpl IBC Solar 270 W monikidepaneeleita (teho 5,4 kWp), Fronius Symo Hybrid 5.0 -invertteristä ja sähkövarastona toimii Fronius Solar Battery 6.0. Aurinkopaneelien suuntaus on 5° etelästä itään ja kallistuskulma on 23°. Kohteessa on käytössä maalämpöpumppu, jonka vuosittainen tuotanto 41 600 kWh/v ja sähkönkulutus 13000 kWh/v. Maalämpöpumpun investointikustannus oli 32 000 euroa. (Energiaraitti.)

Vuoden 2018 tuotantoja- ja kulutustietojen lisäksi, kohteeseen laskettiin ylituotannon ohjaamisesta lämpimän käyttöveden lämmitykseen saatava hyöty oma-käyttö- ja omavaraisuusasteisiin (luvut 10.1.2 ja 10.1.3).

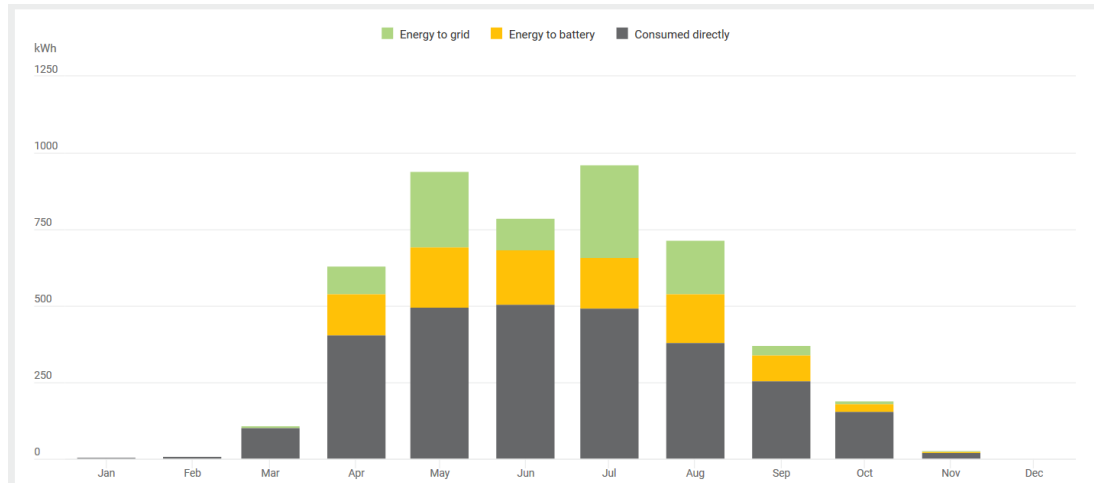


Kuva 7. Ilmakuva Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmästä (Solar.web).

10.1.1 Vuoden 2018 tuotanto ja kulutus

Taulukko 2. Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmän tuotanto 2018.

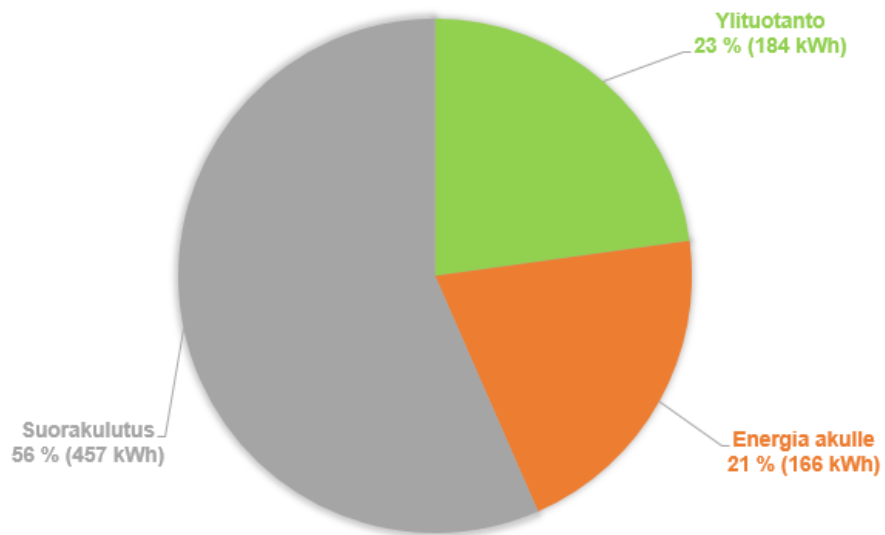
Haikolan talon sähköntuotanto 2018	
Energia verkkoon	970,4 kWh
Energia akulle	946,5 kWh
Suorakulutus	2843,0 kWh
Kokonaistuotanto	4760,9 kWh
Omakäyttöaste	80 %



Kuvio 1. Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto 2018 (Solar.web).

Kuviosta 1 nähdään vuoden 2018 toteutunut sähköntuotanto. Vihreällä merkitty verkkoon myydyin energian määrä, keltaisella akustoon varastoitu energia ja harmaalla kohteessa suoraan käytetty energia.

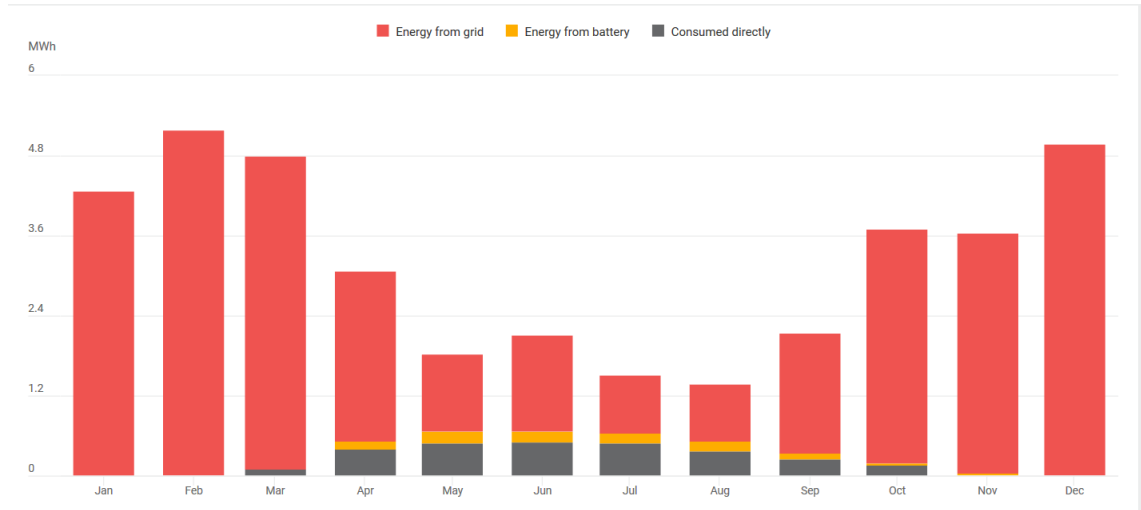
Kuukausittainen keskimääräinen aurinkosähköntuotanto huhti-elokuun ajalta oli 808 kWh, josta suorakulutus 457 kWh:a, energia akulle 167 kWh:a ja verkkosähkön osuus 184 kWh (kuvio 2). Tuotettu aurinkosähkö saadaan hyödynnettyä pääosin suoraan kohteessa ja omakäyttöaste ajalta oli 78 %. Parhaimmillaan omakäyttöaste oli kesäkuussa 87 %, jolloin päästiin 32 % omavaraisuusasteeseen aurinkosähköllä. Verkkoon myytävän sähkön osuus oli suurimmillaan 304 kWh:a heinäkuussa. Akulle varastoitu energia vaihtelee 130 kilowattitunnista 197 kilowattituntiin ja akulle varastoidaan 21 % tuotetusta aurinkosähköstä.



Kuvio 2. Haikolan talon aurinkosähköjärjestelmän vuoden 2018 huhti-elokuun tuotanto (Solar.web).

Taulukko 3. Haikolan talon sähkönkulutus 2018 (Solar.web).

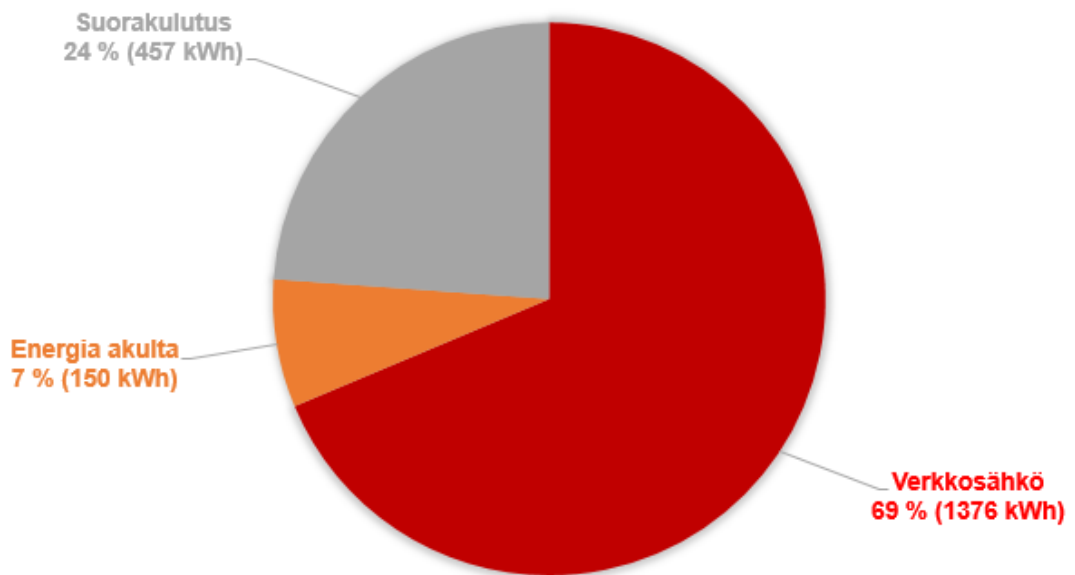
Haikolan talon sähkönkulutus 2018	
Energia verkosta	34 910 kWh
Energia akulta	890 kWh
Suorakulutus (aurinkosähkö)	2 850 kWh
Kokonaiskulutus	38 650 kWh
Omavaraisuusaste	10 %



Kuvio 3. Haikolan talon sähkönkulutus 2018 (Solar.web).

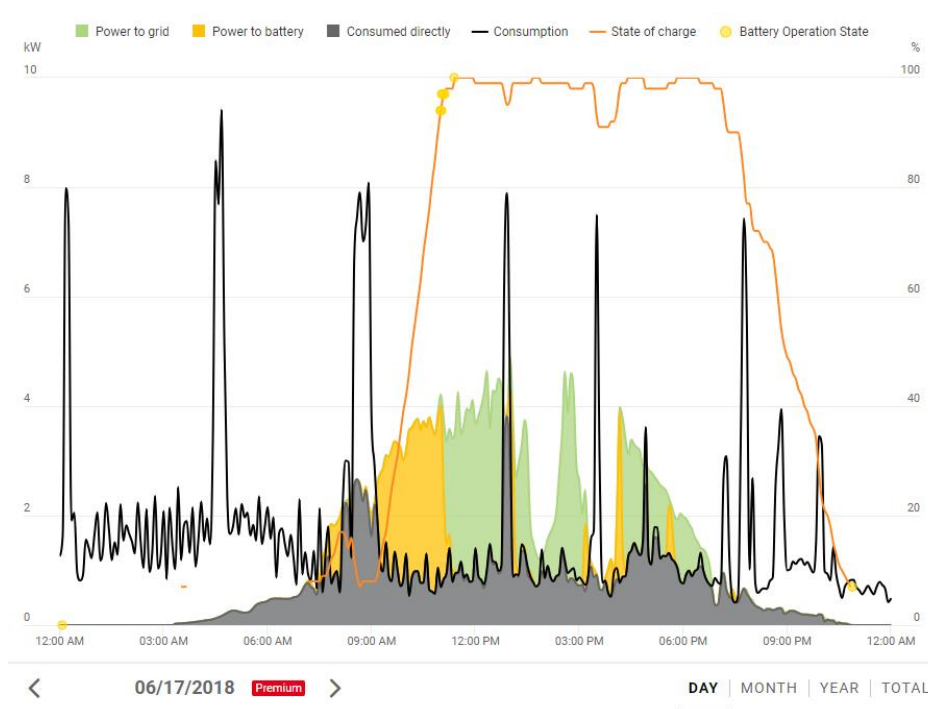
Kuviosta 3 nähdään vuoden 2018 sähkönkulutus kokonaisuudessaan. Punaisella merkattu ostetun verkkosähkön määrä, keltaisella akulta saatu energia ja harmaa tarkoittaa tuotetun aurinkosähkön suoraa kulutusta. Aurinkosähkön tuotantoa ei ole juuri lainkaan marraskuusta maaliskuuhun, joten omavaraisuusaste jää pieneksi.

Haikolan talon keskimääräinen sähkönkulutus oli vuonna 2018 huhti-elokuussa 1 984 kWh, josta verkkosähkön osuus oli 1 376 kWh, akulta purettua energiaa 150 kWh ja kohteessa suoraan kulutettua aurinkosähköä 457 kWh (kuvio 4). Omavaraisuusaste tänä aikana oli 33 %, ja parhaimmillaan se oli 42 % heinäkuussa. Järjestelmän sähköntuotannolla korvataan siis tänä aikana keskimäärin 608 kWh:a verkkosähköä, joka on sähkön hinnan ollessa 11 senttiä kilowattitunnille noin 67 euron säästö/kuukausi.

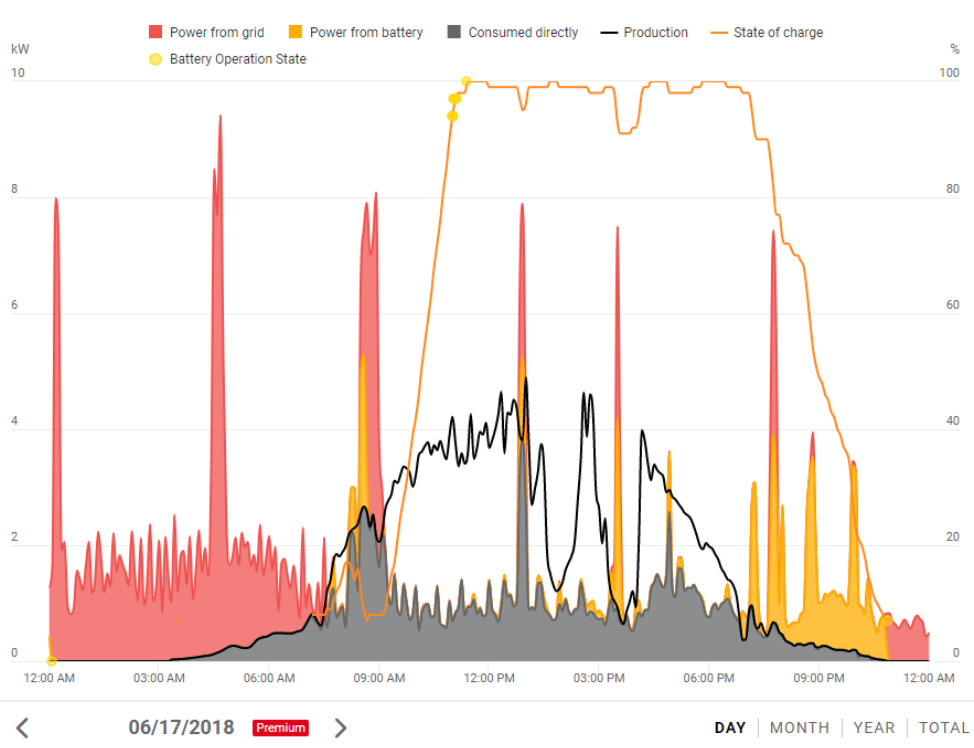


Kuvio 4. Haikolan talon vuoden 2018 huhti-elokuun sähkönkulutus (Solar.web).

Kuvio 5 näyttää kesäkuun 17. päivän tuotantoprofiilin. Mustalla merkatut kulutuspiikit johtuvat maalämpöpumpun sähkönkulutuksesta. Akku latautuu täyteen klo 11:23 ja siirtyy energiansäästötilaan klo 22:53.

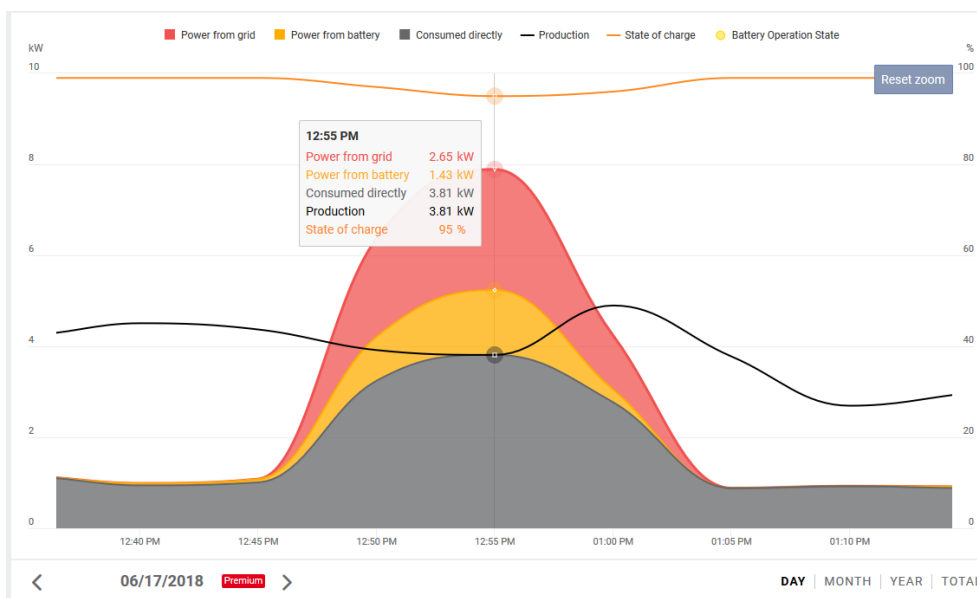


Kuvio 5. Haikolan aurinkosähköjärjestelmän tuotanto 17.6.2018 (Solar.web).



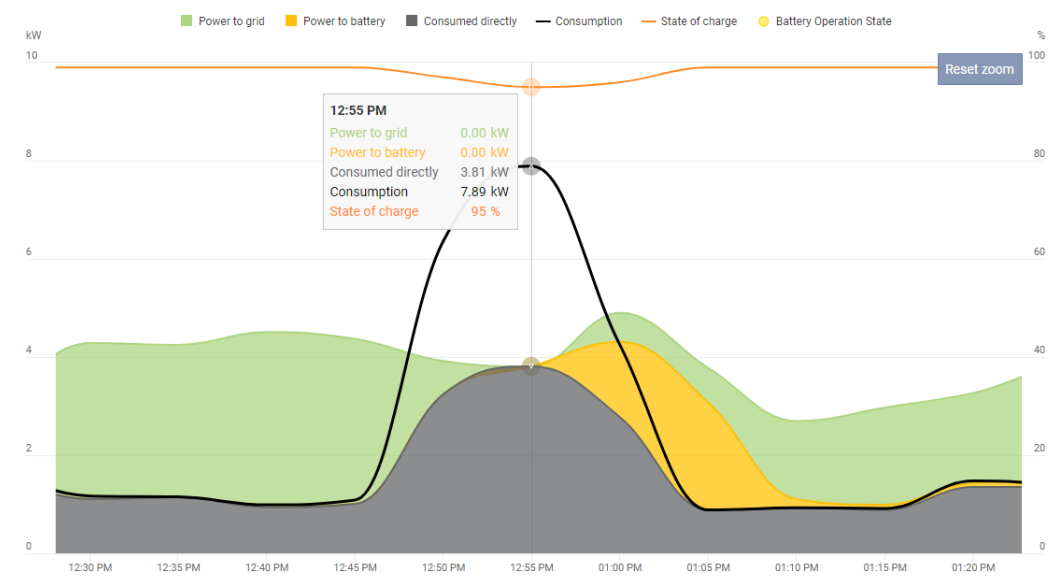
Kuvio 6. Haikolan järjestelmän kulutusprofiili 17.6.2018 (Solar.web).

Kuvio 6. näyttää kesäkuun 17. päivän päiväkohtaisen kulutuksen. Akkuun varastoidulla energialla saadaan katettua klo 9-22 välillä iso osa maalämpöpumpun sähkönkulutuspiikeistä. Aurinkosähköntuotannon laskiessa illalla, klo 20-22:45 suurin osa käytetystä energiasta tulee akulta. Akku siirtyy energiansäästötilaan 22:55, jolloin sähköä ostetaan verkosta.



Kuvio 7. Maalämpöpumpun aiheuttama kulutuspiikki (Solar.web).

Kuviossa 7 lämmitetään käyttövettä klo 12.45–13.00, mistä aiheutuu kulutuspiikki. Klo 12.55 kokonaiskulutus on 7,9 kilowattia, josta katetaan aurinkosähköllä 5,24 kilowattia (akulta 1,43 kW ja paneeleilta 3,81 kW). Vaikka akku on ladattu täyteen, ei siitä saada purettua kuin 1,43 kilowatin edestä energiaa, vaikka akun koko on 6 kilowattituntia. Tämä johtuu invertterin maksimitehosta, joka on 5 kW eli aurinkosähköjärjestelmältä ja akulta tuleva teho ei voi ylittää invertterin maksimitehoa teho. Ennen kulutuspiikkiä ylituotantoa on reilusti (klo 12.40 verkkoon menee 3,56 kW), joten tässä olisi mahdollista esimerkiksi Ohmpilotin avulla, varastoida ylituotantoa lämpimään käyttöveteen, jolloin saataisiin vähennettyä verkkosähkön osuutta.



Kuvio 8. Kulutuspiikki järjestelmän tuotannon näkökulmasta (Solar.web).

10.1.2 Haikolan talon lämpimän käyttöveden kulutus

Haikolan talon käyttöveden lämmitykseen tarvittava energiamäärä arvoitiin Motivan henkilömäärään perustuvan laskentatavan perusteella (kaava 7.1) ja lähtötiedot ovat nähtävillä taulukossa 4. Kuukausittain käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on nähtävillä taulukossa 5.

Taulukko 4. Lähtötiedot.

Henkilömäärä	3	
Keskimääräinen lämpimän käyttöveden kulutus	50	l/vrk
Lämpimän käyttöveden tarve (l/vrk)	150	l/vrk
Lämpimän käyttöveden tarve (m ³ /vrk)	0,15	m ³ /vrk
Lämpimän käyttöveden lämpötila	55	°C
Kylmän käyttöveden lämpötila	5	°C

Taulukko 5. Lämpimän käyttöveden kuukausittainen energiantarve.

	Päivät/kk	Lkv:n energian tarve
	d	kWh/kk
Tammikuu	31	271
Helmikuu	28	245
Maaliskuu	31	271
Huhtikuu	30	263
Toukokuu	31	271
Kesäkuu	30	263
Heinäkuu	31	271
Elokuu	31	271
Syyskuu	30	263
Lokakuu	31	271
Marraskuu	30	263
Joulukuu	31	271
Yhteensä	365,0	3193,75

10.1.3 Arvio ylituotannon ohjauksesta käyttöveden lämmitykseen

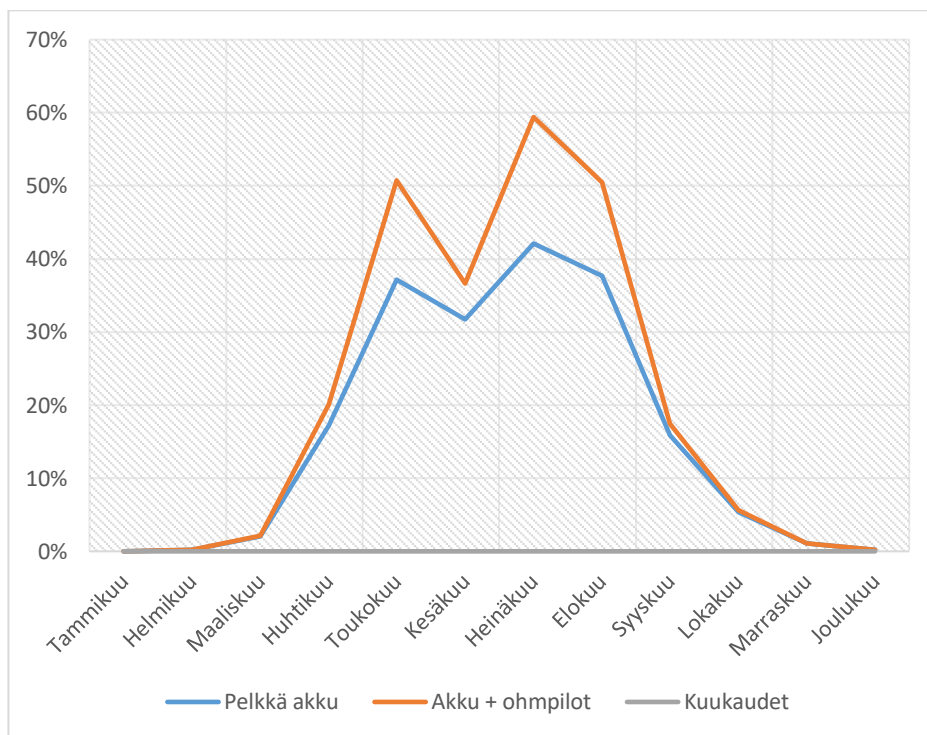
Toimeksiantajalla oli kiinnostusta selvittää aurinkosähkön ylituotannon ohjauksesta käyttöveden lämmitykseen saatava hyöty omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin. Taulukossa 6. näkyy Haikolan talon aurinkosähkölaitteiston vuoden 2018 kuukausittaiset ylituotannot. Ylituotantoa voidaan ohjata käyttöveden lämmitykseen esimerkiksi Fronius Ohmpilot -tehosäätimen avulla, joka pienentäisi veden lämmittämiseen tarvittavaa verkkosähkön määrää (kuva 10). Fronius Ohmpilot on asennuksineen noin 1400 euron investointi. (Pykäläinen 2019.)

Taulukko 6. Haikolan talon aurinkosähkölaitteiston ylituotannot 2018.

	Ylituotanto
	kWh/kk
Tammikuu	0,1
Helmikuu	0
Maaliskuu	4,6
Huhtikuu	89,5
Toukokuu	248,3
Kesäkuu	103,2
Heinäkuu	304,3
Elokuu	176,8
Syyskuu	33,1
Lokakuu	9,5
Marraskuu	0
Joulukuu	0
Yhteensä	969,4

Ohmpilotista saatava hyöty laskettiin vähentämällä se ylituotannon osuus (taulukko 6), joka voidaan ohjata kuukausittain käyttöveden lämmitykseen (taulukko 5), verkkosähkön osuudesta (liite 1). Laskuissa ei huomioida lämminvesivaraajan lämpöhäviöitä, joten käytännössä varastoitu energia ei ole yhtä suuri kuin laskennallinen. Laskut löytyvät liitteistä (kuva 15).

Kuviosta 9 nähdään Ohmpilotin lisäyksen vaikutukset omavaraisuusasteeseen, jos kaikki ylituotanto voitaisiin hyödyntää käyttöveden lämmittämiseen. Omavaraisuusaste olisi parhaimmillaan heinäkuussa, jolloin se nousisi 42 %:sta -> 59 %:iin. Omakäyttöaste koko vuodelle olisi Ohmpilotin kanssa lähellä 100%, sillä ylituotanto ylittää käyttöveden lämmittämisen energian tarpeen vain heinäkuussa ja silloin verkkoon syötetään vain 33 kWh.



Kuvio 9. Arvio Ohmpilotin lisäyksen vaikutuksista Haikolan talon omavaraisuusasteeseen.

10.2 Höljäkän nuorisoseurantalo

Höljäkän nuorisoseurantalon akullinen aurinkosähköjärjestelmä on lähes Haikolan hybridijärjestelmää vastaava. Järjestelmä sai Leader-rahoituksen, joka on noin 60 % investoinnista. Asennuksesta vastasi Joensuun Telemaailma Oy/Solarworks. Järjestelmä mitoitettiin vuoden 2016 sähkönkulutuksen (24820 kWh) perusteella ja se otettiin käyttöön 10.6.2018. Asennettu paneeliteho on 4,5 kW_p ja aurinkopaneelit ovat Longi LR6-60PE 300M. Invertterinä toimii Fronius Symo Hybrid 4.0-3-S ja sähkövarasto Fronius Solar Battery 4.5. Investointikustannus oli 14 900 €, josta jäi Leader-rahoituksen jälkeen maksettavaksi 8940€.

Kohteen tuotanto- ja kulutustietoja tarkasteltiin vuoden 2018 kesä-joulukuun ajalta. Kohteen veden kulutus varsinkin kesällä on vähästä, joten ylituotannon hyödyntäminen käyttöveden lämmitykseen ei ole mahdollista. Höljäkän nuorisoseurantalolla on ollut kiinnostusta akkukapasiteetin kasvattamiseen ja erikokoisten akkujen vaikutusta omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin testataan simuloinneilla luvuissa 10.2.2 ja 10.2.3.

Akkukapasiteetin lisäämisellä varastoitua energiaa saadaan hyödynnettyä enemmän illan ja yön aikana. (Pykäläinen 2019.)

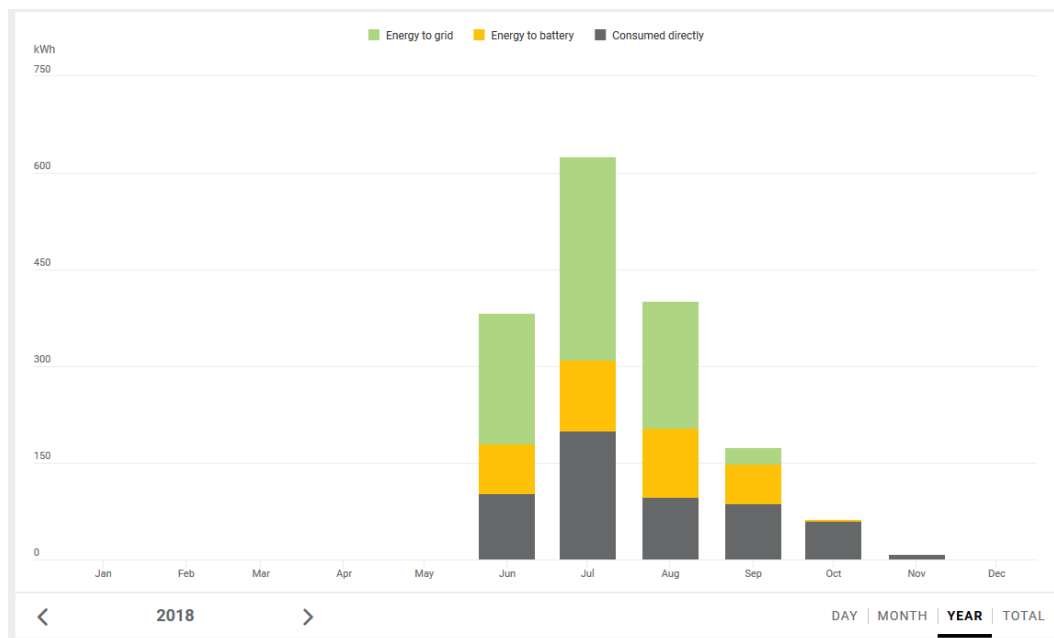


Kuva 8. Höljäkän nuorisoseurantalon aurinkopaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).

10.2.1 Vuoden 2018 toteutunut tuotanto ja kulutus

Taulukko 7. Höljäkan järjestelmän sähköntuotanto 2018 (kesä-joulukuu) (Solar.web).

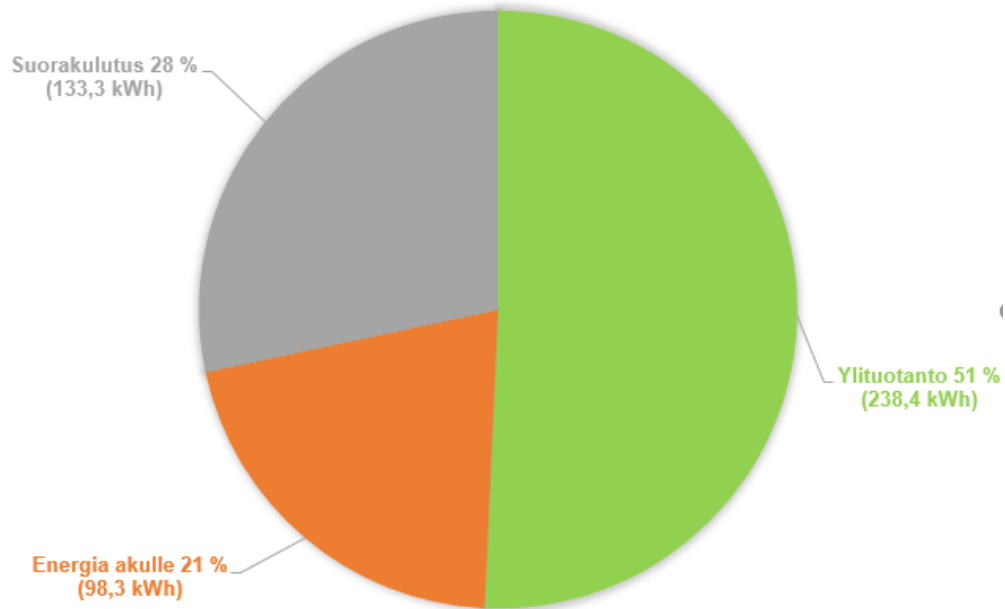
Höljäkan nuorisoseuran- talon sähköntuotanto kesä-joulukuu 2018	
Energia verkkoon	741,2 kWh
Energia akulle	359,2 kWh
Suorakulutus	555,6 kWh
Kokonaistuotanto	1655,9 kWh
Omakäyttöaste	55 %



Kuvio 10. Höljäkan aurinkosähköjärjestelmän tuotanto kesä-joulukuu 2018 (Solar.web).

Kuviosta 10 nähdään vihreällä verkkoon myytävän energian osuus, keltaisella akulle menevä energia ja harmaalla suoraan kohteessa käytetty aurinkosähkön osuus.

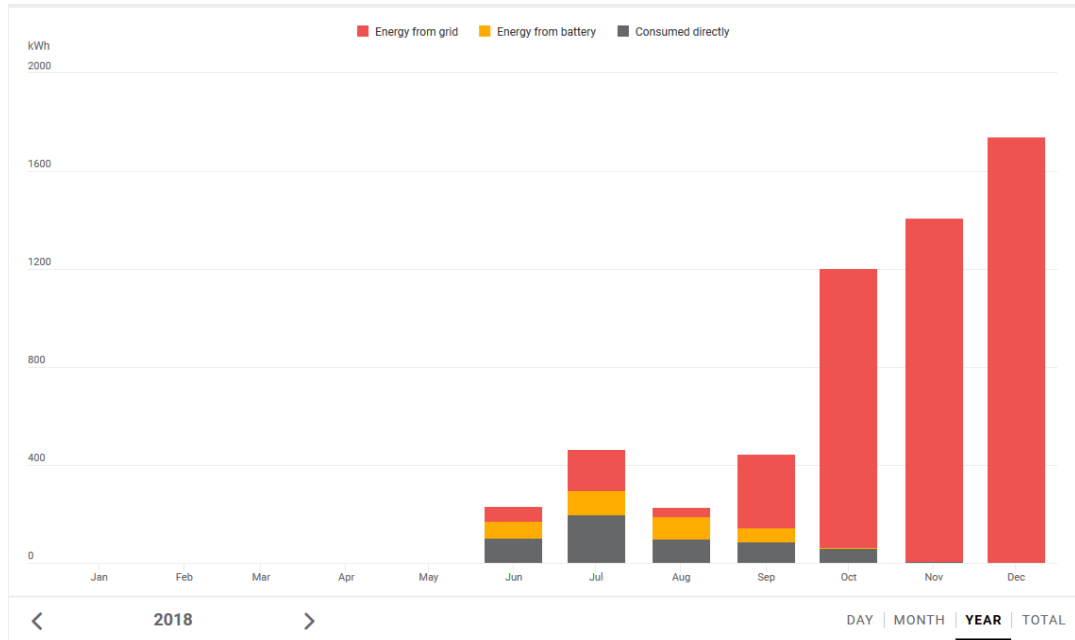
Keskimääräinen kuukausittainen aurinkosähköntuotanto kesä-elokuun ajalta oli 470 kWh, josta suorakulutus kohteessa oli 133 kWh, energia akulle 98 kWh ja verkkoon myydyn sähkön osuus 238 kWh (kuvio 11). Omakäyttöaste tälle ajanjaksolle oli 49 %. Ylituotanto on suurimmillaan heinäkuussa 314 kWh/kk.



Kuvio 11. Höljäkän nuorisoseurantalon aurinkosähköjärjestelmän kesä-elokuun keskimääräinen tuotanto.

Taulukko 8. Höljäkän sähkönkulutus kesä-joulukuu 2018 (Solar.web)

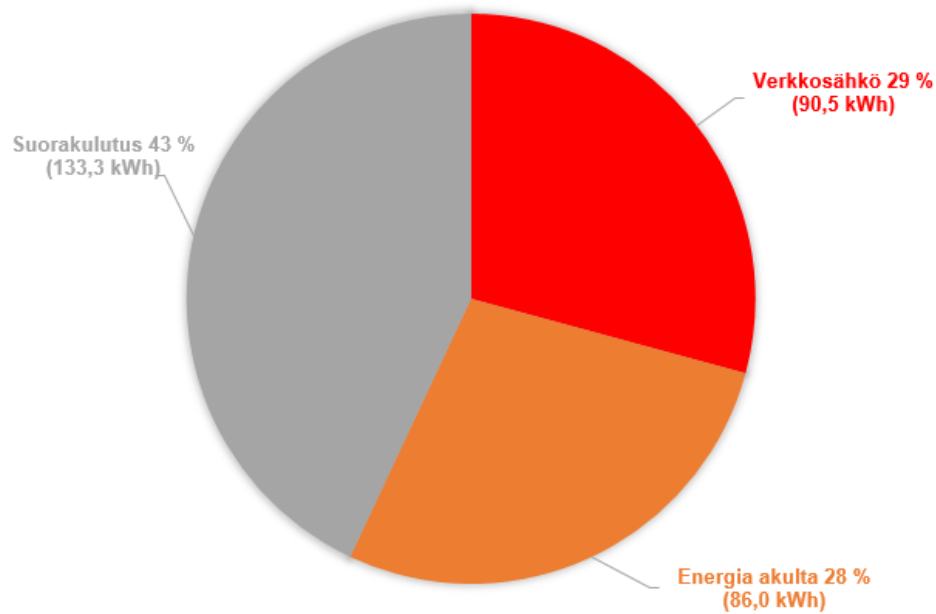
Höljäkän sähkönkulutus kesä-joulukuu 2018	
Energia verkkoon	4 850 kWh
Energia akulle	320 kWh
Suorakulutus	560 kWh
Omavaraisuusaste	15 %



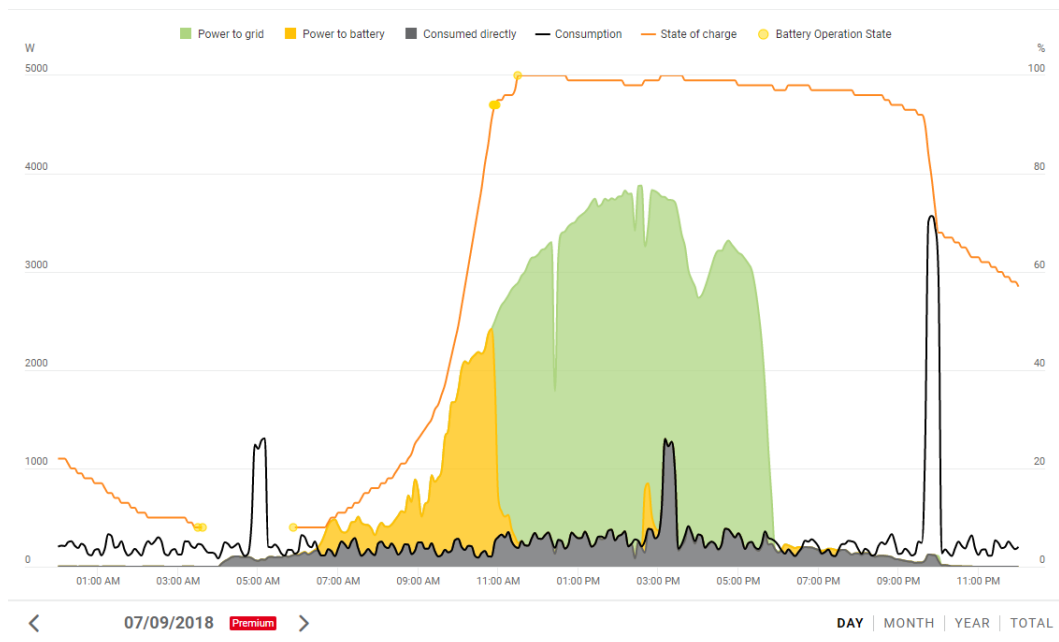
Kuvio 12. Höljäkän nuorisoseurantalalon sähkönkulutus 2018 (Solar.web).

Kuviosta 12 nähdään vuoden 2018 sähkönkulutus. Punaisella merkattu ostetun verkkosähkön määrä, keltaisella akulta saatu energia ja harmaa tarkoittaa tuotetun aurinkosähkön suoraa kulutusta.

Höljäkän nuorisoseurantalalon keskimääräinen sähkönkulutus kuukautta kohden oli vuoden 2018 kesä-elokuussa 310 kWh:a, josta verkkosähkön osuus oli 90 kWh:a, akulta purettua sähköä 86 kWh:a ja suoraan kohteessa kului 133 kWh (kuvio 13). Omavaraisuusaste tänä aikana oli 73%. Akulta puretun energian osuus tänä aikana on 28 % kokonaiskulutuksesta.

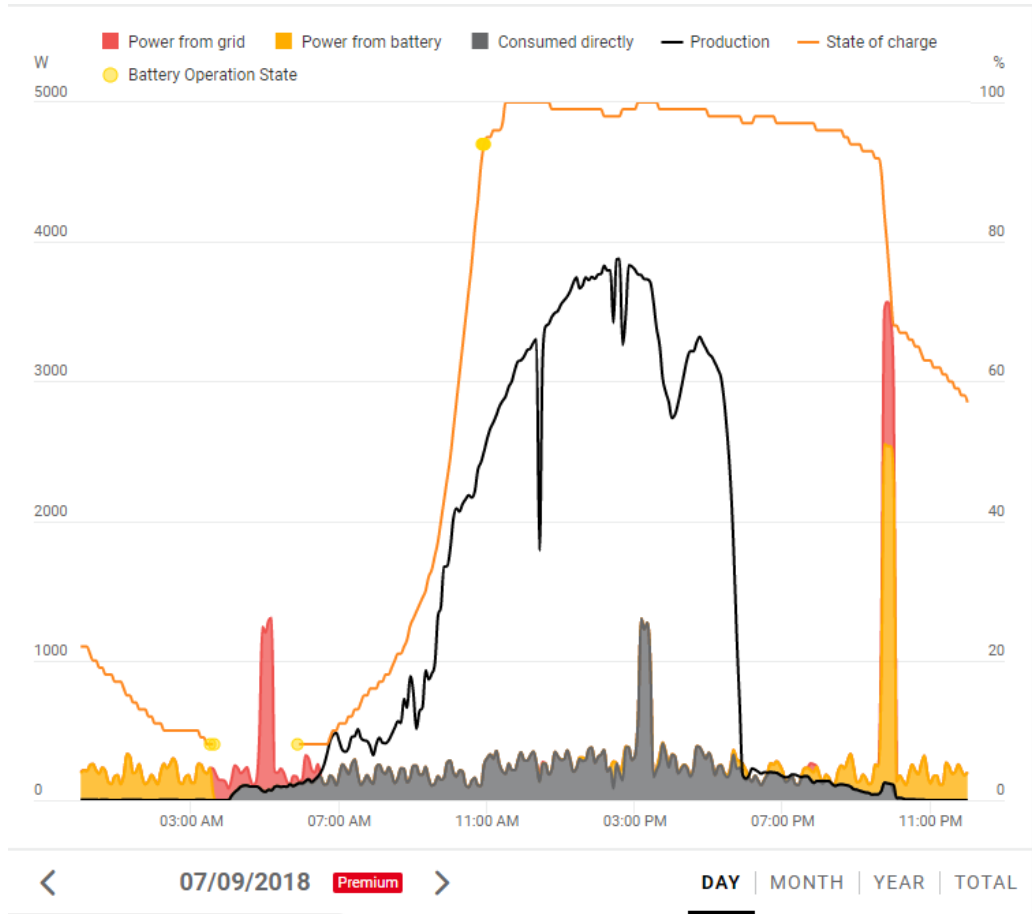


Kuvio 13. Höljäkän nuorisoseurantalalon aurinkosähköjärjestelmän kesä-elo-kuun 2018 sähkönkulutus.



Kuvio 14. Höljäkän aurinkosähköjärjestelmän 7.9.2018 tuntikohtainen tuotanto (Solar.web).

Kuviosta 14 nähdään, kuinka paljon aurinkoisena päivänä syntyy ylituotantoa kulutukseen nähden ja kuvassa 14 näkyy kulutusprofiili samana päivänä.



Kuvio 15. Höljäkän kohteen tuntikohtainen kulutus 7.9.2018 (Solar.web).

Kuviosta 15 nähdään miten kulutuspiikki ajankohtana 9.30 - 10.05 saadaan katettua pääosin akkuun varastoidulla energialla.

10.2.2 Simuloinnin lähtötiedot

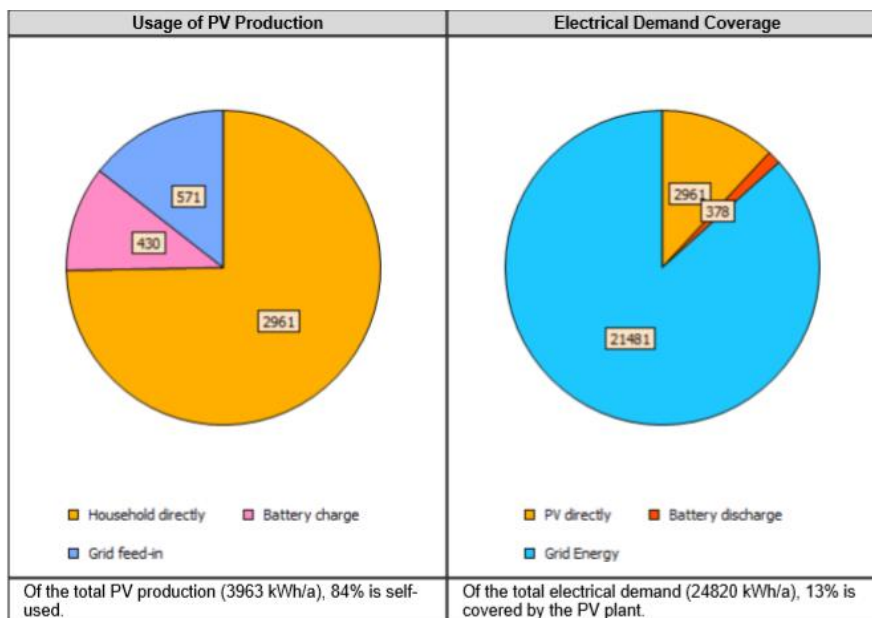
Höljäkän nuorisotalon aurinkosähköjärjestelmä on ollut toiminnassa vasta kesäkuusta 2018 lähtien. Järjestelmän mitoitus on tehty vuoden 2016 sähkönkulutustietoihin perusteella (24 820 kWh/a), joten simuloinnit tehdään myös vertailun vuoksi samoilla tiedoilla.

Järjestelmän tuotantoa simuloitiin PV-simulationilla, jossa etsittiin nykyistä järjestelmää vastaavat komponentit. Komponentit ja lähtötiedot löytyvät liitteistä (kuvat

18-19). Simuloinnissa käytettiin Nurmeksen auringonsäteilytietoja (kuva 18) ja vuoden 2016 tuntikohtaisia sähkönkulutustietoja. Simuloidessa akun kokoa järjestelmän tiedot pidettiin akun kapasiteettia lukuun ottamatta samana. Akun koon kasvattamisella tavoiteltiin tuoton siirtoa pidemmälle seuraavaan päivään.

10.2.3 Arvio akkukapasiteetin kasvattamisen vaikutuksista

Simuloimalla kohteen aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa ja akkukapasiteetin kasvattamista haluttiin selvittää muutokset omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin. Simuloinnit aloitettiin syöttämällä PV-simulation -ohjelmaan mahdollisimman Höljääkään asennettua aurinkosähköjärjestelmää vastaavat komponentit. Esimerkiksi Longi aurinkopaneeleita PV-simulationista ei löytynyt, joten käytettiin vastaavia Properous Technology Co.: n 300 watin paneeleita. Vuotuinen sähkönkulutus oli 24820 kWh/a, josta 13% saadaan katettua aurinkosähköjärjestelmän tuotannolla. Tuotetusta aurinkosähköstä 84% saadaan käytettyä suoraan kohteessa (kuva 9).



Kuva 9. Simuloinnin tulokset 4,5 kWh akulla (PV-simulation).

Seuraavaksi lähdettiin vaihtamaan akun kokoa, pitäen muut järjestelmän komponentit samana. Taulukossa 9 voidaan nähdä akun koon kasvattamisen vaikutukset vuotuisen omakäyttö- ja omavaraisuusasteeseen. Liitteistä löytyvät 4,5 kWh ja 6 kWh akuilla simuloitujen järjestelmien vuosituotannot (kuvat 20 ja 21).

Taulukko 9. Simuloinnin tulokset eri akku vaihtoehdoilla (PV-simulation).

Akun koko	4,5 kWh	6 kWh	9 kWh	12 kWh
Omakäyttöaste	84 %	87 %	90 %	93 %
Omavaraisuusaste	13 %	14 %	14 %	15 %

Simuloinnin tulokset kuukausittain erikokoisilla akuilla:

Specific values

Identifier	output / a	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Own-Consumption	84,3	%	100,0	100,0	99,9	96,7	74,2	76,0	71,4	74,8	91,4	100,0	100,0	100,0
Self-Sufficiency	13,5	%	1,1	7,2	14,6	31,0	47,2	52,5	48,8	52,5	29,4	8,1	1,5	0,7

4,5 kWh:n akku

Specific values

Identifier	output / a	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Own-Consumption	86,6	%	100,0	100,0	99,9	97,6	77,8	79,2	74,8	78,8	93,6	100,0	100,0	100,0
Self-Sufficiency	13,8	%	1,1	7,2	14,6	31,3	49,5	54,7	51,1	55,3	30,1	8,1	1,5	0,7

6 kWh:n akku

Specific values

Identifier	output / a	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Own-Consumption	90,4	%	100,0	100,0	99,9	98,3	84,4	84,5	81,3	85,0	96,4	100,0	100,0	100,0
Self-Sufficiency	14,4	%	1,1	7,2	14,6	31,5	53,7	58,4	55,6	59,7	31,0	8,1	1,5	0,7

9 kWh:n akku

Specific values

Identifier	output / a	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Own-Consumption	93,0	%	100,0	100,0	99,9	98,7	88,9	88,5	86,2	89,2	97,2	100,0	100,0	100,0
Self-Sufficiency	14,8	%	1,1	7,2	14,6	31,6	56,5	61,2	58,9	62,6	31,3	8,1	1,5	0,7

12 kWh:n akku

Parhaat tulokset saadaan odotetusti suurimmalla 12 kWh:n akulla, sillä suurempaan akkuun saadaan varastoitua suurempi määrä sähköä ylituotannon aikaan. Huhti-elokuun ajan omakäyttöaste paranee huomattavasti verraten nykyiseen 4,5 kWh:n akulla varustettuun järjestelmään. 12 kWh olisi 9,5 kWh lisäys nykyiseen 4,5 kWh akkupakettiin ja hinta olisi yli 10 000 euron investointi asennuksineen, siitä saatava hyöty 9 % vuodessa omakäyttöasteeseen ja 2 % omavaraisuusasteeseen. Takaisinmaksuaika jäisi väistämättä pitkäksi.

10.3 Jyväskylä Huvilatie

Jyväskylässä Huvilatiellä sijaitsevassa kohteessa on käytössä akullisen aurinkosähköjärjestelmän lisäksi sähköauto. Järjestelmä otettiin käyttöön 7.4.2018 ja asennuksesta vastasi Solarworks Oy. Paneeliteho on yhteensä 16,9 kWp, josta 9kWp on länsilappeella ja 7,9 kWp itälappen puolella. Lännen puolella on käytössä Fronius Symo Hybrid 5.0-3-S invertteri ja itälappeella 8.2-3-M- invertteri. Sähkövarastona toimii Fronius Solar Battery 12.0, jonka nimelliskapasiteetti on 12 kWh. Itälappen aurinkopaneelit hyödyntävät aamupäivän auringonpaisteen ja länsilappen hybridi-invertteri hyödyntää illalla länteen laskevan auringon säteilyä, sekä ohjaa ylituotantoa akulle myöhempää käyttöä varten.

Kohteen tuotanto- ja kulutustietoja seurattiin vuoden 2018 huhti-joulukuulta. Kohteeseen laskettiin myös ylituotannon ohjaamisesta käyttöveden lämmitykseen saatava hyöty omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin (luvut 10.3.2 ja 10.3.3).



Kuva 10. Itäpuolen aurinkopaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen)



Kuva 11. Länsipuolen aurinkopaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).

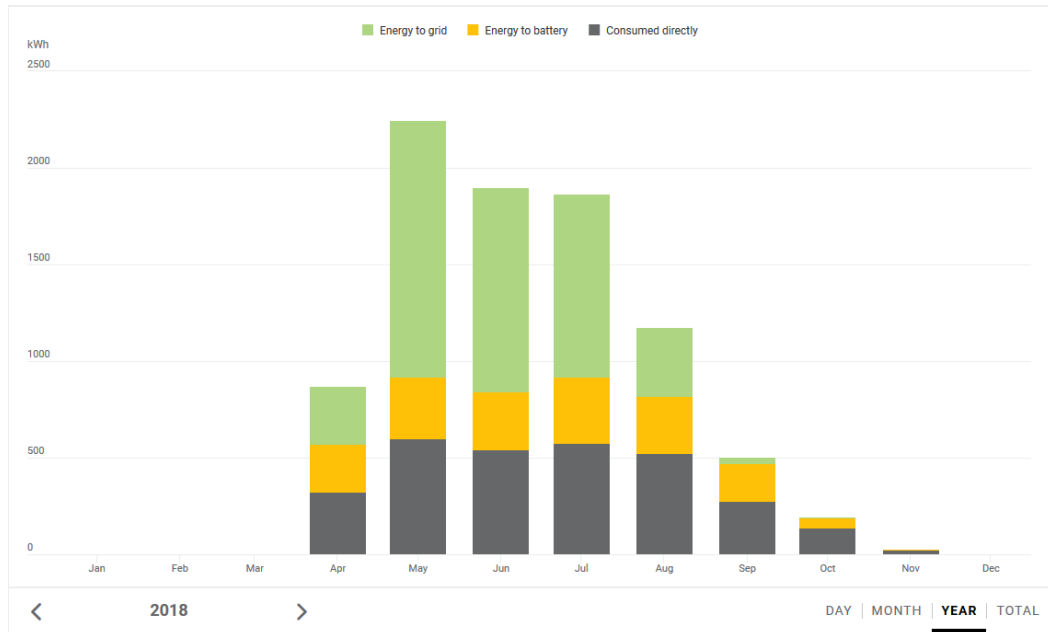


Kuva 12. Invertterit ja akusto (Kuva: Samuli Pykäläinen).

10.3.1 Toteutunut tuotanto ja kulutus huhti-joulukuu 2018

Taulukko 10. Jyväskylän kohteen sähköntuotanto 2018 (Solar.web).

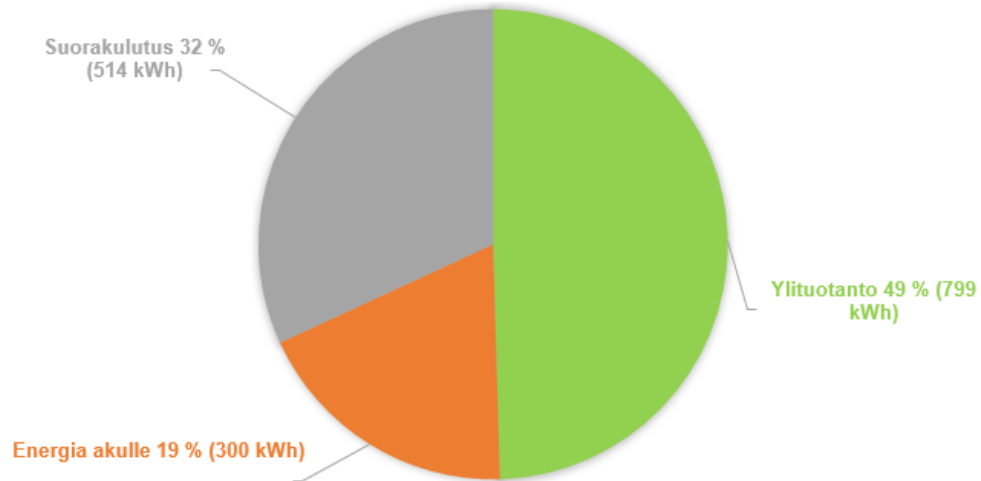
Jyväskylän sähköntuotanto huhti-joulukuu 2018	
Energia verkkoon	4 003 kWh
Energia akulle	1 750 kWh
Suorakulutus	3 001 kWh
Kokonaistuotanto	8 790 kWh
Omakäyttöaste	54 %



Kuvio 16. Jyväskylän kohteen aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto vuonna 2018 (Solar.web).

Kuviosta 16 nähdään vihreällä verkkoon myytävän energian osuus, keltaisella akulle menevä energia ja harmaalla suoraan kohteessa käytetty energia.

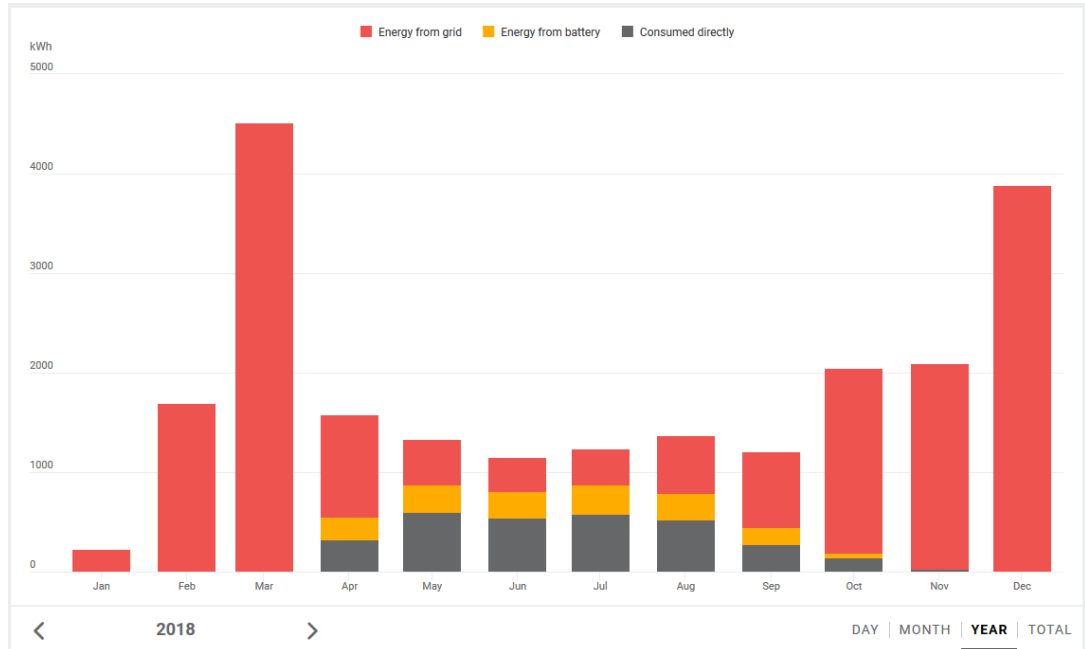
Keskimääräinen kuukausittainen aurinkosähkön tuotanto huhti-elokuun ajalta oli 1613 kWh:a, josta käytettiin 514 kWh:a suoraan kohteessa, akkuun varastoitiin 300 kWh:a ja verkkoon myydyin sähkön osuus oli 799 kWh (kuvio 17). Omakäyttöaste tänä aikana oli 54 %.



Kuvio 17. Jyväskylän Huvilatien aurinkosähköjärjestelmän tuotanto huhti-elokuu (Solar.web).

Taulukko 11. Jyväskylän kohteen sähkönkulutustiedot 2018 (Solar.web).

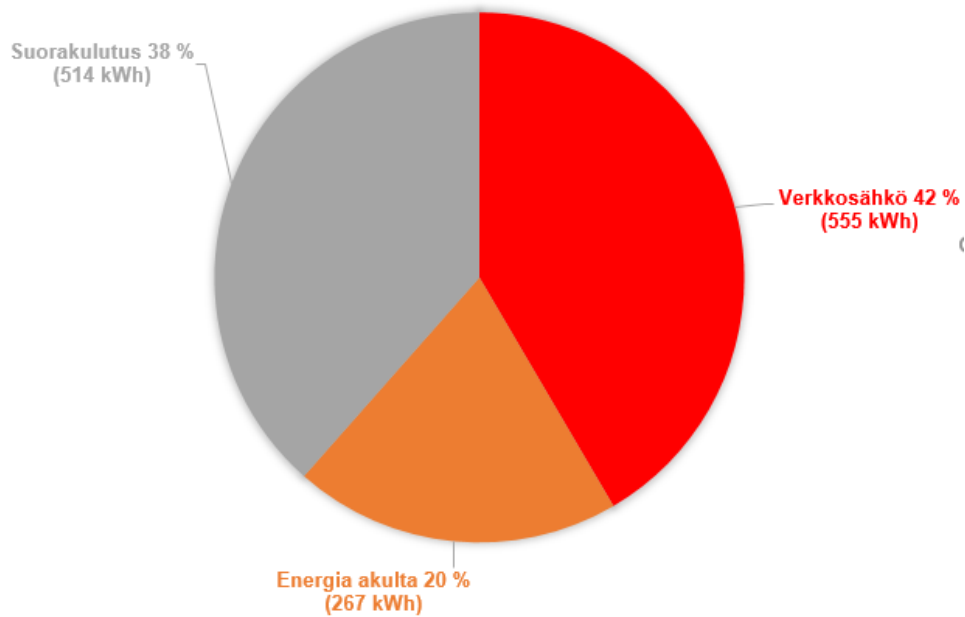
Jyväskylän sähkönkulutus huhti-joulukuu 2018	
Energia verkosta	17 770 kWh
Energia akulta	1 570 kWh
Suorakulutus	3 001 kWh
Kokonaiskulutus	22 350 kWh
Omavaraisuusaste	20 %



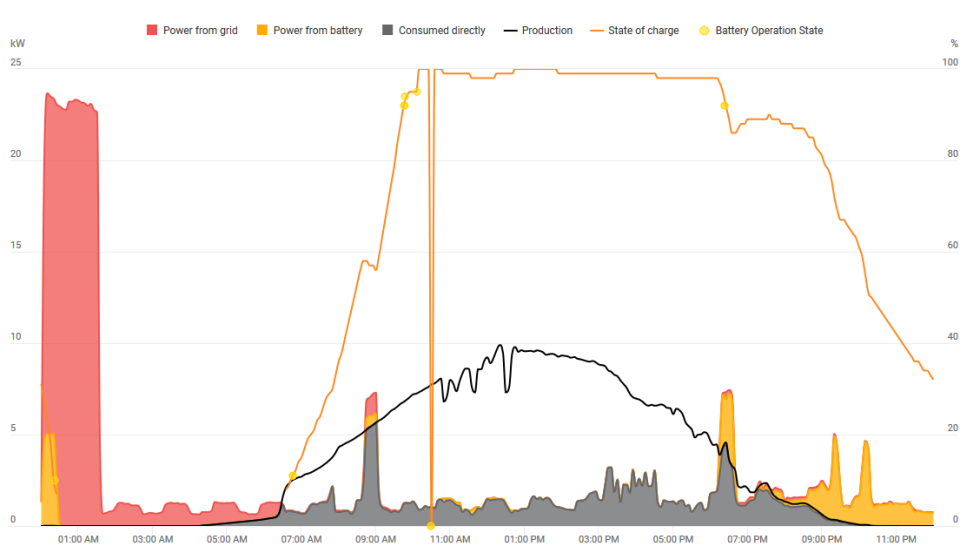
Kuvio 18. Jyväskylän Huvilatien sähkönkulutus 2018 (Solar.web).

Kuviosta 18 nähdään vuoden 2018 sähkönkulutus. Punaisella merkattu ostetun verkkosähkön määrä, keltaisella akulta saatu energia ja harmaa tarkoittaa suora-kulutusta. Kesäaikaan saadaan katettua suurin osa sähkönkulutuksesta aurin-kosähköllä.

Jyväskylän kohteen keskimääräinen sähkönkulutus kuukautta kohden oli vuoden 2018 huhti-elokuussa 1336 kWh:a, josta verkkosähkön osuus oli 555 kWh:a, akulta purettua sähköä 267 kWh:a ja tuotetusta sähköstä suoraan kohteessa ku-lui 514 kWh (kuvio 19). Omavaraisuusaste tänä aikana oli 60%. Akulta puretun energian osuus tänä aikana on 20% kokonaiskulutuksesta.



Kuvio 19. Jyväskylän kohteen huhti-elokuun sähkönkulutus.



Kuvio 20. Jyväskylän kohteen sähkönkulutus 22.5.2018 (Solar.web).

Kuviosta 20 nähdään toukokuun 22. päivän tuotanto, jossa vasemmalle oleva iso kulutuspiikki johtuu sähköauton lataamisesta. Sähköautoa ladataan 75 minuuttia noin 20 kilowatin teholla. Pienemmät kulutuspiikit johtuvat maalämpöpumpusta.

10.3.2 Jyväskylän kohteen lämpimän käyttöveden kulutus

Jyväskylän kohteen käyttöveden lämmitykseen tarvittava energiamäärä arvoitiin Motivan henkilömäärään perustuvan laskentatavan perusteella (kaava 7.1). Lähtötiedot nähtävillä taulukossa 11. ja lämmitykseen kuukausittain kuluva energia nähtävillä taulukossa 12.

Taulukko 12. Lähtötiedot.

Henkilömäärä	2	
Keskimääräinen lämpimän käyttöveden kulutus	50	l/vrk
Lämpimän käyttöveden tarve (l/vrk)	100	l/vrk
Lämpimän käyttöveden tarve (m ³ /vrk)	0,1	m ³ /vrk
Lämpimän käyttöveden lämpötila	55	°C
Kylmän käyttöveden lämpötila	5	°C

Taulukko 13. Lkv:n lämmitykseen kuukausittain kuluva energia.

	Päivät/kk	LKV:n energian tarve
	d	kWh/kk
Tammikuu	31	181
Helmikuu	28	163
Maaliskuu	31	181
Huhtikuu	30	175
Toukokuu	31	181
Kesäkuu	30	175
Heinäkuu	31	181
Elokuu	31	181
Syyskuu	30	175
Lokakuu	31	181
Marraskuu	30	175
Joulukuu	31	181
Yhteensä	365,0	2129,17

10.3.3 Arvio ylituotannon ohjauksesta käyttöveden lämmitykseen

Aurinkosähköjärjestelmän omakäyttöaste kesäaikaan on 54 %, joten voisi olla paikallaan ohjata ylituotantoa käyttöveden lämmitykseen akkujen lisäämisen sijaan.

Taulukko 14. Jyväskylän kohteen aurinkosähköjärjestelmän kuukausittaiset ylituotannot kilowattitunteina.

Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
302,4	1326,1	1058,4	951,1	358,0

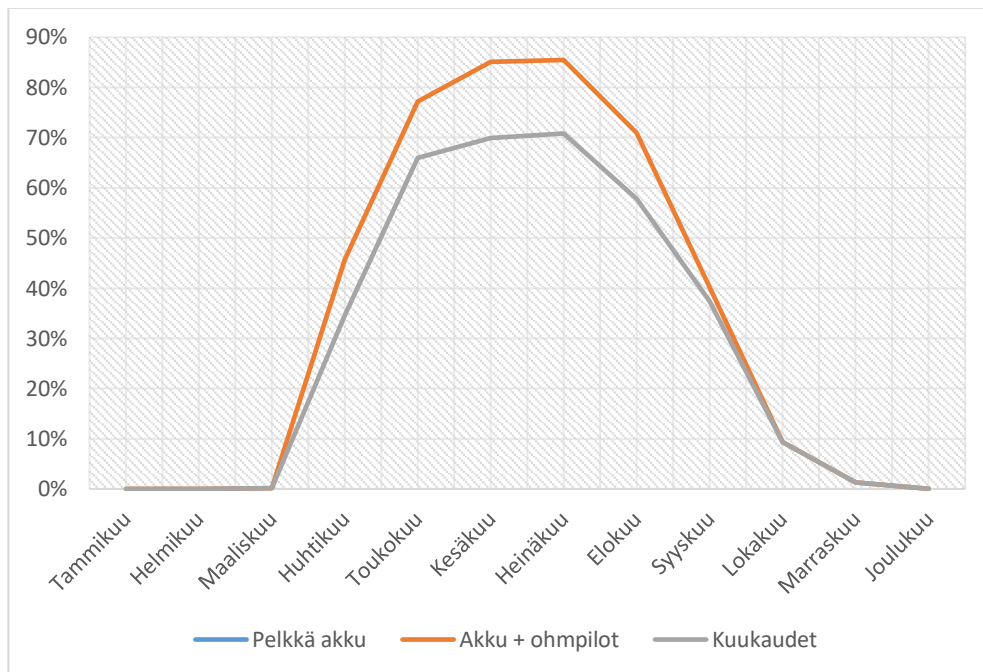
Taulukko 15. Jyväskylän aurinkosähköjärjestelmän ylituotannot 2018.

	Ylituotanto
	kWh/kk
Tammikuu	0
Helmikuu	0
Maaliskuu	0
Huhtikuu	302,4
Toukokuu	1 326,1
Kesäkuu	1 058,4
Heinäkuu	951,1
Elokuu	358,0
Syyskuu	34,5
Lokakuu	4,42
Marraskuu	0,1
Joulukuu	0
Yhteensä	4035,0

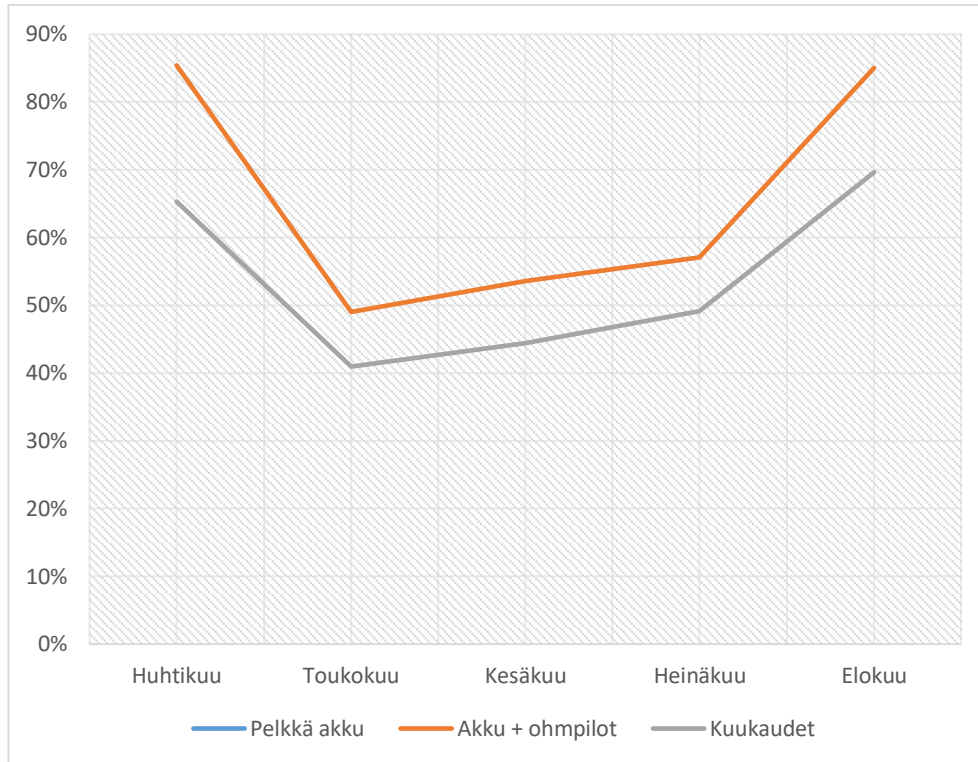
Ohmpilotista saatava hyöty laskettiin vähentämällä se ylituotannon osuus (taulukko 14), joka voidaan ohjata kuukausittain käyttöveden lämmitykseen (taulukko 15), verkkosähkön osuudesta. Laskuissa ei huomioida lämminvesivaraajan lämpöhäviöitä, joten käytännössä varastoitu energia ei ole yhtä suuri kuin laskennallinen. Laskut löytyvät liitteistä.

Kuviossa 21 nähdään Ohmpilotin lisäyksen vaikutukset omavaraisuusasteeseen, jos kaikki ylituotanto voitaisiin hyödyntää käyttöveden lämmittämiseen. Omavaraisuusaste olisi parhaimmillaan heinäkuussa, jolloin se nousisi 71% -> 85%.

Kuviosta 22 nähdään Ohmpilotin lisäyksen vaikutukset aurinkosähkön omakäyttöasteeseen huhti-elokuun aikana (verkkoon syötetty sähkö muuna aikana lähellä nollaa, joten omakäyttöaste 100%). Huhti-elokuun aikana omakäyttöaste nousisi 54 % -> 66 %.



Kuvio 21. Arvio Ohmpilotin lisäyksen vaikutuksista kohteen omavaraisuusasteeseen.



Kuvio 22. Arvio Ohmpilotin lisäyksen vaikutuksista kohteen omakäyttöasteeseen huhti-elokuussa.

10.4 Niittylahti Kummuntie

Niittylahdessa on käytössä aurinkosähköjärjestelmän lisäksi Froniuksen Ohmpilot, joka ohjaa järjestelmän ylituotettua aurinkosähköä vastuksilla toimivalle lämminvesivaraajalle käyttöveden lämmitykseen. Kohteessa on käytössä myös 2000 litran lämminvesivaraaja, jota lämmitetään puulla. Ohjaamalla aurinkosähkön ylituotantoa veden lämmitykseen vähentää puun käyttöä.

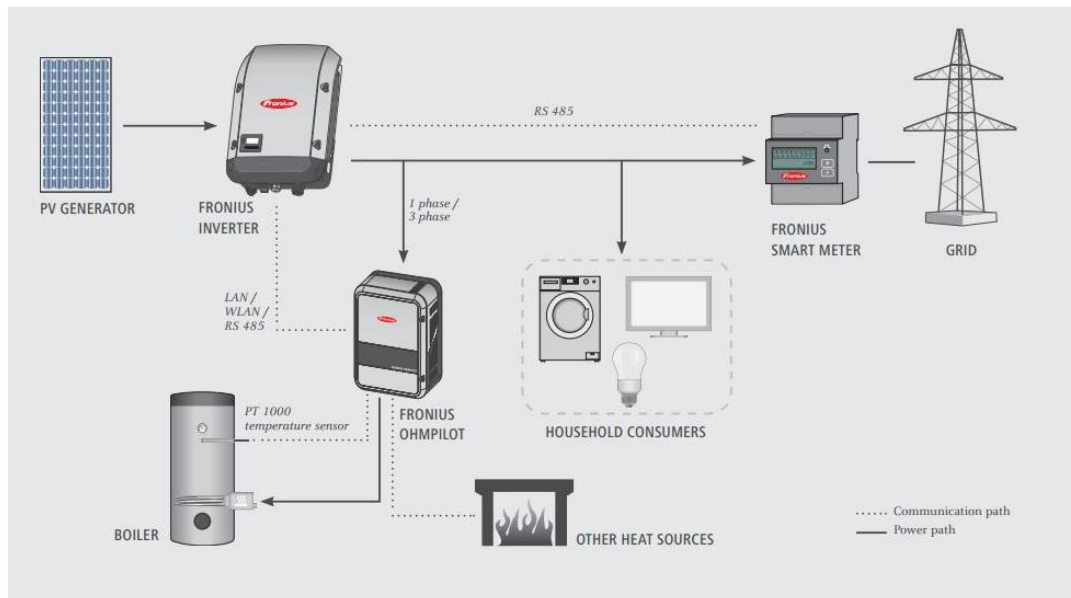
Järjestelmä otettiin käyttöön 9.6.2018 ja sen asensi Solarworks Oy. Mitoitus tehtiin vuoden 2016 sähkönkulutuksen perusteella. Järjestelmän paneeliteho on 6 kWp ja paneelit ovat Longi Ir6-60 PE 300M (kuva 13). Inverteri on Froniuksen Symo 6.0-3-M. Investointikustannus oli noin 11 000€, josta vähennettiin kotilousvähennys.

Kohteen tuotanto- ja kulutustietoja tarkasteltiin vuoden 2018 kesä-joulukuun ajalta. Toimeksiantaja ei kokenut tarpeelliseksi tehdä simuloiteja tai laskelmia kuten aikaisemmissa kohteissa.



Kuva 13. Longi aurinkopaneelit (Kuva: Samuli Pykäläinen).

Kuvasta 21 nähdään järjestelmän toimintaperiaate. Aurinkosähköpaneelit tuottavat tasasähköä, jonka vaihtosuuntaaja eli invertteri muuntaa vaihtosähköksi ohjaten tuotantoa ensisijaisesti kotitalouden tarpeisiin. Se osuus tuotetusta aurinkosähköstä, jota ei saada käytettyä kotitalouden tarpeisiin ohjataan Ohmpilotin avulla lämminvesivaraajaan.



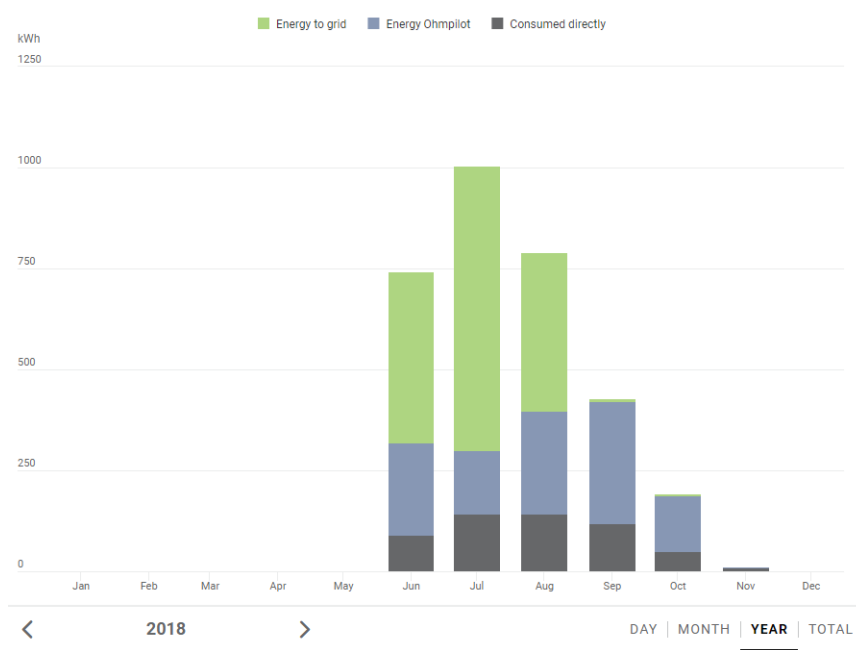
Kuva 14. Fronius Ohmpilot konfiguraatio (Fronius).

10.4.1 Toteutunut tuotanto ja kulutus

Niittylahden toteutuneisiin tuotantoihin vaikutti lämminvesivaraajan termostaatin manuaalinen käyttö, tästä johtuen kaikkea mahdollista energiaa ei saatu varastoitua varaajaan ylituotannon aikaan (kuviot 27-29).

Taulukko 16. Niittylahden kohteen sähköntuotantotiedot 2018 (Solar.web).

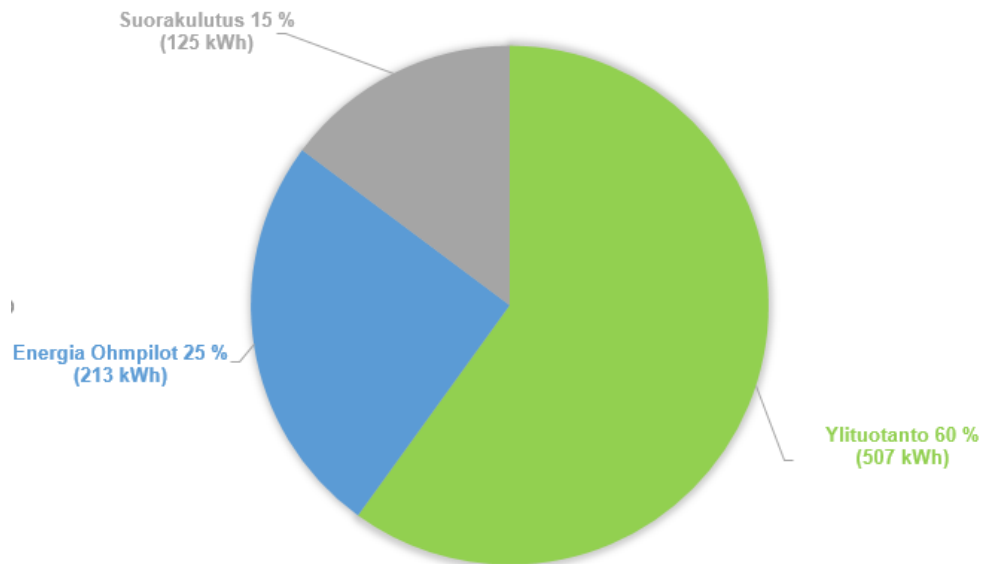
Niittylahden sähköntuotanto huhti-joulukuu 2018	
Energia verkkoon	1 532,3 kWh
Energia Ohmpilot	1 082,5 kWh
Suorakulutus	556,3 kWh
Kokonaistuotanto	3 171,1 kWh
Omakäyttöaste	54 %



Kuvio 23. Niittylahden kohteen sähköntuotantotiedot 2018 (Solar.web).

Kuviossa 23 näkyy vihreällä verkkoon syötetty energia, sinisellä veteen varastoitu energia ja harmaa aurinkosähkön suorakulutus.

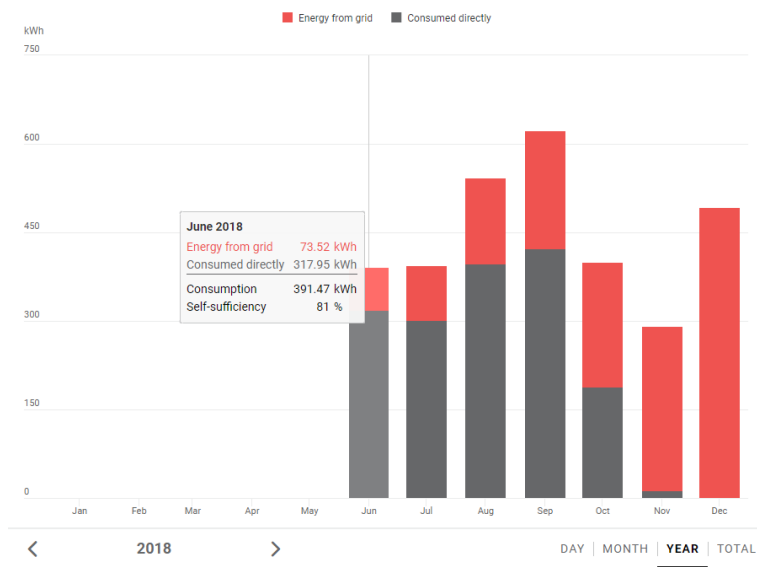
Keskimääräinen kuukausittainen aurinkosähkön tuotanto kesä-elokuun ajalta oli 846 kWh:a, josta 125 kWh:a käytettiin suoraan kohteessa, lämminvesivaraajalle varastoitettiin 213 kWh:a ja verkkoon myytiin sähköä 507 kWh (kuvio 24). Omakäyttöaste tänä aikana oli 41 % ja Ohmpilotin tuoma parannus siihen oli 26 %.



Kuvio 24. Niittylahden aurinkosähköjärjestelmän tuotanto kesä-elokuu 2018.

Taulukko 17. Niittylahden kohteen sähkönkulutustiedot 2018 (Solar.web).

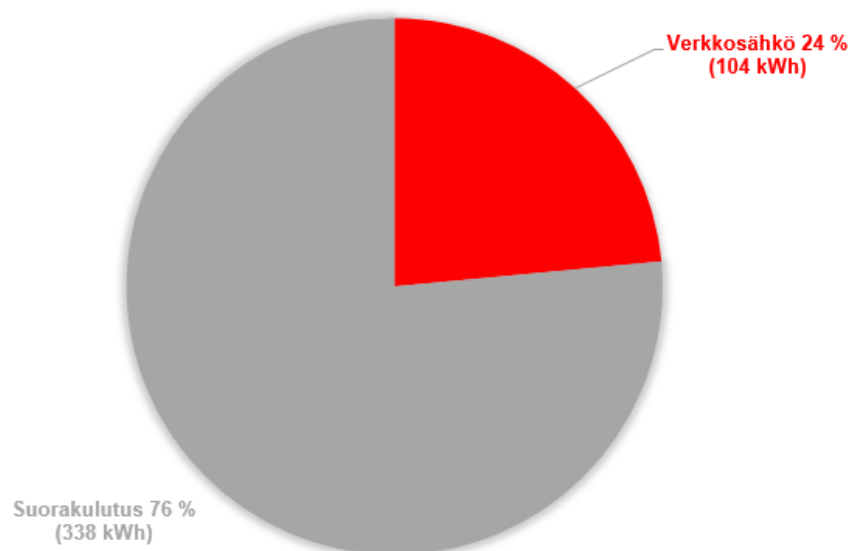
Niittylahden sähkönkulutus kesä-joulukuu 2018	
Energia verkosta	1 497,7 kWh
Suorakulutus	1 638,8 kWh
Kokonaiskulutus	3 136,5 kWh
Omavaraisuusaste	52 %



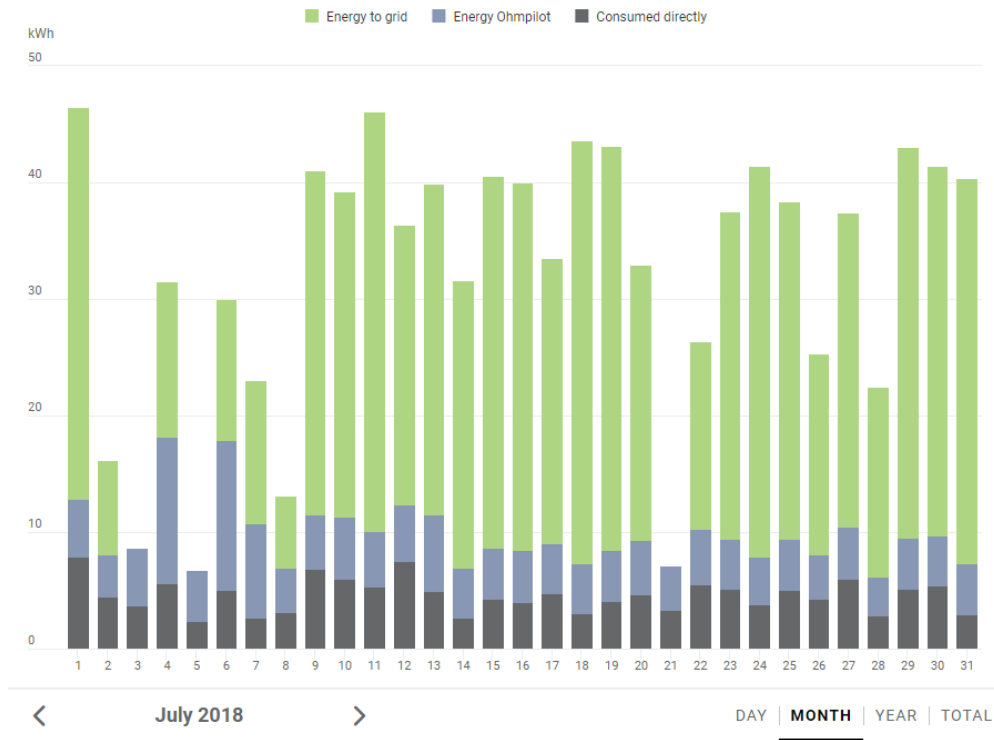
Kuvio 25. Niittylahden kohteen sähkönkulutustiedot 2018 (Solar.web).

Kuviossa 25 punainen palkki kuvaa verkkosähkön osuutta ja harmaa palkki aurinkosähkön suoraa kulutusta.

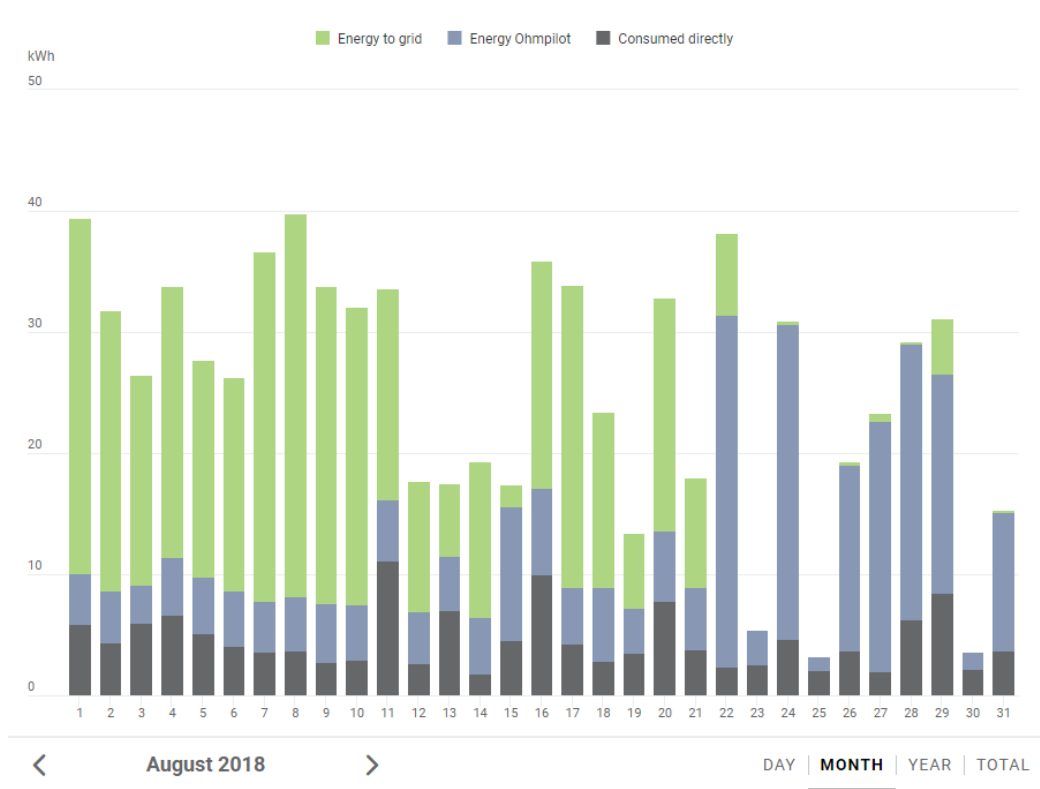
Keskimääräinen sähkönkulutus oli vuoden 2018 kesä-elokuun aikana 443 kWh:a, josta verkkosähkön osuus oli 104 kWh:a, aurinkosähköjärjestelmän tuottama energia 338 kWh (kuvio 26). Omavaraisuusaste tänä aikana oli 77 %.



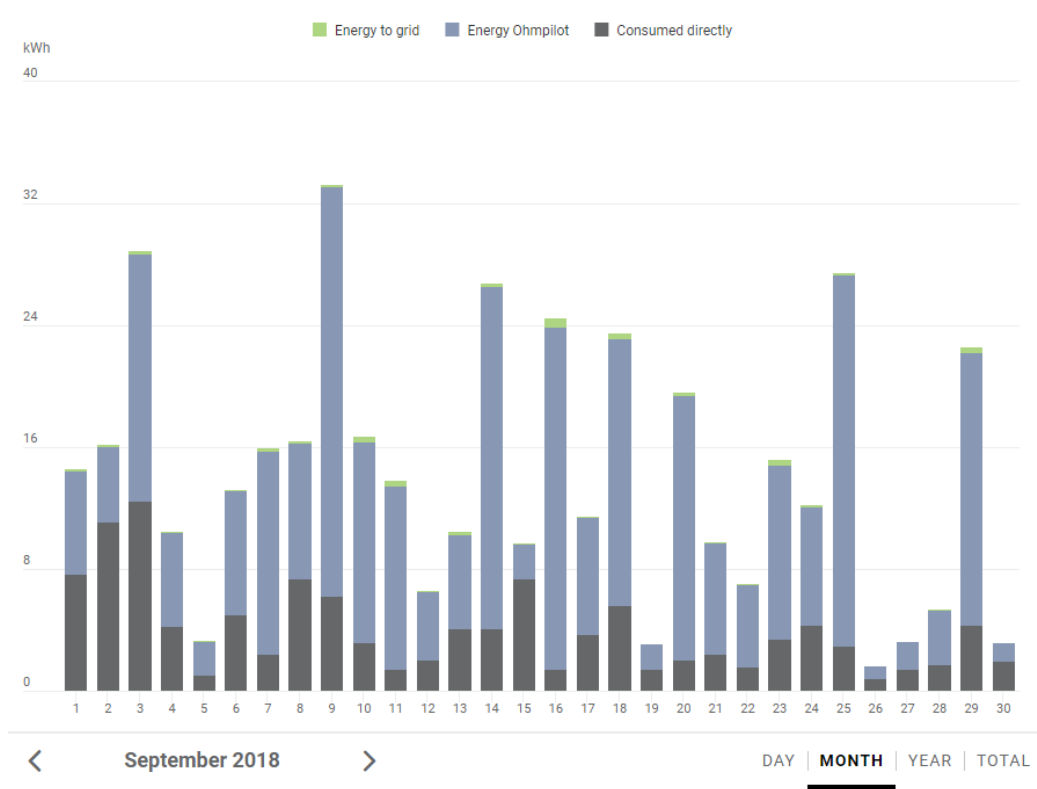
Kuvio 26. Niittylahden kohteen sähkönkulutus kesä-elokuun 2018.



Kuvio 27. Niittyлахden kohteen heinäkuun kuukausikohtainen tuotantoprofiili (Solar.web).



Kuvio 28. Niittyлахden kohteen elokuun sähkötuotantoprofiili (Solar.web).



Kuvio 29. Niittylahden kohteen syyskuun sähkötuotantoprofiili (Solar.web).

11 Pohdinta

11.1 Tulosten luotettavuus

Kohteiden tuotanto- ja kulutustiedot perustuivat Froniuksen Solar.webistä saatuihin tuloksiin, ja niitä voidaan pitää luotettavina. Tutkimuksen kannalta olisi ollut parempi, jos kohteet olisivat olleet pidempään käytössä, jotta tarkasteltavaa dataa olisi ollut usean vuoden ajalta. Tämän opinnäytetyön järjestelmät ovat olleet työn teko aikana käytössä maksimissaan vuoden ajan.

Ylituotannon hyödyntäminen käyttöveden lämmityksessä laskettiin pitkälti Motivan veden lämmitykseen tarkoitetuilla laskentaohjeilla ja Solar.web:stä saatujen kuukausittaisten ylituotantojen perusteella. Saadut tulokset ovat arvioita eikä niissä huomioida lämpöhäviöitä.

Akkukapasiteetin kasvattamisen vaikutuksia arvioitiin Höljäkän nuorisoseuran talolle PV-simulation -ohjelmasta saatujen tulosten pohjalta. Simuloitu järjestelmä oli lähes käytössä olevaa aurinkosähköjärjestelmää vastaava. Tuloksista saadaan arvio akkukapasiteetin kasvattamisen vaikutuksista omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin.

11.2 Yhteenveto

Työssä oli tarkoituksena tehdä selvitystä kohteiden toiminnasta ja sen pohjalta parannusehdotuksia omakäyttöasteen ja omavaraisuusasteen parantamiseksi. Opinnäytetyön tavoitteena oli seurata kohteisiin asennettujen järjestelmien energivirtoja vuoden 2018 osalta ja tarpeen tullen mieltä kehitysehdotuksia järjestelmiin. Työn aihe muotoutui toimeksiantajan ja ohjaajien kanssa käydyissä palavereissa. Solar.webistä saaduista tuotanto- ja kulutustiedoista sai hyvän kuvan järjestelmien toiminnasta. Kuukausi- ja vuosikohtaisia tuotanto- ja kulutustietoja oli helpompi käsitellä Excelissä, jossa tehtiin tarvittavat kaaviot ja kuvaajat.

Tarkasteltavia kohteita oli neljä kappaletta, joka toi oman haasteen työlle. Jos kohteita olisi ollut vähemmän olisi yksittäistä kohdetta voinut tutkia syvällisemmin. Kohteista kerätyt tiedot voivat helpottaa toimeksiantajan asiakkaiden hankintapäätöstä, jos he ovat kiinnostuneita akullisen aurinkosähköjärjestelmän hankinnasta.

Sähkön varastointi aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä ei ole tämän hetken akkujen hinnoilla vielä kannattavaa, mutta tilanne voi olla toinen tulevaisuudessa, jos akkujen hinnat jatkavat laskuaan. Sähkövarastojen ansiosta saadaan parannettua aurinkosähköjärjestelmien omakäyttöastetta ja siirrettyä tuotantoa ajalle jolloin aurinkopaneelit eivät tuota sähköä. Vuositasolla omavaraisuusaste aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä ei voi nousta Suomessa kovinkaan korkealle, sillä sähkönkulutus on suurimmillaan talvella, jolloin aurinkosähköjärjestelmien tuotanto on lähellä nollaa. Akkuvarastot sopivat tällä hetkellä vain tunti- ja päivä-

varastoiksi. Akkujen hankkimisen kannattavuutta parantaisi mahdollisuus varastoida verkkosähköä sähkön hinnan ollessa alhaalla, näin aurinkosähköjärjestelmien akkuja voitaisiin hyödyntää myös talvella pimeänaikaan. Sähköautojen yleistyminen ja sähköauton akkujen käyttäminen sähkövarastona lisäisi myös aurinkosähkön varastoinnin kannattavuutta.

Ylituotannon ohjaaminen käyttöveden lämmitykseen on myös toimiva ja edullinen vaihtoehto kohteisiin, joissa veden lämmitykselle on tarvetta myös kesäaikaan. Ylituotantoa voidaan ohjata myös esimerkiksi lattialämmitykseen. Niittylahden Kummuntien kohde on hyvä esimerkki käyttöveden lämmityksestä saatavista hyödyistä omakäyttö- ja omavaraisuusasteisiin, koska kohteen kesä-elokuun aikainen verkkosähkön osuus oli vain 24 %.

Lähteet

- Ahola J. 2017. Tekniikka & talous. Halpa akku käynnistää aurinkosähkön toisen aallon. Onko Suomi mukana?. 1.11.2018. <https://www.tekniikkatalous.fi/teknologiamurrokset/halpa-akku-kaynnistaa-aurinkosahkon-toisen-aallon-onko-suomi-mukana-6639838>. 10.11.2018.
- Battery university TM. 2016. Global battery markets. https://batteryuniversity.com/learn/article/global_battery_markets. 4.11.2018.
- Battery university TM. 2017. Absorbent glass mat. https://batteryuniversity.com/learn/absorbent_glass_mat_agm. 10.11.2018.
- Battery university TM. 2018a. Lead based batteries. https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries. 10.11.2018.
- Battery university TM. 2018b. Lithium based batteries. https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries. 6.1.2018.
- Battery university TM. 2018c. Types of lithium-ion. https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion. 6.1.2018.
- Battery university TM. 2018d. How to monitor a battery. https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_monitor_a_battery. 3.9.2018.
- Battery university TM. 2018e. Lithium based batteries. https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries. 6.1.2018.
- Blomqvist, K., Härkönen, J. & Makkonen, T. 2017. Sähkön varastointitekniikat ja markkinat. 9.5.2019.
- Cervantes, J. & Choobineh, F. 2018. Optimal sizing of a nonutility-scale solar power system and its battery storage.
- Doeff, M. 2013. Batteries for sustainability. Doeff, M. & Brodd, J. Springer.
- Euroopan komissio. Smart grid and meters. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/market-and-consumers/smart-grids-and-meters>. 20.1.2019.
- Euroopan komissio. 2017. Energy storage-the role of electricity.
- Finsolar. 2017. Aurinkosähkön hinnat ja kannattavuus. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus>. 24.3.2019.
- Fronius. Solar battery. <https://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/storage-units/fronius-solar-battery/fronius-solar-battery-4-5.11.4.2019>.
- Goldie-Scot, L. 2019. A Behind the scenes take on lithium-ion battery prices. <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>. 9.5.2019.
- Hottgenrot. PV-simulation. <https://www.hottgenroth.de/M/SOFTWARE/SolarPVSimulation/PV-Simulation-3D/Seite.html,73282,80429>. 20.11.2018.
- International electrotechnical commission. 2011. Electrical energy storage. <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>. 20.10.2018.
- Komarnicki, P., Lombardi, P. & Styczynski, Z. 2017. Electric energy storage systems: flexibility options for smart grids. 23.11.2018.

- Motiva Oy. 2016. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma. 25.5.2018.
- Motiva Oy. 2017a. Auringosta sähköä. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa. 23.8.2018.
- Motiva Oy. 2017b. Älykkäät sähköverkot. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/alykkaat_sahkoverkot. 2.11.2018.
- Motiva Oy. 2019. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. [https://motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kaytovesi](https://motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kaytovesi). 20.3.2019.
- Pykäläinen, S. Solarworks. 2019. <https://www.solarworks.fi>. 20.3.2019.
- Sarvaranta A., 2010. Älykkäät sähköverkot ja niiden kehitys Euroopan unionissa ja Suomessa. Aalto-yliopisto. Energiatekniikan laitos. Harjoitustyö. 23.8.2019.
- Tahkokorpi, M., Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A. & Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki. Into Kustannus.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki. <https://tem.fi/energiatuki>. 29.4.2019.
- Weniger, J., Tjaden, T. & Quaschnig, V. 2014. Sizing of residential PV battery systems. 23.11.2018.
- Zhang Z. & Ramadass, P. 2013. Batteries for sustainability. Brodd, J. Springer. 23.11.2018.

2018												
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Sähköä verkkoon kWh	0,12		4,59	89,51	248,26	103,24	304,31	176,8	33,05	9,53	0,98	0,04
Energia akulle kWh	0		2,13	133,74	197,76	177,74	166,39	157,58	82,08	25,11	3,85	0,38
Tuotanto Suora kulutus kWh	6,02	9,02	101,62	406,87	496,12	507,67	492,61	382,56	257,6	157,34	22,58	3,96
Sähköntuotto kWh	6,12	9,02	108,34	630,12	942,14	788,38	963,31	716,94	327,73	191,98	27,41	4,38
Omakäyttöaste %	98 %	100 %	96 %	86 %	74 %	87 %	68 %	75 %	90 %	95 %	96 %	99 %
Sähköä verkosta kWh	4280	5190	4700	2550	1150	1440	880	860	1800	3500	3600	4970
Energia akulta kWh	0	0	0	120	180	160	150	140	80	40	20	0
Kulutus Suora kulutus kWh	0	100	100	410	500	510	590	380	260	160	20	10
Sähkön kulutus	4280	5190	4800	3080	1830	2110	1520	1380	2140	3700	3640	4980
Omavaraisuusaste %	0 %	0 %	2 %	17 %	37 %	32 %	42 %	38 %	16 %	5 %	1 %	0 %
Yli tuotanto lkv:n lämmitykseen												
2018												
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
Sähköä verkkoon kWh							33,31					
Energia ohmpilot	0,12	0	4,59	89,51	248,26	103,24	263	176,8	33,05	9,53	0,98	0,04
Tuotanto Energia akulle kWh	0		2,13	133,74	197,76	177,74	166,39	157,58	82,08	25,11	3,85	0,38
Suora kulutus kWh	6,02	9,02	101,62	406,87	496,12	507,67	492,61	382,56	257,6	157,34	22,58	3,96
Sähköntuotto kWh	6,12	9,02	108,34	630,12	942,14	788,38	963,31	716,94	327,73	191,98	27,41	4,38
Omakäyttöaste %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	97 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Sähköä verkosta kWh	4279,88	5180	4695,41	2460,49	901,74	1336,78	617	683,2	1766,95	3490,47	3599,02	4969,96
Energia akulta kWh	0	0	0	120	180	160	150	140	80	40	20	0
Kulutus Suora kulutus kWh	0	100	100	410	500	510	590	380	260	160	22,58	3,96
Sähkön kulutus	4280	5190	4800	3080	1830	2110	1520	1380	2140	3700	3640	4980
Omavaraisuusaste %	0 %	0 %	2 %	20 %	51 %	37 %	59 %	50 %	17 %	6 %	1 %	0 %

Kuva 15. Haikolan talon Ohmpilotin hyödyntämiseen tarvittavat laskut.

	2018											
	Arvio Tammikuu	Arvio Helmikuu	Arvio Maaliskuu	Arvio Huhtikuu	Arvio Toukokuu	Arvio Kesäkuu	Arvio Heinäkuu	Arvio Elokuu	Arvio Syyskuu	Arvio Lokakuu	Arvio Marraskuu	Arvio Joulukuu
Sähköä verkkoon kWh	0	0	0	302,42	1326,1	1058,36	951,12	357,98	34,54	4,42	0,08	0
Energia akulle kWh				247,01	318,6	298,87	338,52	296,64	193,88	51,58	1,55	0,06
Suora kulutus kWh				322,73	601,28	545,02	578,53	523,51	277,91	138,34	26,01	1,79
Sähköntuotto kWh				872,16	2245,98	1902,25	1868,17	1178,13	506,33	194,34	27,64	1,85
Omakäyttöaste %				65 %	41 %	44 %	49 %	70 %	93 %	98 %	100 %	100 %
Sähköä verkosta kWh	2500	2500	4501,8	1034,53	454,03	347,18	360,64	579,5	755,33	1856,46	2069,24	3887,05
Energia akulta kWh			8,5	225,56	278,72	261,93	296,66	270,94	173,16	52,23	0,26	0,16
Suora kulutus kWh			0,01	322,73	601,28	545,02	578,53	523,51	277,91	138,34	26,01	1,79
Sähkön kulutus	2500	2500	4509,69	1582,82	1334,03	1154,13	1235,83	1373,95	1206,4	2047,03	2095,51	3889
Omavaraisuusaste %	0 %	0 %	0 %	35 %	66 %	70 %	71 %	58 %	37 %	9 %	1 %	0 %
Ohmpilotin lisäys												
	2018											
	Arvio Tammikuu	Arvio Helmikuu	Arvio Maaliskuu	Arvio Huhtikuu	Arvio Toukokuu	Arvio Kesäkuu	Arvio Heinäkuu	Arvio Elokuu	Arvio Syyskuu	Arvio Lokakuu	Arvio Marraskuu	Arvio Joulukuu
Sähköä verkkoon kWh				127,4	1145,1	893,4	801,7	177,0	0	0	0,09	0
Energia akulle kWh				247,01	318,6	298,87	338,52	296,64	193,88	51,58	1,55	0,06
Suora kulutus kWh				322,73	601,28	545,02	578,53	523,51	277,91	138,34	26,01	1,79
Sähköntuotto kWh				872,16	2245,98	1902,25	1868,17	1178,13	506,33	194,34	27,64	1,85
Omakäyttöaste %	0 %			85 %	49 %	54 %	57 %	85 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Sähköä verkosta kWh	2500	2500	4501,8	860	304,88	172	180	399	720,79	1856,46	2069,24	3887,05
Energia akulta kWh			8,5	225,56	278,72	261,93	296,66	270,94	173,16	52,23	0,26	0,16
Suora kulutus kWh			0,01	322,73	601,28	545,02	578,53	523,51	277,91	138,34	26,01	1,79
Sähkön kulutus	2500	2500	4509,69	1582,82	1334,03	1154,13	1235,83	1373,95	1206,4	2047,03	2095,51	3889
Omavaraisuusaste %	0 %	0 %	0 %	46 %	77 %	85 %	85 %	71 %	40 %	9 %	1 %	0 %

Kuva 16. Jyväskylän kohteen Ohmpilotin hyödyntämiseen tarvittavat laskut.

ELECTRICAL PARAMETERS	BATTERY 4.5	BATTERY 6.0	BATTERY 7.5	BATTERY 9.0	BATTERY 10.5	BATTERY 12.0
Usable capacity ¹⁾	3.6 kWh	4.8 kWh	6.0 kWh	7.2 kWh	8.4 kWh	9.6 kWh
Cycle stability	8,000 ¹⁾					
Voltage range	120 - 170 V	160 - 230 V	200 - 290 V	240 - 345 V	280 - 400 V	320 - 460 V
Nominal charging power	2,400 W	3,200 W	4,000 W	4,800 W	5,600 W	6,400 W
Nominal discharge power	2,400 W	3,200 W	4,000 W	4,800 W	5,600 W	6,400 W
Max. charging current	16 A					
Max. discharge current	16 A					

GENERAL DATA	BATTERY 4.5	BATTERY 6.0	BATTERY 7.5	BATTERY 9.0	BATTERY 10.5	BATTERY 12.0
Battery technology	LiFePO4					
Dimensions (height x width x depth)	955 x 570 x 611 mm					
Weight	91 kg	108 kg	125 kg	142 kg	159 kg	176 kg
Degree of protection	IP 20					
Protection class	1					
Installation type	Indoor installation					
Ambient temperature range	5 - 35°C					
Permitted humidity	0 - 95 %					
DC connection technology	Screw terminals 2.5 - 16 mm ²					
Calendar service life	> 20 Years ²⁾					
Certificates and compliance with standards	IEC/EN 62133; EN 61000-6-2:2005, EN 61000-6-3:2007 + A1:2011, EN 62311:2008, FCC Part 15 Subpart B:2012 ClassB, UN 38.3					

INTERFACES	BATTERY 4.5	BATTERY 6.0	BATTERY 7.5	BATTERY 9.0	BATTERY 10.5	BATTERY 12.0
Connection to inverter	Modbus RTU (RS485)					

¹⁾ Up to 7% of the capacity are allocated for protecting the battery against deep discharge.

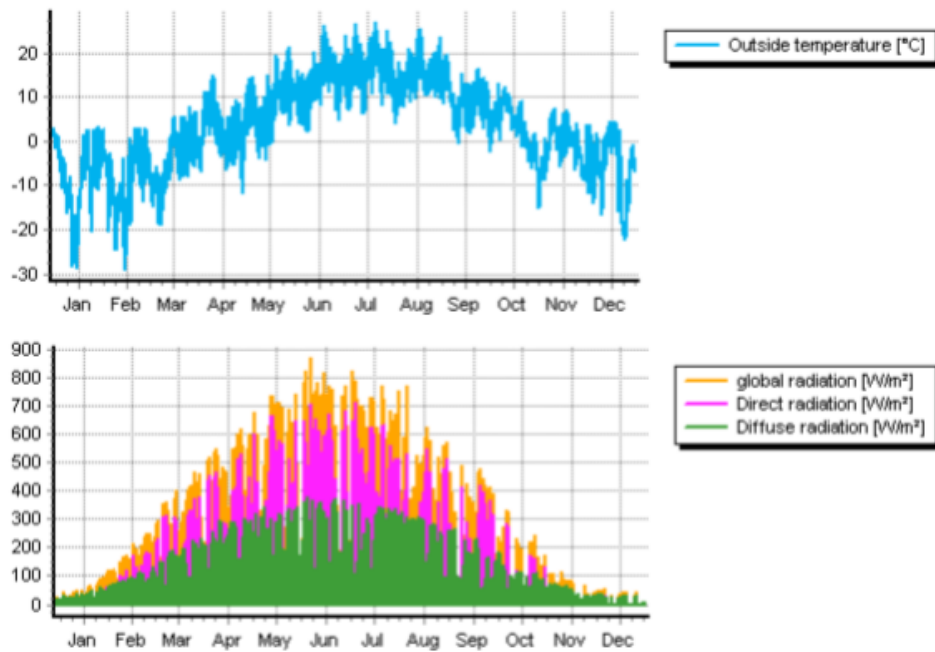
²⁾ At 23°C ambient temperature.

Kuva 17. Fronius Solar Battery- akkujen ominaisuudet (Fronius).

Höljäkkä

Climate data

Nurmes	
Minimum external temperature	-28,9 °C
Average external temperature	3,3 °C
Maximum external temperature	26,9 °C
Highest irradiation	866 W/m ²
Average irradiation	99 W/m ²
Total irradiation	865 kWh/m ² a



Kuva 18. Höljäkkän säteilytiedot (PV-simulation).

Module field 1	
Orientation of field	180 ° (south)
Inclination of field	35,00 °
Number of modules	15
PV module	Prosperous Technology (China) Co., Ltd., POE-300P672
Tracking	fixed
Rear Ventilation	good
Wind Effect	30 %
Losses	
Shading / Pollution	4 %
Damage	4 %
DC-cable losses	
Single cable length	10,0 m
Conductor cross-section	2,50 mm ²
Conductor material	copper
Resistance of cable	0,07 ?
Power loss	9,11 W
Relative power loss related to DC power	0,20 %

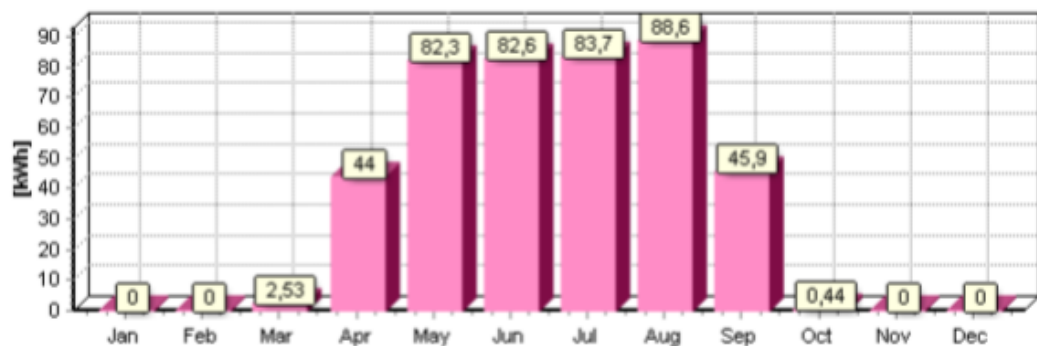
chosen PV module	
Manufacturer	Prosperous Technology (China) Co., Ltd.
Identifier	POE-300P672
Cell Type	Polycrystalline
Nominal Power (STC)	300 W
Efficiency (STC)	15,45 %
MPP-Voltage (STC)	36,5 V
MPP-Current (STC)	8,24 A
Open Circuit Voltage (STC)	45 V
Short Circuit Current (STC)	8,77 A
Max. System Voltage	1000 V
Length	1,957 m
Width	0,992 m
Area	1,941 m ²
Voltage at 500 W/m ²	0 V
Current at 500 W/m ²	0 A
Voltage at 100 W/m ²	0 V
Current at 100 W/m ²	0 A
Temperature coefficient of power	-0,43 %/K
Temperature coefficient of voltage	-0,43 %/K
Temperature coefficient of current	0,05 %/K

Inverter:	
Manufacturer	Fronius International GmbH
Identifier	Fronius Primo 3.0-1
Nominal Power AC	3 kW
Min. AC Voltage	180 V
Max. AC Voltage	270 V
Max. PV-Power	4,5 kW
Min. MPP-Voltage	80 V
Max. MPP-Voltage	800 V
Max. Voltage DC	1000 V
Max. Current DC	36 A
Nmb. of MPP-Tracker	2
Phases	1
Site of installation	Indoor- or Outdoor installation
Transformer	none
Efficiency at 10% nominal power	86,5 %
Efficiency at 50% nominal power	97,4 %
Efficiency at 100% nominal power	97,9 %

Solar Power Storage

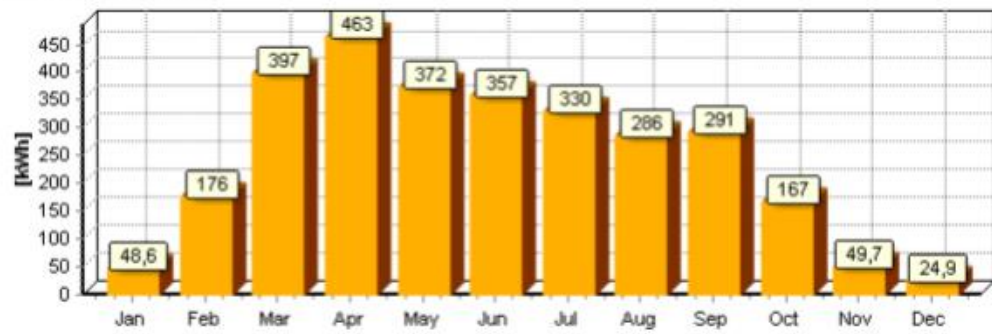
battery storage	
Nominal Storage Capacity	4,5 kWh
Depth of Discharge (DoD)	80 %
Usable Capacity	3,60 kWh
Time to charge/discharge	2,5 h
C-Rate for charging/discharging	0,40
System Efficiency	88,0 %
Continuous Power	1,44 kWh
Number of Cycles at DoD	8000

Kuva 19. Simuloidun järjestelmän komponentit ja suuntaus (Pv-simulation).

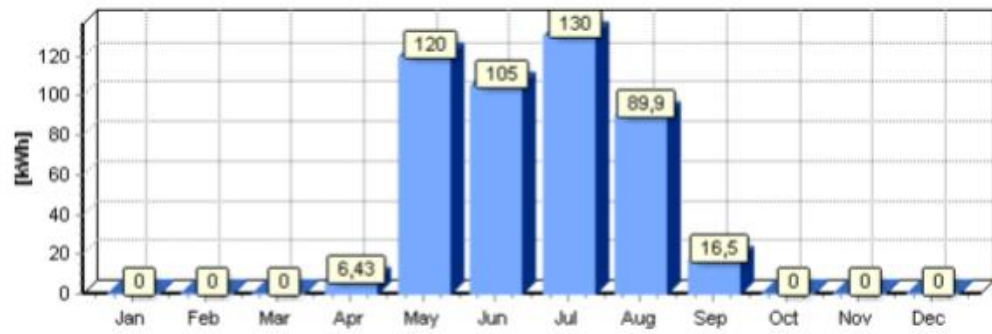
PV Energy for Load**PV energy grid feed-in****PV energy battery charge**

Kuva 20. Simuloinnin tulokset 4,5 kWh akulla (PV-simulation).

PV Energy for Load



PV energy grid feed-in



PV energy battery charge



Kuva 21. Simuloinnin tulokset 6 kWh:n akulla (PV-simulation).