

Jarmo Salo

AURINKOPANEELIN KÄYTTÖ SÄHKÖNTUOTANNOSSA VAPAA-AJAN ASUNNOLLA

Käytännön kokeilu ja mitoitus

Opinnäytetyö
Energiatekniikka

Elokuu 2017

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Jarmo Salo	Insinööri (AMK)	Joulukuu 2017
Opinnäytetyön nimi		
Aurinkopaneelin käyttö sähkötuotannossa vapaa-ajan asunnolla Käytännön kokeilu ja mitoitus	33 sivua 1 liitesivu	
Toimeksiantaja		
Koulutuskeskus Salpaus		
Ohjaaja		
Lehtori Marko Saxell		
Tiivistelmä		
<p>Työssä tutkittiin aurinkoenergian hyödyntämistä sähköverkon ulkopuolella sijaitsevassa vapaa-ajan asunnossa tai vastaavassa kiinteistössä. Lopputuloksena haluttiin tietoa kahdesta asiasta: sovelluksen käyttökelpoisuudesta varsinaisessa käytössä vapaa-ajan asunnon perussähköisyyksessä ja sovelluksen tai sen osien mahdollinen soveltuvuus ammattikoulun sähköalan opetukseen.</p> <p>Työtä varten rakennettiin koelaitteisto, jonka toimintaa seurattiin ja tulokset kirjattiin myöhempiä tarkastelua varten. Sekä energian tuoton että energian kulutuksen mittaustulokset kirjattiin eri olosuhteissa. Samoin mitattiin muutamia sähkön laatuun liittyviä parametreja. Tuloksia käytettiin parametreina myöhemmin tehtyyn järjestelmän käytettävyyden arviointiin.</p> <p>Mittaustuloksista tehtiin analyysi sekä energian tuoton ja kulutuksen suhteen. Analyysissä todettiin, että mittauksia varten rakennettu koelaitteisto ei täyttänyt energian tuoton osalta kulutuksen vaatimusta. Analyysin pohjalta tehtiin uudelleen laitteiston komponenttien valinta ja mitoitus. Lisäksi tehtiin arvio laitteiston käyttökelpoisuudesta ammattikoulun opetuksessa.</p>		
Asiasanat		
aurinkoenergia, aurinkopaneeli, suunnittelu, mitoitus, vapaa-ajan asunto		

Author (authors)	Degree	Time
Jarmo Salo	Bachelor of Engineering	December 2017
Thesis Title		33 pages 1 page of appendices
Use of solar panels in electricity production at the summer house Practical implementation and measurements		
Commissioned by		
Further Education Salpaus		
Supervisor		
Marko Saxell, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>The purpose of this thesis work was to define a solar panel system typically used at a summer house outside normal electrical network. As a result two outcomes were expected: the usability of the built solar system and the possibilities to use a similar system at the vocational school within the electrical training program.</p>		
<p>For the practical work solar panel system was built up. Both the energy produced and the used energy were monitored and the results were archived to be analyzed later. Also some parameters concerning the quality of electricity were executed. All these measurement results were later used to evaluate the usability of the system.</p>		
<p>The measurement results concerning energy production and consumption were analyzed. According to analyze the solar built system was not able to produce enough energy to reach the necessary energy consumption. Based on the analysis the system and its components were evaluated again. Also the usability of the system in vocational school training was evaluated.</p>		
Keywords		
solar energy, solar panel, design ,measurement, summer house		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	AURINKOPANEELIN TOIMINTA.....	5
2.1	Valosähköinen ilmiö	5
2.2	Aurinkopaneelin rakenne	6
2.3	Auringonvalon energiasisältö Etelä-Suomessa.....	7
3	KOEJÄRJESTELMÄN RAKENNE	11
3.1	Aurinkoenergia keräys- ja latausjärjestelmä.....	13
3.2	Invertteri	13
3.3	Käyttölaitteet	14
4	MITTAUSSUUNNITELMA.....	14
4.1	Aurinkopaneelin tuottama energia.....	14
4.2	Käyttölaitteiden kuluttama energia	15
4.3	Invertterin tuottama signaali	16
5	MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	16
5.1	Mittausten tulokset	16
5.1.1	Aurinkopaneelin tuotto.....	16
5.1.2	Käyttölaitteiden kulutus	21
5.1.3	Muut kulutukseen vaikuttavat tekijät.....	23
5.1.4	Invertterin signaalin mittaukset.....	23
5.2	Analysointi.....	25
5.3	Järjestelmän päivitys toimivaksi	29
6	JATKOKEHITYS	31
7	YHTEENVETO.....	31
	LÄHTEET	33

LIITTEET

Liite 1. Käytetyt mittalaitteet

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, minkälaisella aurinkopaneelijärjestelmällä pystytään tuottamaan vapaa-ajan asunnolle energian tarve seuraaville laitteille: jääkaappi, kannettava tietokone ja televisio.

Toisena tavoitteena oli selvittää asioita, joista ei ole välttämättä saatavissa helposti tietoa. Tällaisia asioita olivat mm. seuraavat:

- sääolosuhteiden vaikutus aurinkopaneelin tuottoon
- varjostuksen vaikutus aurinkopaneelin tuottoon ja
- kulutuslaitteiden käynnistysvirtojen vaikutus järjestelmän mitoitukseen.

Pääpaino työssä oli suorittaa mittauksia rakennetun laitteiston eri parametreista ja niistä tehtävän analyysin pohjalta määrittellä tarvittavat parannusehdotukset.

Työn toimeksiantajan oli Koulutuskeskus Salpaus, joka toimii toisen asteen ammattillisena koulutuksen järjestäjänä Päijät-Hämeessä. Tämä työ toimii myös perustana mahdollisien aurinkosähköenergian oppimisympäristöjen suunnittelussa tulevaisuudessa. Itse oppimisympäristöjen suunnittelu ja toteutus eivät kuuluneet tämän työn piiriin.

2 AURINKOPANEELIN TOIMINTA

2.1 Valosähköinen ilmiö

Valosähköinen energia perustuu valon käsittelemiseen kvanttimekaniikan perusteella. Valo voidaan mallintaa pieninä energiaa sisältävinä partikkeleina, fotoneina. Valon energia voidaan laskea kaavasta

$$E = hv$$

E = yhden fotonin energia

h = Planckin vakio

v = valon taajuus

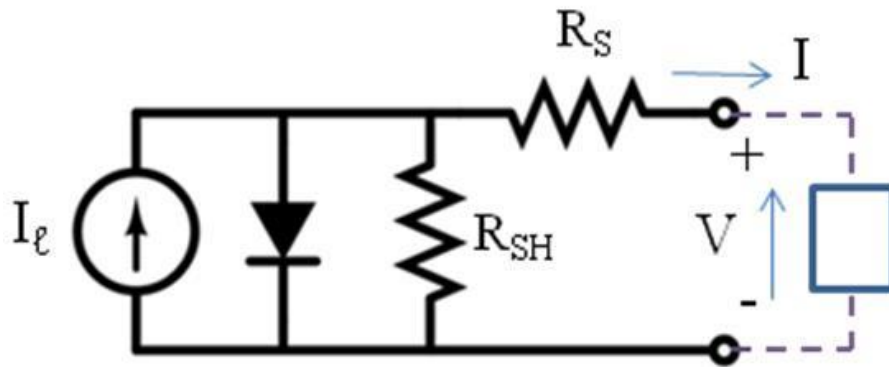
Tämän teorian kehitti Albert Einstein, joka sai työstään fysiikan Nobelin palkinnon 1921. Kaavasta nähdään, että fotonin energia riippuu suoraan valon taajuudesta eli aallonpituudesta. Aurinkokenno ei saa samassa suhteessa energiaa talteen verrat-

tuna yllä olevaan kaavaan. Riippuen valmistusmenetelmästä ja materiaalista eri aallonpituuksista saadaan talteen eri tavalla energiaa (Smets ym. 2016, 186).

2.2 Aurinkopaneelin rakenne

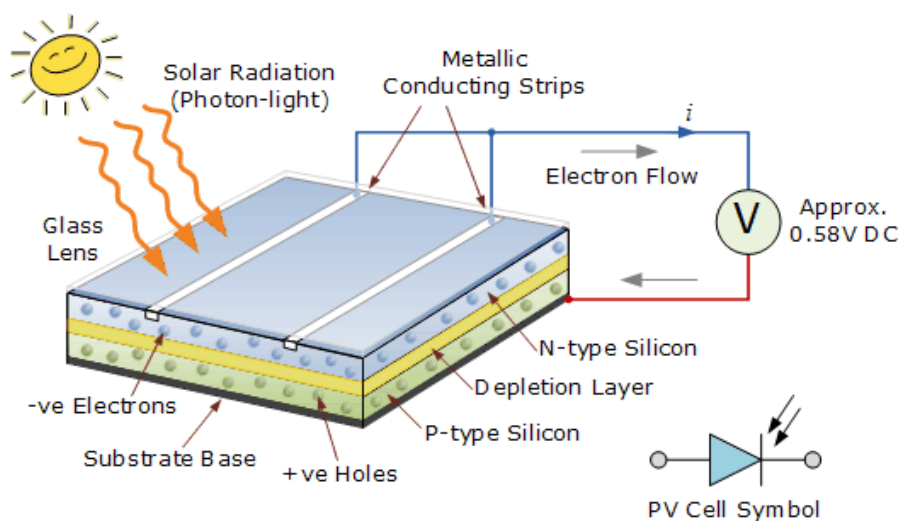
Aurinkokenno muuttaa fotonien sisältämän energian elektronien liikkeeksi. Elektronien liike aiheuttaa sähkövirran.

Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettu sijaiskytkentä aurinkokennosta. Peruselementtejä ovat tasavirtavirtageneraattori ja sen rinnalla oleva diodi. Generaattorin kehittämän virran suuruus riippuu valon määrästä. Diodi rajaa jännitteeksi 0,6 V_{DC}. Vastukset R_S (serial) ja R_{SH} (shunt) esittävät kennon rakenteeseen liittyviä resistiivisiä ei-toivottuja häviöitä, joita ovat johtimien resistanssit ja eristemateriaalien häviöt.



Kuva 1. Yksinkertaistettu sijaiskytkentä valokennosta. (National Instruments White Paper s.a.)

Aurinkokennon käytännön rakenne on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Aurinkokennon käytännön rakenne. (Alternative Energy Tutorials s.a.)

Puolijohdetekniikasta tiedetään, että diodin myötäsuuntainen kynnysjännite piimateriaalille on noin 0,6 V. Samalla tavalla aurinkokennon synnyttämä jännite peruselementillä on 0,6 V. Tämä jännite on pieni eikä siten sovellu suoraan käytettäväksi. Jännitteen nostamiseksi näitä peruselementtejä kytketään sarjaa, jolloin saadaan jännite nostettua esimerkiksi 12V tai 24 V tasolle. Elementtejä sarjaan kytkemällä saadaan jännite nousemaan. Yhden elementin tuottama virta on usein myös riittämätön käytännön sovelluksiin. Virtaa taas saadaan lisättyä kytkemällä peruselementtejä rinnakkain. Aurinkopaneeli on siis joukko sarjaan ja rinnankytkettyjä aurinkokennoja.

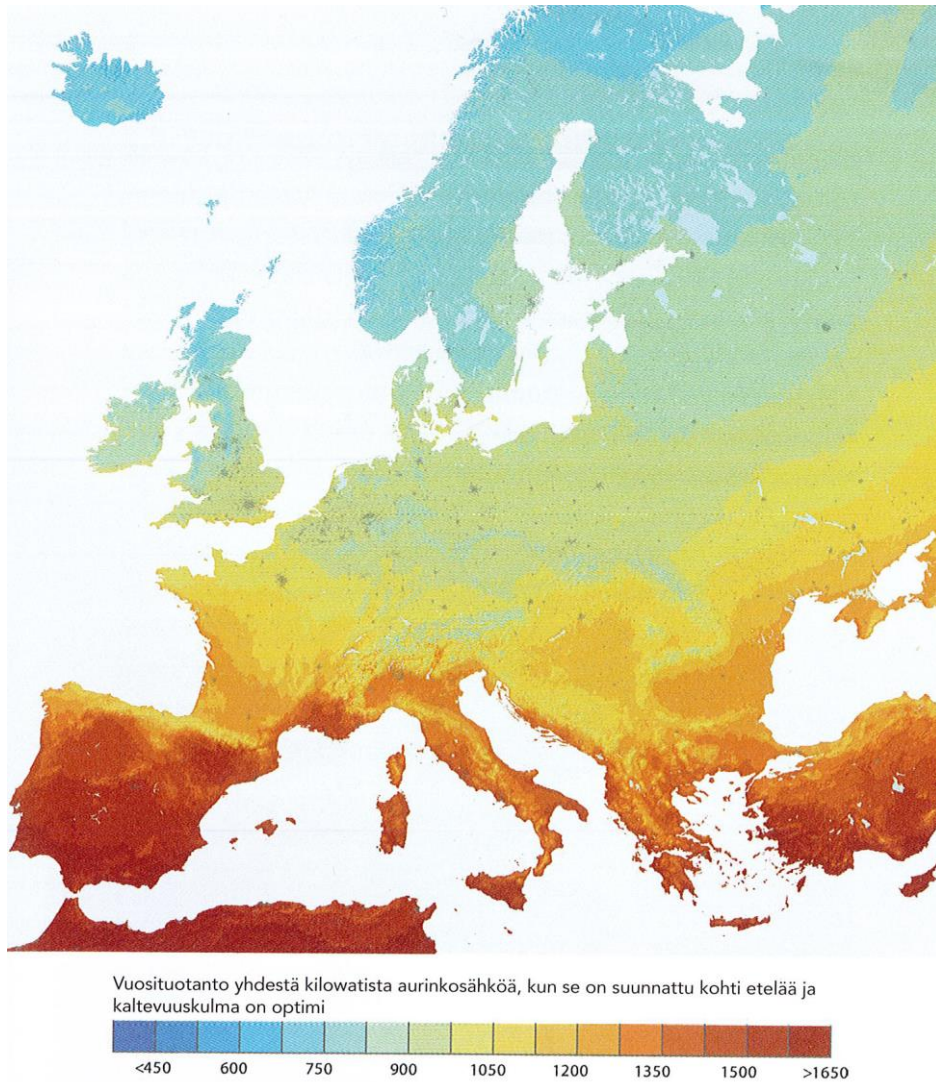
Aurinkokenno valmistetaan piimateriaalista puolijohdetekniikalla. Käytännössä puhtaasta piitangosta leikataan ohuita siivuja, jotka kemiallisessa käsittelyssä prosessoidaan pn-liitoksen sisältämäksi kiekoksi. Kiekon päälle asennetaan metallista johdot sähkövirran kuljettamiseksi. Tämän kaltaiset elementit mitat johtuvat puolijohdevalmistuksessa käytettävien piitankojen mittoja. Yleisimmät mitat ovat 4–8 tuumaa. Aurinkokennojen tapauksessa pyöreistä kiekkoista on sivut viistetty pois pinta-alan maksimoimiseksi.



Kuva 3. Kuvassa yksittäinen aurinkokenno joita yhteen kytkemällä aurinkopaneeli muodostuu

2.3 Auringonvalon energiasisältö Etelä-Suomessa

Auringon valosta saatu energia riippuu paikasta missä paneelit sijaitsevat. Paras tulos saadaan päiväntasaajalla, missä säteet tulevat suurimman osan ajasta suoraan tai lähes suoraan maan pinnalle. Siirryttäessä napa-alueita kohden vuotuinen energiasisältö pienenee. Kuvassa 4 on esitetty energiasisältö Länsi-Euroopassa.



Kuva 4. Yhden kilowatin paneelin vuosituotanto (Käpylehto 2016, 117.)

Kuvan 4 mukaan yhdestä nimellisteholtaan yhden kilowatin aurinkopaneelista saadaan jonkin verran yli 900 kWh energiaa vuodessa Etelä-Suomessa Lahden seudulla. Kuvan 4 karttaa tutkimalla nähdään myös, että Etelä-Suomen vuosituotanto vastaa maantieteellisesti Liettuan vuosituotantoa. Liettua on huomattavasti etelämpänä joten voisi olettaa siellä tuoton olevan suurempi. Suomen vuosituotannon oletettua suurempi määrä Liettuaan verrattuna johtuu kahdesta seikasta:

- keväällä viileät ilmat parantavat aurinkokennon suorituskykyä
- keväällä ilma on Suomessa puhdasta.

Aurinkokenno on puolijohdetekniikalla valmistettu elektroninen komponentti. Puolijohteiden ominaispiirteisiin kuuluu se, että mitä alhaisempi lämpötila sitä paremmin ne toimivat. Keväällä Suomessa on aurinkoista, mutta lämpötilat ovat alhaisia. Ilma keväällä on keskimääräistä puhtaampaa verrattuna samaan aikaan Liettuassa. Tämä parantaa aurinkopaneelin tuottoa.

Vuotuisen aurinkoenergian määrän laskemiseen löytyy netistä useitakin vapaasti käytössä olevia laskureita. Tässä työssä käytettiin PVGIS Europe -nimikkeellä olevaa laskentaohjelmaa (PVGIS Europe s.a.)

Kuvassa 5 löytyy alkuparametrit laskennalle. Käytetystä paneelista on seuraavat parametrit syötetty ohjelmaan:

- paneelin huipputeho 0,09 kW = 90 W
- kallistuskulma 60°
- paneelin tyyppi Crystalline silicon
- mittauspaikkakunta Lahti.

The screenshot displays the PVGIS Europe web application. The browser address bar shows the URL: re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe. The page header includes logos for JRC and CM SAF, and the title "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps". The main content area is divided into a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows Finland with a red pin in Lahti. The configuration panel is titled "Performance of Grid-connected PV" and includes the following settings:

- Radiation database: Classic PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 0.09 kWp
- Estimated system losses: 14 %
- Fixed mounting options:
 - Mounting position: Free-standing
 - Slope [0;90]: 60 °
 - Azimuth [-180;180]: 0 °
- Tracking options:
 - Vertical axis: 0 °
 - Inclined axis: 0 °
 - 2-axis tracking:
- Output options:
 - Show graphs:
 - Web page:

A "Calculate" button is located at the bottom of the configuration panel.

Kuva 5. Vuosituotannon laskuparametrit PVGIS laskuohjelmassa

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 0.1 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 7.6% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 22.9%

Fixed system: inclination=60°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.05	1.64	0.66	20.4
Feb	0.17	4.69	2.17	60.7
Mar	0.23	7.25	3.16	98.1
Apr	0.32	9.49	4.49	135
May	0.34	10.6	5.08	157
Jun	0.32	9.54	4.83	145
Jul	0.32	10.0	4.98	154
Aug	0.26	8.05	3.91	121
Sep	0.19	5.75	2.76	82.7
Oct	0.12	3.56	1.57	48.6
Nov	0.04	1.33	0.58	17.4
Dec	0.03	0.868	0.35	11.0
Yearly average	0.199	6.07	2.88	87.6
Total for year		72.8		1050

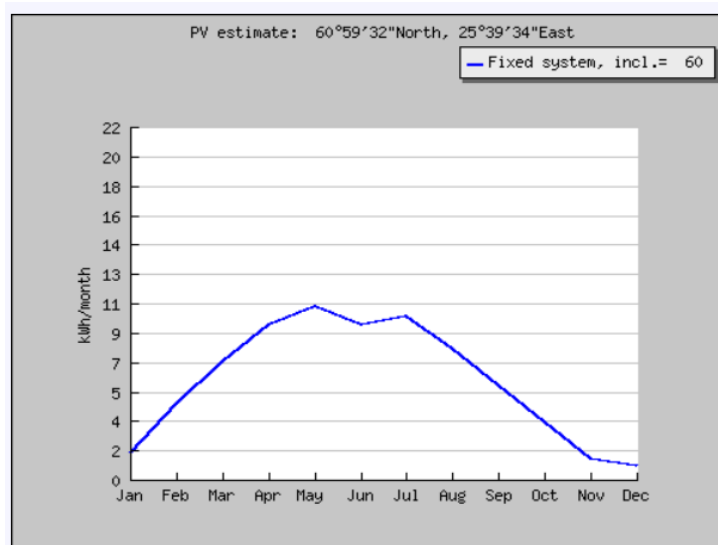
E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Kuva 6. PVGIS-ohjelman tuottama taulukko josta nähdään kuukautinen jakauma



Kuva 7. PVGIS-ohjelman tulokset graafisessa muodossa

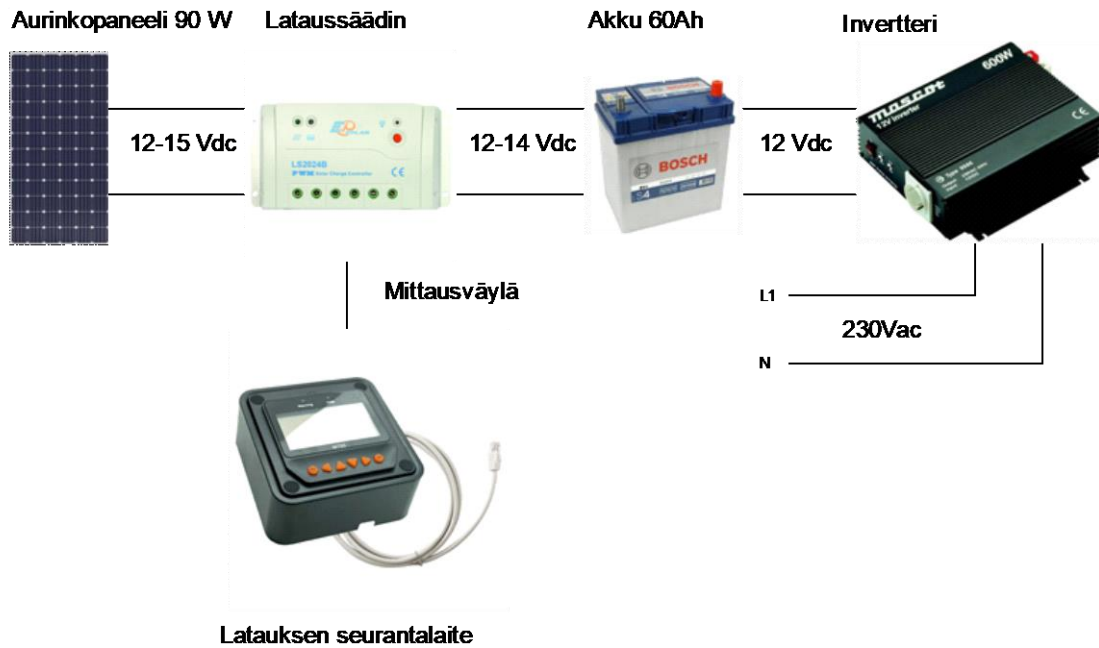
Kuvassa 6 ja 7 on laskettu keskimääräiset oletetut tuotot kuukausitasolla. Kuukausijakaumasta nähdään heti ensi silmäyksellä, että alkuvuodesta tammi- ja helmikuussa tuotto on huono. Samoin syksyllä marras- ja joulukuussa tuotto on lähes nolla. Vapaa-ajan asunnolla joka on tarkoitettu kesäkäyttöön, tällä seikalla ei ole merkitystä. Suomen kaltaisen maan vuotuisen energiantuotannon kattamiseen tämä seikka on tietenkin merkittävä rajoitus.

Tämän työn kapasiteettimittaukset tehtiin kesäkuussa 2017. Ohjelman laskema keskituotto kesäkuulle on 0,32 kWh ja tätä voi pitää vertailuarvona työn mittauksille.

3 KOEJÄRJESTELMÄN RAKENNE

Tutkittu koejärjestelmä koostui seuraavista elementeistä:

- energian kerääminen ja lataus
 - aurinkopaneeli 90 W / 18 V_{DC} (119 €)
 - lataussäädin EPSolar LS2024B (89 €)
 - latauksen näyttöyksikkö EPSolar MT-50 (44,90 €)
 - auton käynnistysakku, lyijyakku 12 V_{DC} / 60 Ah
- sähköenergian muuntaminen DC -> AC
 - invertteri Mascot 2286 12 V_{DC} -> 230 V_{AC} (250 €)
- energian käyttö
 - jääkaappi 230 V_{AC}
 - kannettava tietokone 230 V_{AC}
 - taulutelevisio 20" 230 V_{AC}



Kuva 8. Kaaviokuva laitteistosta

Kuvassa 8 on esitetty kaaviokuvan muodossa energian keräämiseen ja varastointiin käytetty laitteisto.

Käyttölaitteet (jäikaappi, tietokone ja televisio) liitetään invertterin lähtöön, jossa on jännite 230 V_{AC}. Invertterin eli vaihtosuuntaajan tehtävä on muuttaa aurinkopaneelilta tuleva tasajännite kulutuslaitteille sopivaksi jännitteeksi.

Varsinaiset aurinkoenergian talteenottoon liittyvät laitteet ostettiin Motonet-ketjusta. Lähtökohtana oli se, että laitteet voidaan helposti hankkia ja hinta olisi sopiva oppilaitoskäyttöön. Oppilaitoskäytössä tavoitteena on hankkia useampi kohtuuhintainen laitteisto yhden kalliin laitteiston sijaan. Hankitut laitteet ovat hinnaltaan sopivia oppilaitoksille. Lataussäädin EPSolar LS2024B oli PWM -tyyppinen.

Aurinkosähköjärjestelmien lataussäätimiä on kahta eri päätyyppiä: PWM-säädin ja MPPT-säädin. PWM on lyhenne sanoista Pulse Width Modulation ja MPPT on lyhenne sanoista Maximum Power Point Tracking. Tässä työssä käytettiin PWM-säädintä. PWM-säädin säätää akun latausjännitettä sopivaksi katkomalla aurinkopaneelista tulevaa tasajännitettä ja säätämällä katkonnin pulssinleveyttä. PWM-säätimellä menetetään osa aurinkopaneelien tuottamasta energiasta. MPPT-säädin pyrkii optimoimaan aurinkopaneelin toimintapisteen hyötysuhteeltaan optimaaliseen kohtaan jännitteen ja virran suhteen. MPPT-säädin on hyötysuhteeltaan parempi, mutta myös hinnaltaan korkeampi verrattuna PWM-säätimeen.

Käyttölaitteita, jääkaappi, televisio ja kannettava tietokone, ei hankittu erikseen kokeiluja varten vaan käytettiin saatavilla olevia laitteita. Tästä johtuen minkäänlaista optimointia energiakulutuksen suhteen ei laitehankinnoissa tehty.

3.1 Aurinkoenergia keräys- ja latausjärjestelmä

Aurinkoenergian keräys- ja latausjärjestelmä hankittiin minimikustannusperiaatteella. Aurinkopaneeleita ja akkuja järjestelmään voidaan lisätä myöhemmin tarpeen mukaan. Lataussäätimeksi hankittiin latausvirtaan 20 A_{DC} mitoitettu säädin. Tämä mahdollistaisi useamman säätimen aurinkopaneelin kytkemisen säätimeen. Aurinkoenergian kerääminen tehtiin yhdellä aurinkopaneelilla, jonka mitat olivat 60 cm x 90 cm. Aurinkopaneeli on suunniteltu järjestelmään jonka nimellisjännite on 12 V_{DC} ja sen lähtöjännite on 12 V_{DC} - 16V_{DC} riippuen auringonvalon määrästä ja maksimituotto 90 W. Aurinkopaneeli oli yksikiderakenteinen, joten sen hyötysuhde on 17 - 21 % (Käpylehto 2016, 39).

Aurinkosähköjärjestelmässä tarvitaan lataussäädin. Lataussäätimen sähköiset arvot olivat seuraavat:

- syöttöjännite joko 12 V_{DC} tai 24 V_{DC}
- maksimi virrankäsittelykyky 20 A_{DC}.

Mittausten helpottamiseksi hankittiin vielä LCD-näytöllä varustettu latauksen ja purkauksen seurantalaitte. Tämän avulla pystyttiin seuraamaan latauksen ja purkauksen toimintaa ja akun energian tilaa.

Sähköenergian varastointiin käytettiin auton käynnistysakkua, joka on tyypiltään ns. lyijyakku. Akku oli käytetty ja sen kuntoa ei tarkkaan tiedetty.

3.2 Invertteri

Invertteriä eli vaihtosuuntaajaa tarvitaan tilanteessa, jossa aurinkoenergia varastoidaan tasajännitteenä ja kuluttavat laitteet toimivat vaihtojännitteellä. Hankintavaiheessa ei laskettu tarvittavaa tehoa. Aikaisemmista Koulutuskeskus Salpauksessa tehdyistä kokeiluista tiedettiin, että 300 W tehoinen invertteri ei pystynyt tuottamaan jääkaapin vaatimaa käynnistysvirtaa. Päätettiin hankkia 600 W:n invertteri ja testata tehon riittävyys kokeilemalla. Samoin aikaisemmista kokeiluista tiedettiin, että kaikki

kannettavien tietokoneiden virtalähteet eivät toimineet inverttereillä, jotka eivät tuotaneet siniaaltoa. Sen vuoksi invertteriksi valittiin ns. "True Sine Wave Inverter".

3.3 Käyttölaitteet

Jääkaappina käytettiin vapaan olevaa 100 litran jääkaappia joka oli noin 15 vuoden ikäinen. Jääkaappi energialuokka ei pystytty jäljittämään, mutta oletettavasti energiankulutus oli isompi kuin nykyajan jääkaapeissa. Kannettava tietokone oli noin 8 vuotta vanha 10" näytöllä varustettu laite. Televisio oli 24" peruslaite iältään noin pari vuotta. Kulutuslaitteet vastaavat tyypillistä vapaa-ajan asunnon käyttötavaroita, jotka yleensä valitaan periaatteella "otetaan mitä on saatavilla".

4 MITTAUSSUUNNITELMA

Mittausjärjestelmä rakennettiin omakotitalon pihaan Lahdessa.

Mittauksissa pääpaino oli lyhytaikaisissa mittauksissa eri olosuhteissa energian ja tuoton ja vastaavasti kulutuksen mukaan. Tarkoituksena ei ollut mitata vuotuista pitkän ajanjakson tuottoa ja kulutusta vaan yksittäisiä lyhytaikaisia tapahtumia.

Pääpaino oli selvittää seuraavat asiat:

- energian tuotto eri sääolosuhteissa
- kulutuslaitteiden energian tarve eri tilanteissa.

Mittaukset tehtiin touko - kesäkuussa 2017. Mainittakoon, että kesä 2017 ei ollut mitenkään aurinkoinen. Tästä huolimatta muutamia hyvin aurinkoisia päiviä saatiin mittausjaksolle sopimaan.

4.1 Aurinkopaneelin tuottama energia

Aurinkopaneelin tuotosta päätettiin mitata kolme parametria:

- keskimääräinen vuorokausituotto
- maksimiteho
- varjostuksen vaikutus.

Aikatauluista johtuen vuorokausituoton mittaukset tiedettiin etukäteen rajoittuvan vain muutamiin päiviin. Rekisteröivää automaattista mittausjärjestelmää ei ollut käytössä.

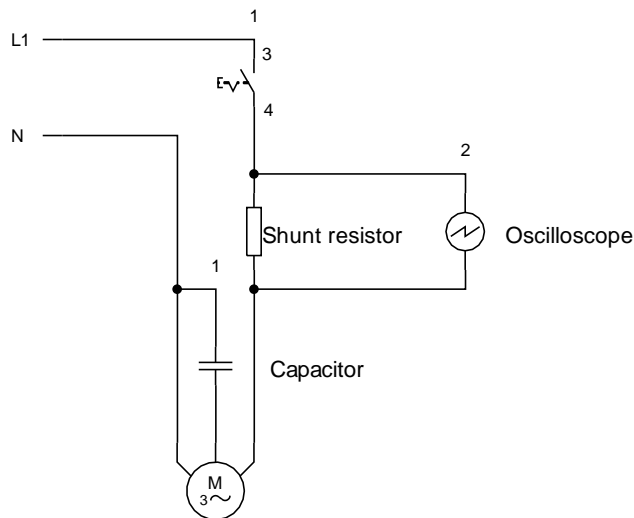
Maksimiteho rekisteröitiin manuaalisesti keskipäivän kohdalla muutamaa päivää seuraten. Maksimitehon mittauksen tarkoituksena oli saada varmistus siitä, että järjestelmä on oikein rakennettu ja tuottaa oletetun energian.

Varjostusta oli tarkoitus tutkia keinotekoisella varjostuksella.

4.2 Käyttölaitteiden kuluttama energia

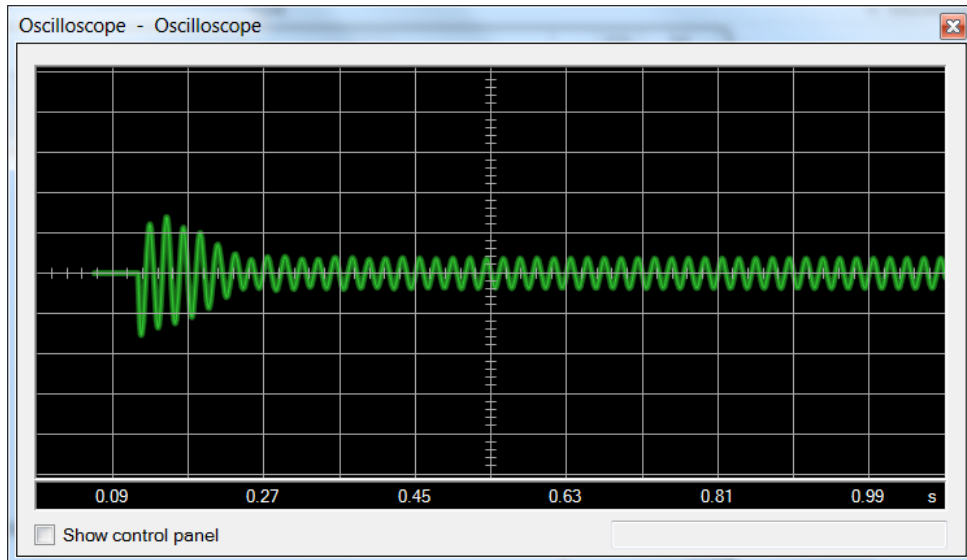
Kulutuslaitteista mitataan keskimääräinen kulutus ajan funktiona. Television ja tietokoneen mittaukset ovat suoraviivaisia kulutetun energian mittauksia.

Jääkaapin kohdalla tilanne on erilainen. Jääkaapin osalta mitattiin keskimääräinen kulutus useamman vuorokauden ajalta. Näin saadaan tasattua kompressorin käyntiaikojen aiheuttamat vaihtelut. Toinen lähinnä invertterin toimintaan vaikuttava seikka on kompressorin käynnistyksessä aiheutuva tehopiikki. Kompressoria pyörittää yksivaiheiseen vaihtovirtaliityntään kytketty kolmivaihemoottori kuvan 8 mukaan.



Kuva 8. Yksinkertaistettu jääkaapin kompressorin moottorin kytkentä

Kuvan 8 mukaisella kytkennällä simuloitiin käynnistysvirta ja tulokseksi saatiin kuvan 9 mukainen käynnistysvirta.



Kuva 9. Simuloitu käynnistysvirta

Simulointitulokset riippuvat oleellisesti kytkennässä olevan moottorin simulointimallin parametreista. Tämän vuoksi tulokset ovat suuntaa-antavia. Periaate käynnistystehon aiheuttamasta virtapiikistä näkyy kuitenkin simuloinnissa.

4.3 Invertterin tuottama signaali

Järjestelmään valittu invertteri oli ns. "True sine wave inverter". Työn kuluessa haluttiin myös mitata, kuinka lähellä siniaaltoa invertterin tuottama signaali on.

5 MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

5.1 Mittausten tulokset

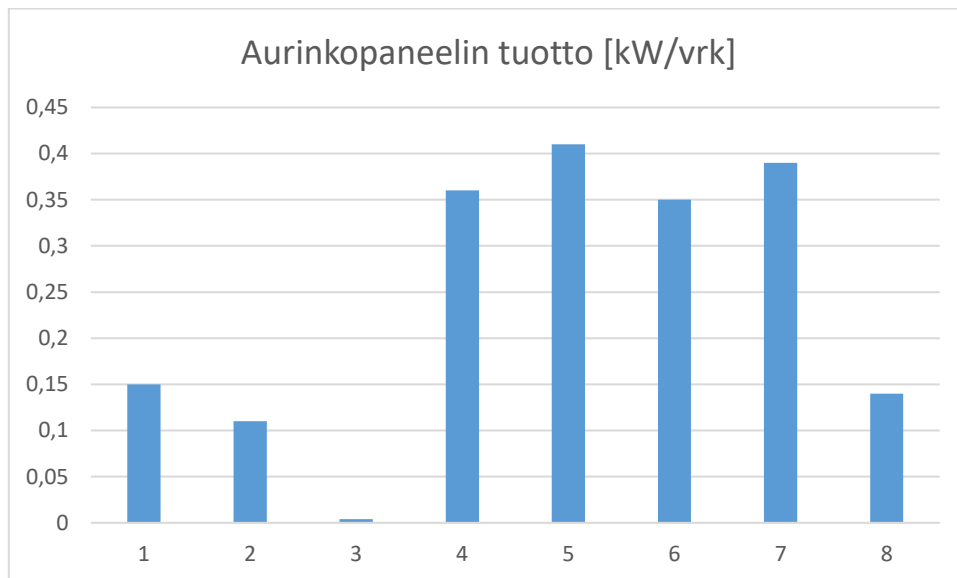
5.1.1 Aurinkopaneelin tuotto

Taulukossa 1 on muutamien sääolosuhteiltaan erilaisten päivien kokonaistuotto. Mittaukset suoritettiin lataussäätimeen liitetyllä seurantayksiköllä ja arvot kirjattiin käsin paperille.

Pvm	Sää	Energia	
7.6.2017	pilvinen	0,15	kWh
8.6.2017	pilvinen	0,11	kWh
9.6.2017	pilvinen ja sateinen	0,004	kWh
14.6.2017	aurinkoinen	0,36	kWh
15.6.2017	aurinkoinen 18 C	0,41	kWh
16.6.2017	aurinkoinen/pilvinen	0,35	kWh
17.6.2017	aurinkoinen 24 C	0,39	kWh
18.6.2017	pilvinen	0,14	kWh
Keskiarvo		0,24	kWh

Taulukko 1. Mitattuja päivätuottoja

Päivätuotoissa on huomattavia eroja. Paras mitattu tuotto on 0,41 kWh aurinkoisena päivänä ja huonoin tuotto 0,004 kWh sateisena päivänä. Keskimääräinen tuotto on 0,24 kWh vuorokaudessa.



Kaavio 1. Päivätuotot graafisena

Kaaviosta näemme, että aurinkoiset päivät ovat luonnollisesti tuottoisimmat. Pilvinen päivä tuottaa noin 40 - 50 % aurinkoisen päivän tuotosta. Sateinen päivä pudottaa tuoton käytännössä nolnaan. Sadepäivät on huomioitava jollain tavalla järjestelmän mitoituksessa, koska niiden tuotto on lähellä nolaa.

Voimme verrata PVGIS-simulaatio-ohjelman tuloksia (esitetty luvussa 2.3 kuva 5) omiin mittaustuloksiin. PVGIS-simulaatio antaa kesäkuun keskimääriseksi päivätuotoksi 0,34 kWh. Mittauksissa käyttämämme järjestelmä antaa keskimääriseksi tuo-

toksi 0,24 kWh (mitattu kahdeksana päivänä). Saatu energia on noin kaksi-kolmasosaa simuloidusta energiatuotosta. Nyt on huomattava, että kesä 2017 oli sateinen ja pilvinen. Kahdeksan päivän otos on lyhyt ja siihen sisältyy todennäköisesti enemmän sateita ja pilvipäiviä verrattuna pitkän aikavälin kesäkuun arvoihin.

Aurinkopaneelin toiminnan selvittämiseksi mitattiin hetkellinen huipputeho aurinkoisissa olosuhteissa keskipäivän aikana. Tämä mittaus tehtiin sen vuoksi, että voitaisiin todeta paneelin toimivuus ja sulkea pois mahdollisen väärän kytkennän tai virallisen komponentin aiheuttamat poikkeamat.

Aurinkopaneelin maksimituottoa varten mitattiin seuraavassa taulukossa olevia arvoja:

Jännite [V]	Virta [A]	Teho [W]
14,4	5,8	83,5
14,9	5,4	80,5

Taulukko 2. Mitattuja huipputehoja

Jännite- ja virta-arvot mitattiin lataussäätimen seurantalaitteella. Seurantalitteen luotettavuutta verrattiin pihtivirtamittarin ja yleismittarin lukemiin samalla mittaushetkellä. Merkittäviä eroja ei ollut. Huipputehomittauksista voidaan päätellä, että järjestelmä oli kunnossa ja toimi odotetusti.

Edellä mainitut mittaukset tehtiin avoimella paikalla varjottomissa olosuhteissa. Koska haluttiin mitata varjostuksen vaikutusta paneelille luotiin keinotekoiset varjostukset seuraavilla tavoilla:

- varjostamalla sarakkeita keinotekoisella peittämisellä
- varjostamalla rivejä keinotekoisella peittämisellä
- lisäämällä vaahteranlehtiä yksi kerrallaan paneelin pinnalle.

Kaikki varjostuskokeet tehtiin sellaisessa tilanteessa, jossa valoisuusolosuhteet eivät muuttuneet. Tästä johtuen tilanne, jossa ei ollut varjostusta toimi vertailukohtana. Käytetyssä paneelissa oli 4 pystysuuntaista saraketta ja 18 vaakasuuntaista riviä ja kennoja paneelissa oli yhteensä 72.

Sarakkeita varjostamalla saatiin seuraavan taulukon ilmoittamat luvut:

Peitetyt sarakkeet	U[V]	I[A]	P[W]
0	12,5	4,3	53,75
1	12,4	2,3	28,52
2	12,4	0	0
3	12,2	0	0
4	9,5	0	0

Taulukko 3. Peitettyjen sarakkeiden vaikutus tehoon

Pystysuuntaisten sarakkeiden peittäminen vaikutti radikaalisti tuotettuun tehoon. Yhden sarakkeen peittäminen pudotti tehon alle puoleen ja useamman sarakkeen peitto pudotti tehon nollaan.

Rivejä varjostamalla saatiin seuraavan taulukon tulokset:

Peitetyt rivit	U[V]	I[A]	P[W]
0	12,5	4,3	53,75
1	12,5	0,2	2,5
2	12,4	0	0
3	12,4	0	0
4	12,2	0	0
5	12,2	0	0
6	12,2	0	0
7	17,7	0	0
8	17,8	0	0
9	16,3	0	0
10	16	0	0
11	16	0	0
12	15,2	0	0
13	14,6	0	0
14	13,7	0	0
15	13,2	0	0
16	12,9	0	0
17	12,3	0	0
18	11,7	0	0

Taulukko 4. Peitettyjen rivien vaikutus tehoon

Rivien peittäminen aiheutti samalla tavalla radikaalin tehon pudotuksen. Jo yhden rivin peittäminen pudotti tehon käytännössä nollaan.

Todellisissa tilanteissa varjostukset eivät ole koskaan noin jyrkkiä ja tasareunaisia. Seuraava koe tehtiin aurinkopaneelin pinnalle kiinnitettyjen vaahteranlehtien avulla. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki vaahteranlehtien sijainnista paneelilla. Taulukko viidessä esitetään vaikutukset.



Kuva 10. Vaahteranlehtien sijoittaminen paneelilla

Vaahteranlehdet	U[V]	I[A]	P[W]
0	13,3	4,3	57,2
1	13,4	3,4	45,6
2	13,5	3,1	41,9
3	13,5	2,9	39,2
4	13,5	2,7	36,5
5	13,5	2,7	36,5
6	13,5	2,7	36,5
7	13,5	2,7	36,5

Taulukko 5. Vaahteranlehtien vaikutus tehoon

Tehon putoaminen ei ole läheskään yhtä jyrkkää kuin sarakkeiden ja rivien peitolla. Merkittävä pudotus kuitenkin tapahtuu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että paneelit kannattaa sijoittaa paikkaan jossa on mahdollisimman vähän varjostusta ja jossa ne likaantuvat mahdollisimman vähän. Paneelien puhdistus aika ajoin on myös suotavaa.

5.1.2 Käyttölaitteiden kulutus

Jääkaapin energiankulutus mitattiin useamman vuorokauden aikana jolloin saatiin tasattua vuorokausivaihteluita.

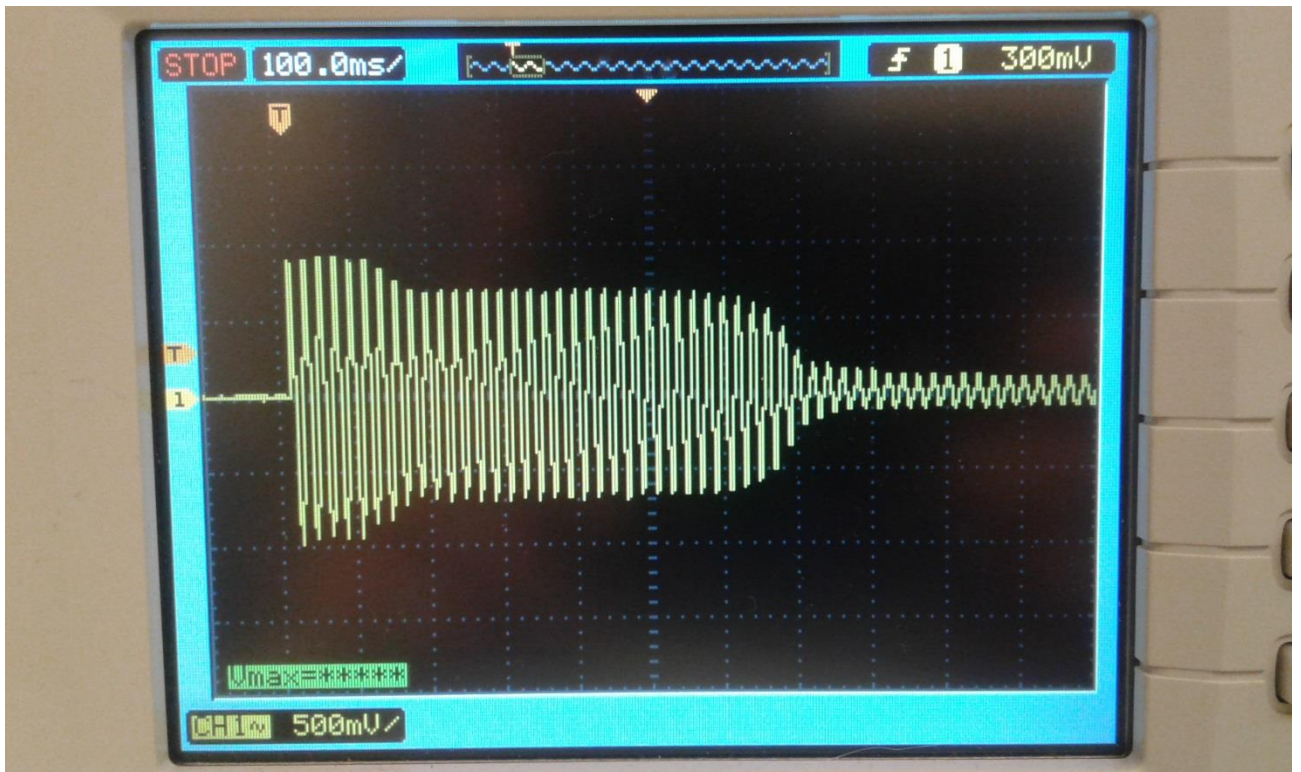
Mittausjakso	Vuorokaudet	Tunnit	Tunnit yhteensä	
	7	6	174	h
Energia			1,607	kWh
Energia/vrk			0,222	kWh
Keskimääräinen teho			9,236	W

Taulukko 6. Jääkaapin energiankulutus

Jääkaapin keskimääräinen energiankulutus ei riitä invertterin mitoitusperusteeksi.

Jääkaapin osalta mitattiin myös käynnistyksen aiheuttama virtapiikki.

Mittauksen tuloksena saatiin oskilloskoopilla mitattu virtakuvaaja, joka on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Jääkaapin käynnistysvaiheessa aiheuttama virtakuvaaja

Käynnistysvirta on moninkertainen verrattuna vakaan tilan virtaan. Mittapään herkkyys on 100 mV/A. Oskilloskoopin jänniteasteikko on mittaushetkellä 500 mV/ruutu. Kuvasta voidaan laskea virtapiikin jännitearvoksi 2000 mV_{pp}, joka skaalattuna virran

tehollisarvoksi vastaa arvoa 7 A. Stabiloiduttuaan mitattu jännite saa arvon 100 mV_{pp}. Tämä vastaa skaalattuna arvoa 0,7 A. Jääkaapin käynnistysvirta on noin kymmenkertainen normaaliin käynnistysvirtaan verrattuna. Edellä mainitut laskelmat tehtiin oskilloskoopin kuvasta arvioimalla, joten arvot eivät ole tarkkoja mutta kylläkin suuntaa antavia. Käynnistysvirta-arviosta ei saatu mitoitusperusteita invertterille, koska invertterin spesifikaatioissa ei ole tyypillisesti dynaamisia ominaisuuksia ilmoitettu. Karkea johtopäätös voidaan kuitenkin tehdä ylimerittämisen tarpeesta. Käytetty 600 W:n invertteri toimi käytetyssä järjestelmässä kohtuullisen hyvin. Joissain tapauksissa invertteri jouduttiin käynnistämään akun tyhjennyttyä kahteen kertaan manuaalisesti, koska ensimmäisellä kerralla se meni ylikuormitustilaan. Näillä kokemuksilla ainakaan pienempää invertteriä ei voida käyttää.

Jääkaapin käyntiajoista ei tehty mittauksia. Käyntiaika voidaan kuitenkin laskea, kun tiedämme vuorokautisen energiankulutuksen ja jääkaapin ottaman virran käyntitilanteessa. Laskelma käyntiajasta on esitetty seuraavassa taulukossa:

Energiankulutus/vrk [kWh]	Käyntivirta [A]	Käyntiteho [kW]	Käyntiaika [h]
0,222	0,5	0,115	1,93

Taulukko 7. Jääkaapin energiankulutus käyntiajaksi muunnettuna

Käyntiajat olivat mittauksissa optimaalisia, koska jääkaappiin ei lisätty eikä poistettu mitään eikä niin ollen ovea avattu. Myöskään jäähdytettävää lämpökuormaa ei esiintynyt.

Tietokoneen energiankulutus mitattiin käytöllä, jossa joko selattiin nettiä tai kirjoitettiin tekstinkäsittelyllä dokumenttia. Sen lisäksi mitattiin lepotilan energiankulutus.

Täysi käyttö			0,046	kWh
STBY			0,002	kWh

Taulukko 8. Tietokoneen energiankulutus

Television energiankulutus on taulukossa 9.

Täysi käyttö			0,043	kWh
Lepotila			0,003	kWh

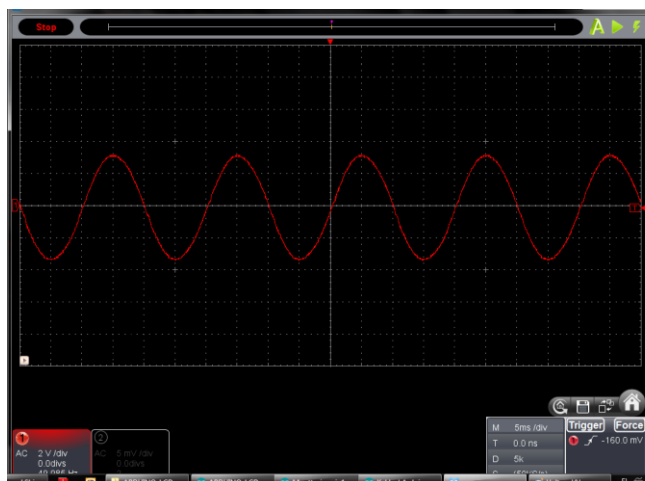
Taulukko 9. Television energiankulutus

5.1.3 Muut kulutukseen vaikuttavat tekijät

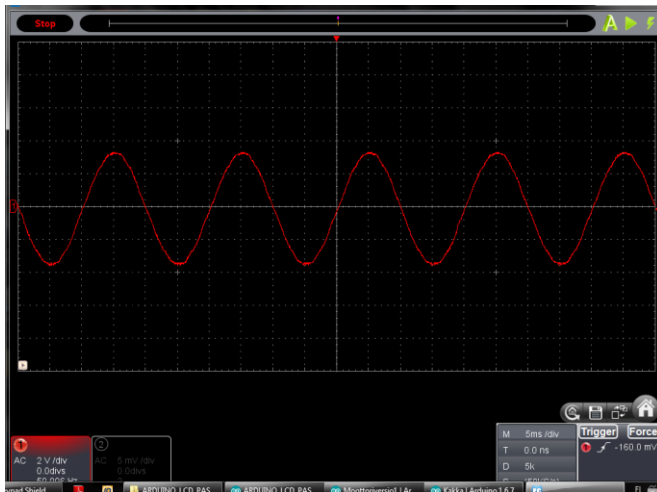
Yllätyksellisin kulutukseen vaikuttava tekijä oli invertterin kuluttama virta vaikka kuormitusta ei ollut. Invertterin kuluttama virta mitattiin lepotilassa ja se oli 0,69 A_{DC}. Tämä siis mitattiin 12 V_{DC} liittynästä. Lepotilan tehoksi saatiin siten 8,28 W. Jääkaapin käyntiajaksi laskettiin 1,93 h/vrk. Todellisessa käytössä arvioidaan laskelmia varten käyntiajaksi 4 h/vrk. Laskelmia varten oletettiin, että invertteri vie pohjavirtana myös tuon lepovirran vaikka kuormaa olisi. Näin saadaan invertterin vuoro-
kautiseksi kulutukseksi 8,28 W x 24 h = 0,199 kWh. Tässä piilee mahdollisuus virhelaskelmaan, mikäli oletus invertterin lepovirran summaamiseksi käyntivirtaan. Virhe ei kuitenkaan jääkaapin käyttöajoilla (4h/vrk) ole kovin iso. Todennäköisesti suuremman epävarmuustekijän aiheuttaa jääkaapin käyttöolosuhteiden laaja variaatio.

5.1.4 Invertterin signaalin mittaukset

Invertterin tuottamasta signaalista mitattiin oskilloskoopilla sekä jännite ilman kuormaa että virta 40 W hehkulamppukuormalla. Mittaustuloksia verrattiin normaaliin verkkovirtaan ja jännitteeseen.

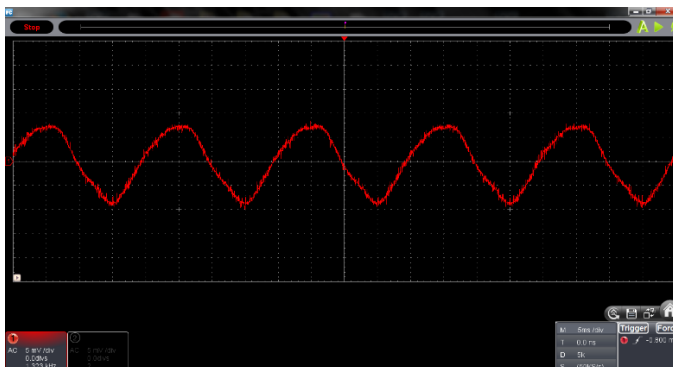


Kuva 12. Invertterin tuottama jännite

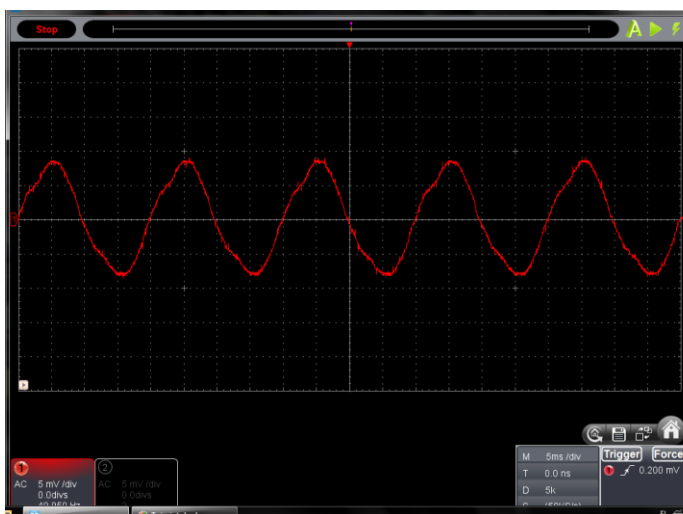


Kuva 13. Verkon tuottama jännite

Jännitteen mittauksissa ei merkittävää eroa ollut käytön kannalta. Aaltomuodot olivat visuaalisesti melkein identtiset



Kuva 14. Invertterin tuottama virta kuormana 40 W hehkulamppu



Kuva 15. Verkon tuottama virta kuormana 40 W hehkulamppu

Virran aaltomuodot olivat aika lähellä toisiaan. Invertteriltä mitattuna signaalissa näkyy jonkin verran enemmän kohinaa. Tämä tarkoittanee enemmän korkeamman taajuuden komponentteja signaalissa. Tämä on oletettavaakin koska kyseessä on PWM-tekniikalla muodostettu signaali. Olennaista ero ei laitteilla kuitenkaan ole. Aaltomuoto ei ole puhdas siniaalto. Tämä voi johtua joko mittapäänä käytetyn virtapihdin epälineaarisuudesta tai hehkulampun epälineaarisuudesta kuormana.

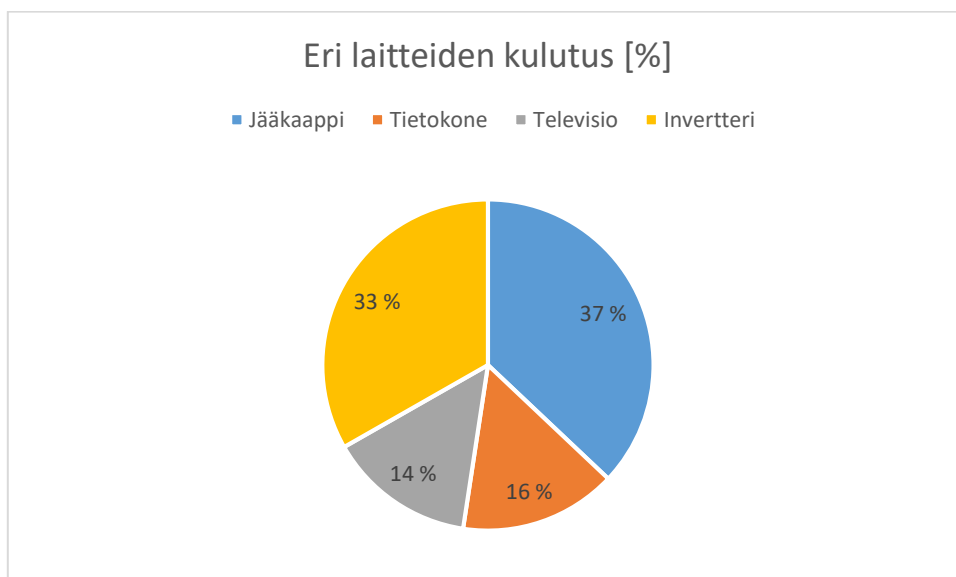
5.2 Analysointi

Aloitamme tarkastelun vuorokautisesta kulutuksesta. Oletamme, että jääkaappi on normaalisti päällä. Tietokoneen käyttöä on 2 tuntia vuorokaudessa ja samoin television. Vuorokauden kokonaiskulutus on taulukossa 10.

Laite	Päällä [h]	Kulutus/tunti [kWh]	Kokonaiskulutus/vrk [kWh]
Jääkaappi			0,222
Tietokone	2	0,046	0,092
Televisio	2	0,043	0,086
Invertteri	24	0,0083	0,199
Yhteensä			0,599

Taulukko 10. Kokonaiskulutus vuorokaudessa

Kokonaiskulutusten osuus näkyy graafisesti kaaviossa 2.



Kaavio 2. Kokonaiskulutuksen jakauma laitteittain

Kulutuksen jakaumasta nähdään, että invertteri ja sen ottama lepovirta vie kulutuksesta kolmanneksen.

Taulukossa 11 on tarkasteltu vuorokautista tuottoa ja kulutusta eri yhdistelmillä.

Keskimääräinen tuotto [kWh]	Invertteri [kWh]	Jääkaappi [kWh]	Televisio [kWh]	Tietokone [kWh]	Erotus [kWh]
0,24	0,199	0,222			-0,182
0,24	0,199	0,222	0,086		-0,268
0,24	0,199	0,222		0,092	-0,274
0,24	0,199	0,222	0,086	0,092	-0,360

Taulukko 11. Keskimääräisen tuoton ja kulutuksen vertailu

Taulukosta nähdään heti, että testatulla kokoonpanolla ei vuorokautista tuottoa ja kulutusta saatu tasapainoon. Tämä todettiin myös käytännön testeissä. Päivän aikana varattu akku ei pystynyt syöttämään tarvittavaa virtaa jääkaapille. Kompressori ei enää aamulla pyörinyt ja lämpötila jääkaapissa oli noussut. Tarkastelussa on prioriteetti annettu jääkaapille, jonka oletetaan olevan aina käytössä. Samoin invertterin ottama energia on aina käytössä, koska jääkaappi ei toimi ilman invertteriä. Tietokone ja televisio ovat vaihtoehtoisia kulutuslaitteita.

Akkuna käytettiin normaalia 12 V_{DC} / 60 Ah akkua, joka pystyy teoriassa varastoitmaan 0,72 kWh. Tarkastelun alaisena olevaan järjestelmään tämä kapasiteetti riittäisi vuorokauden keskimääräisen energian varastoitukseen. Taulukossa 12 on esitetty akun varastointikyky useamman akun rinnankytkennän tapauksessa.

Vuorokautinen kulutus [kWh]	Akkuja 60 Ah [kpl]	Kapasiteetti [kWh]	Vuorokausia [kpl]
0,599	1	0,7	1,2
0,599	2	1,4	2,4
0,599	3	2,2	3,6

Taulukko 12. Akkujen rinnankytkennän vaikutus

Koska vuorokautista energiantuottoa ei pysty takaamaan voisi hyvä arvio olla akkukapasiteetin tuplaaminen 120 Ah. Tällä ratkaisulla saataisiin energian varastointi ratkaistua.

Energian tuotossa on testatussa järjestelmässä kaksi ongelmaa:

- keskimääräinen vuorokausituotto ei riitä kulutuksen kattamiseen
- energian varastointi pilvisten ja sateisten päivien varalle.

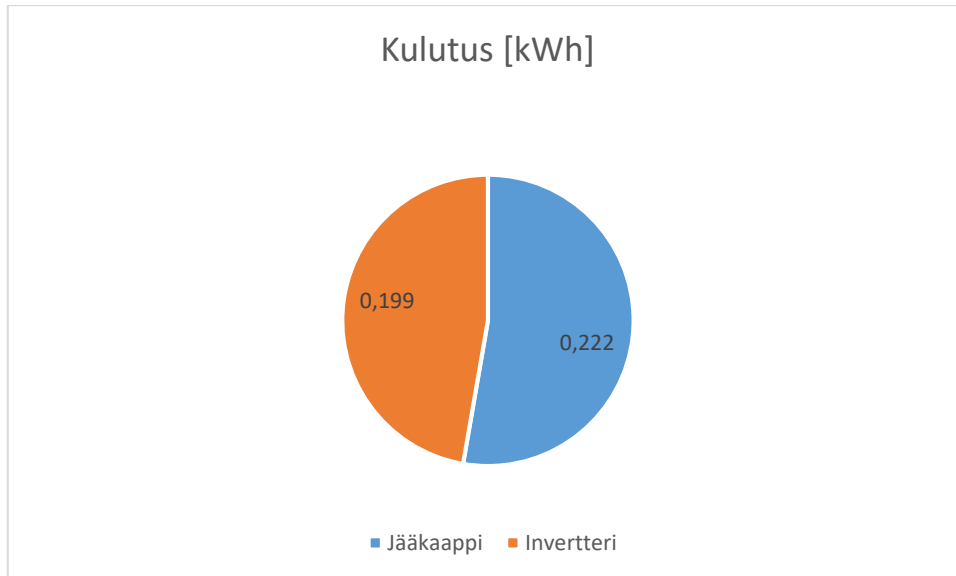
Paras mitattu tuotto oli 0,41 kWh/vrk ja mitattu kulutus testatulla laitteistolla oli 0,6 kWh. Tämä tarkoittaa, että edes hyvänä päivänä emme pysty tuottamaan tarvittavaa energiaa. Paneeleita siis tarvitaan lisää. Paneelien määrän laskennassa käytämme mitattua keskimääräistä energiatuottoa. Taulukossa 13 on laskettu energiantuotto eri paneelimäärillä.

Vuorokautinen kulutus [kWh]	Paneeleja [kpl]	Paneelien tuotto[kWh]	Vuorokausia [kpl]
0,60	1	0,24	0,4
0,60	2	0,48	0,8
0,60	3	0,72	1,2
0,60	4	0,96	1,6
0,60	5	1,20	2,0
0,60	6	1,44	2,4

Taulukko 13. Aurinkopaneelien rinnankytkennän vaikutus

Keskimääräisessä energian vuorokautisessa tuotossa on ongelmana se, että ei voida ennustaa vuorokausivaihteluita. Käytännössä esimerkiksi peräkkäisten sadepäivien määrä on ennustamaton. Tämän vuoksi järjestelmä on hyvä ylimitoittaa. Ylimitoituksen perustaksi voidaan ottaa taulukossa 13 lasketut kapasiteetit. Jos haluamme mitoituksen varman päälle viiden paneelin järjestelmä näyttäisi aika hyvältä. Alkuperäisessä laitteistomitoituksessa järjestelmässä oli vain yksi paneeli. Akkukapasiteetissä muutos ei ollut niin iso; siirrytään yhdestä akusta kahteen.

Käyttäjät pystyvät vaikuttamaan energiankulutukseen säätelemällä television ja tietokoneen käyttöä. Jos aurinkoenergiaa on käytössä vain vähän, pidetään ainoastaan jääkaappi käytössä. Jääkaappi vie energiaa sen minkä vie ja invertterin pitää olla kytkettynä koko ajan. Jos katsomme jääkaapin ja invertterin energiankulusta vuorokaudessa saamme seuraavan kaavion:



Kaavio 3. Jääkaapin ja invertterin kulutuksen vertailu

Kulutus menee lähes puolittain. Invertterin osuus on iso johtuen lepovirrasta. Invertterin osuuden pienentämiseksi on kaksi tapaa:

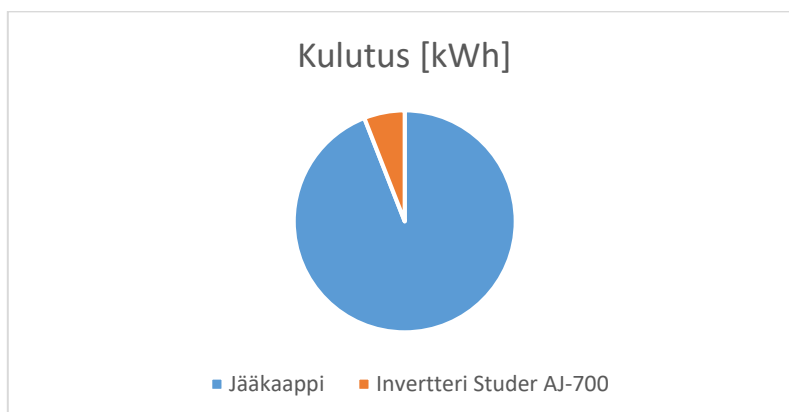
- hankitaan invertteri, jonka lepovirta on mahdollisimman pieni
- hankitaan jääkaappi, joka toimii tasavirralla.

Esimerkkinä pienen lepovirran omaavasta invertteristä on sveitsiläinen Studer Aj 600. Tässä 600 W:n invertterissä lepotilan teho on 0,6 W @ 24 V_{DC}. Mittauksissa käytetyssä invertterissä lepotilan teho oli 0,7 A x 12 V_{DC} = 8,4 W.

Invertteri	Lepoteho [W]	Energia vrk. [kWh]
Mascot 2286	8,3	0,199
Studer AJ-700	0,6	0,014

Taulukko 12. Eri inverttereiden lepoenergian kulutukset

Jos nyt lasketaan energiakulutukset jääkaapin ja Studerin invertterin välillä saadaan seuraava kaavio:



Kaavio 4. Jääkaapin ja Studer AJ-700 invertterin kulutuksen vertailu

Kaaviosta nähdään kuinka invertterin osuus kulutuksesta pienenee merkittävästi.

Tasavirtajääkaappi on vaihtoehto perinteiselle jääkaapille. Hankintahinta on kalliimpi mutta toisaalta invertteriä ei tarvitse hankkia. Tasavirralla toimivia televisioita saa myös suhteellisen edullisesti. Ongelmaksi muodostuu kannettava tietokone. Kannettavien tietokoneiden virtalähteiden lähtöjännite on aika useasti 18 V_{DC} ja tämä jännite hankala aurinkopaneelijärjestelmien kannalta. Akustosta saadaan yleensä joko 12 V_{DC} tai 24 V_{DC}. Tämä ei suoraan käy kannettavalle tietokoneelle.

5.3 Järjestelmän päivitys toimivaksi

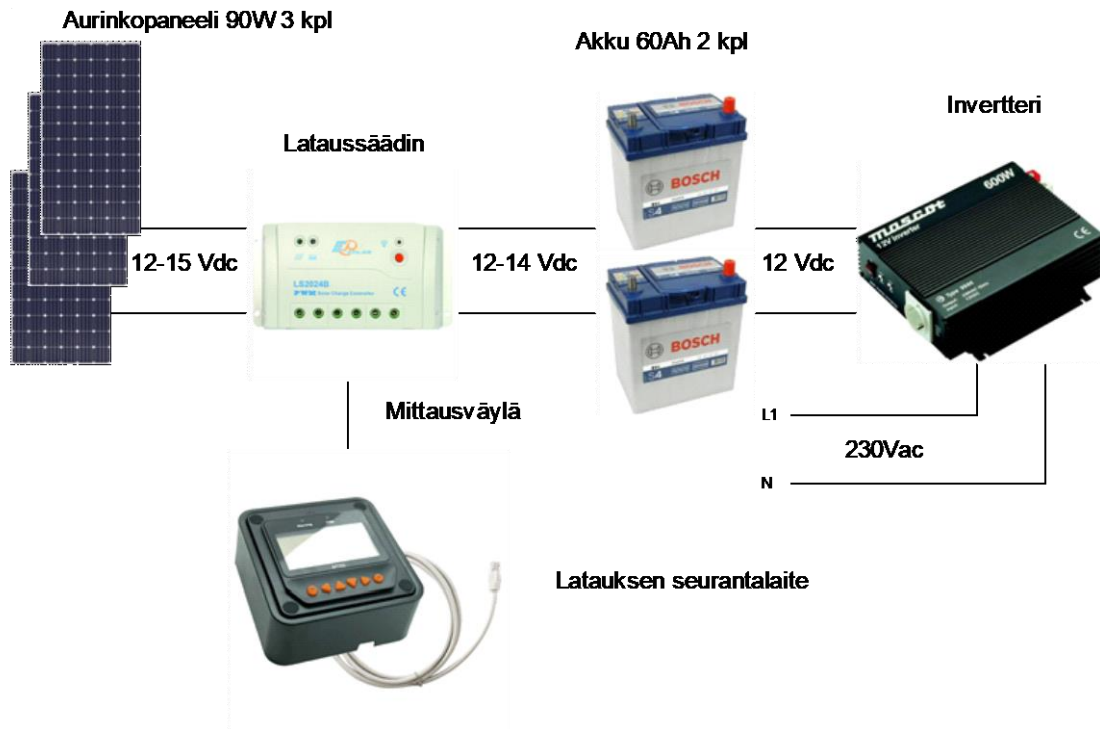
Mitattu ja testattu järjestelmä ei osoittautunut käyttökelpoiseksi. Energian varastoinnissa yhdellä 60 Ah akulla ei saavuteta tarvittavaa varmuuskerrointa pilvisten ja saasteisten päivien varalla. Energian tuotto oli joka tapauksessa riittämätön.

Energian varastoinnin lisääminen on helppoa ja suhteellisen edullistakin kasvattamalla akkukapasiteettia. Kapasiteetin kasvattamiseksi on kaksi vaihtoehtoa:

- kaksi 60 Ah akkua rinnakkain kytkettynä
- yksi 120 Ah akku.

Parempi ratkaisu on yksi 120 Ah akku. Tänä johtuu siitä, että kahdella erillisellä akulla ei ole koskaan samoja parametreja. Esimerkiksi akkujen sisäiset vastukset ovat erilaisia ja se aiheuttaa toisistaan poikkeavia lataus- ja purkuominaisuuksia. kannattaa myös ostaa akku, joka on nimenomaan tarkoitettu energian varastointiin. Auton akku on optimoitu suureen käynnistysvirtaan ja se ei ole paras mahdollinen energian varastointiin.

Energian tuottoa saadaan paremmaksi asentamalla aurinkopaneeleita rinnakkain. Taulukossa 13 oli laskettu tarvetta viidelle paneelille. Pienemmälläkin paneelimäärällä selvittää, kunhan muutetaan invertteri toisenlaiseksi. Jos käytössä on invertteri, jossa lepovirta on todella pieni, kokonaisenergiankulutus putoaa arvosta 0,6 kWh/vrk arvoon 0,4 kWh/vrk. Invertterin vaihto pudottaa energiankulutusta kolmanneksen ja samalla energiantuoton tarvetta kolmanneksen. Viiden paneelin sijasta voimme valita kolme 90 W paneelia. Kuvassa 16 esitetty kokoonpano on minimikokoonpano jolla tuotannon voi aloittaa.



Kuva 16. Päivitetty laitteisto energian lataamiseen ja varastointiin

Tämän kaltainen järjestelmä on skaalautuva, mikä tarkoittaa sitä, että voimme lisätä siihen joko aurinkopaneeleita tai akkuja. Laitteistoa käytettäessä voi seurata tilannetta ja lisätä paneeleita tai akkuja tarpeen mukaan. Lataussäädin ja invertteri eivät kuitenkaan skaalaudu. Jos on alun perin alimitoitettu lataussäädin tai invertteri, niin ainoa mahdollisuus on vaihtaa se isompaan.

Käytetty lataussäädin oli PWM-tyyppinen. Lataussäätimiä on myös MPPT-tyyppisiä. MPPT-tyyppinen säädin on teoriassa hyötysuhteeltaan parempi kuin PWM-säädin. Päivitetyssä järjestelmässä voisi kokeilla MPPT-tyyppistä säädintä.

Energiankulutusta voi säästää myös hankkimalla pienivirtaisempia kulutuslaitteita. Mittauksissa käytetyt laitteet eivät varmaankaan olleet energiatehokkaimpia. Jos käyttää lepovirtaa minimoivaa jääkaappia niin tästä pieni huomio. Markkinoille on tulossa jääkaappeja joissa on ns. invertterikäyttö. Tässä jääkaapin kompressorin moottoria ohjataan sisäisellä taajuusmuuttajalla. Tällaisen jääkaapin tapauksessa aurinkopaneelijärjestelmän invertteri ei mene koskaan, tai ainakin harvemmin verrattuna perinteiseen tekniikkaan, lepotilaan ja energiankulutus nousee.

Aurinkopaneelijärjestelmissä tulee todennäköisesti yleistymään sellainen invertteri, jossa lataussäädin on rakennettu invertterin sisään. Samoin lataustilan seurantalaitte tulee olemaan sovellus matkapuhelimessa tai tietokoneessa Bluetooth- tai WLAN-

liitännällä. Tämä tulee vähentämään kaapelointia ja laskemaan hintoja jonkin verran.

6 JATKOKEHITYS

Mielenkiintoinen jatkoprojekti olisi työn loppuarviossa ehdotetun laitteiston kokoaminen, testaus ja mittaus. Jatkoprojektilla saisi varmuuden esitettyjen muutosehdotusten toimivuudesta.

Toinen mielenkiintoinen asia selvitettäväksi olisi erilaisten lataussäätimien hyötysuhteen vertailu. markkinoilla on kahta eri tyyppiä olevia säätimiä:

- MPPT-säädin
- PWM-säädin.

MPPT on lyhenne sanoista Maximum Power Point Tracking. MPPT-säädin optimoi aurinkopaneelin jännitteen ja virran toimintapisteen maksimiteholle.

PWM tulee sanoista Pulse Width Modulation. PWM-säädin ei tee samankaltaista toimintapisteen optimointia kuten MPPT-säädin. Teoriassa MPPT-säädin on hyötysuhteeltaan parempi kuin PWM-säädin.

Säätimien eroja voisi mitata kolmella eri tavalla; MPPT-säädin, PWM-säädin ja lataus suoraan aurinkopaneelistä ilman säädintä. Yleisesti MPPT-säädintä pidetään hyötysuhteeltaan parempana kuin PWM -säädintä. Tässä työssä käytetty säädin oli PWM-tyyppinen.

7 YHTEENVETO

Työn kuluessa suunnitellut mittaukset saatiin tehtyä. Mittauspäiviä olisi tietenkin voinut olla enemmän, mutta tekniset pääpiirteet tämän kaltaisessa järjestelmässä tulivat hyvin esille.

Ammattikoulukäyttöön laitteisto sopisi hyvin. Mittaukset ovat selkeitä ja suhteellisen yksinkertaisia. Mittauksien tulkinnessa käytettävä matematiikka on tasoltaan helppoa ja hyvin ammattikouluun soveltuvaa. Perussuureet kuten jännite, virta, teho ja energia tulevat tutuiksi käytännön kokeilujen ja mittausten kautta. Iivo Korte on

opinnäytetyössään Aurinkoenergian opetuspaketti määritellyt jos kattavan paketin suoritettavista mittauksista. (Korte 2017).

Myös energian tuoton ja sen varastoinnin käsite tulisi hyvin esille tämän kaltaisen järjestelmän tutkimisessa. Nykyään käytävässä energiakeskustelussa tuo energian tuoton ja energian varastoinnin välinen yhteys tuntuu välillä kadonneen varsinkin kun keskustellaan aurinkoenergiasta tai tuulivoimasta.

LÄHTEET

Alternative Energy Tutorials s.a. Photovoltaic Solar Cells. Saatavissa: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/photovoltaics.html>
[Viitattu: 11.12.2017]

Erat B., Erkkilä V., Löfgren T., Nyman C., Peltola S., Suokivi H. 2001. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. 1. painos. Helsinki: Kustantajat Sarmala Oy.

Neuvo Y., Ormala E., Kuikka M., 2015. Future of Energy. Aalto University Bing Bang Series #7. Helsinki: Aalto University's Multidisciplinary Institute of Digitalisation and Energy.

Käpylehto J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. 1. painos. Helsinki: Into kustannus Oy.

Käpylehto J. 2016. Mökille sähköt auringosta ja tuulesta. 2. painos. Helsinki: Into Kustannus Oy.

Korte I. 2017. Aurinkoenergian opetuspaketti. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutus. Opinnäytetyö.

National Instruments White Paper: Photovoltaic Cell I-V Characterization Theory and LabVIEW Analyzis Code. Saatavissa: <http://www.ni.com/white-paper/7230/en/>
[Viitattu 11.12.2016]

Alternative Energy Tutorials s.a. Photovoltaic Solar Cells. Saatavissa: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/photovoltaics.html>
[Viitattu: 11.12.2017]

PVGIS for Europe s.a. Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe.html>
[Viitattu: 11.12.2017]

Smets A., Jäger K., Olindo I., van Swaaij R., Zeman M. 2016. Solar Energy. Cambridge. 1. Painos. Cambridge: UIT Cambridge Ltd.

Tahkokorpi M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. 1. painos. Helsinki: Into kustannus Oy.

Liite 1. Käytetyt mittalaitteet



Yleismittari Fluke 117



Pihvirtamittari CEM DT-337

Energiamittari EMU Check
0,1 W – 2300 W

USB-oskilloskooppi PeakTech 1290



AC Current Clamp i 200s



Osilloskooppi Agilent DSO1052B