

Oskari Tallqvist

Sulautettu hybridaurinkosähköjärjestelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

11.3.2013

| | |
|---|--|
| Tekijä Otsikko | Oskari Tallqvist Sulautettu hybridiaurinkosähköjärjestelmä |
| Sivumäärä Aika | 35 sivua + 2 liitettä 11.3.2013 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | sähkötekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | sähkövoimatekniikka |
| Ohjaaja | lehtori Osmo Massinen |
| <p>Insinööriytyössä selvitettiin aurinkosähköjärjestelmien toimintaa, rakennetta, järjestelmien eroja, tulevaisuutta, nykyhetkistä tilaa Suomessa ja niiden soveltuvuutta loma-asuntoon. Selvityksen perusteella valittiin sopiva aurinkosähköjärjestelmä loma-asuntoon Salon seudulle.</p> <p>Työssä tavoitteena oli uuden omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu, mitoitus, asentaminen ja pääkeskuksen sekä varavoimasovelluksen rakentaminen järjestelmään. Tietoa aurinkosähkötehosta etsittiin paikalliselta sääasemalta, ja tuloksista ilmeni arvojen riittävyys järjestelmän toimintaan kesäisin.</p> <p>Aurinkosähköjärjestelmä mitoitettiin valaistuksen ja elektroniikkalaitteiden kuormien huipputehojen ja minimikäyttöaikojen mukaan. Saatujen tulosten avulla mitoitettiin akusto, aurinkopaneelit ja lataussäädin. Koko järjestelmään liitettiin hybridikäyttöön bensiiniaggregaatti suurempaa tehoa varten, jota ei ole taloudellisesti mielekäästä tuottaa aurinkoenergialla. Lisäksi järjestelmään rakennettiin pääkeskus, joka sisältää lataussäätimen ja invertterin vaihtosähkökuormia varten. Työssä rakennettiin myös avoimen lähdekoodin energiamittari järjestelmään myöhemmin liitettäväksi.</p> <p>Lopputuloksena syntyi toimiva sulautettu hybridiaurinkosähköjärjestelmä, joka osoittautui omavaraiseksi vähintään halutun kahden päivän ajaksi. Järjestelmän avulla loma-asuntoon saatiin toimiva valaistus ja sähköistys.</p> <p>Projektin kokemukset osoittivat hybridiaurinkosähköjärjestelmän rakentamisen pitkäjänteiseksi prosessiksi ja sen investointikustannusten olevan kilpailukykyisiä mökin sähköistämisessä. Investointikustannuksissa onnistuttiin alittamaan paikallisen verkkoliityntämaksun alin luokka. Tulevaisuudessa järjestelmä on laajennettavissa ja mukautettavissa sen hetken tarpeisiin.</p> | |
| Avainsanat | Aurinkosähköjärjestelmä, aurinkopaneeli, omavarainen, lataussäädin |

| | |
|--|--|
| Author Title | Oskari Tallqvist Open Source Hybrid Photovoltaic System |
| Number of Pages Date | 35 pages + 2 appendices 11 March 2013 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Electrical Engineering |
| Specialisation option | Electrical Power Engineering |
| Instructor | Osmo Massinen, Senior Lecturer |
| <p>This thesis handles functions, structures, future, and the solar power systems` present state in Finland, their suitability for a holiday home and differences of photovoltaic systems. Based on this study, a suitable photovoltaic system was selected for a holiday home in the Salo area.</p> <p>The aim of this thesis was to plan, size and install a self-sustaining solar power system and to build a main electrical center and a back-up power system application for the system. Information on solar electric power was gathered from a local weather station and the results showed that the values were sufficient for the system to operate during summer.</p> <p>The photovoltaic system was sized based on load peak intensities during minimum operating times of lighting and electronic loads. Battery, solar panels and a charge controller were sized by using these results. The whole system includes a hybrid gasoline generator for higher powers that are not economically viable to produce with solar energy. Additionally, an electrical center was built to the system, including a charging controller and an inverter for AC loads. An open source energy meter was built as well for later installment.</p> <p>As a result, a functioning open source hybrid photovoltaic system was build and it turned out to be self-sustaining for the wanted two days period. By means of the system, lighting and electricity are provided for the holiday home.</p> <p>This project showed that the building of a hybrid photovoltaic system is a persistent process and that its investment costs are competitive in a holiday home`s electrification. Investment costs succeeded to be under the lowest costs for connecting the holiday home to local power-distribution network. In future, it is possible to extend the system and modulate it for future requirements.</p> | |
| Keywords | Photovoltaic system, solar panel, self-sustaining, charge controller |

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Aurinkosähköjärjestelmät yleisesti | 2 |
| 2.1 | Aurinkosähkön tulevaisuus | 4 |
| 2.2 | Aurinkosähköjärjestelmä Suomessa | 5 |
| 2.3 | Aurinkosähköjärjestelmän valinta ja soveltuvuus kohteen loma-asuntoon | 7 |
| 3 | Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu | 10 |
| 4 | Hybridiaurinkosähköjärjestelmän eri osat ja toiminta | 20 |
| 5 | Aurinkosähköjärjestelmän keskus | 25 |
| 6 | Sulautetun hybridiaurinkosähköjärjestelmän kokonaishinta | 32 |
| 7 | Yhteenveto | 33 |
| | Lähteet | 34 |

Liitteet

Liite 1. Aurinkosähköjärjestelmän pääkaavio ja energiamittarin kytkentäkaavio

Liite 2. Energiamittarin avoin lähdekoodi

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään pienen omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän soveltuvuutta loma-asuntoon Salon seudulle. Tavoitteena on uuden järjestelmän mitoitus, rakentaminen, asennus, varavoimasovelluksen liittäminen järjestelmän tueksi sekä sulautetun energiamittarin rakentaminen järjestelmään liitettäväksi.

Aurinkosähköjärjestelmän tarkoituksena on sähköistää loma-asunto omavaraiseksi kesäkäyttöön ja tuoda lisämukavuutta asumiseen sekä helpottaa toimintaa loma-asunnolla. Sähköjärjestelmä mahdollistaa valaistuksen illalla ja yleisten elektroniikkalaitteiden käytön. Varavoimasovellus mahdollistaa myös suuritehoisten laitteiden käytön, jotka helpottavat loma-asunnolla työskentelyä sekä sen kunnossapitoa.

Aurinkoenergia on nykyaikainen tekniikka, ja sen kilpailukyky on kasvamassa verrattuna tavanomaiseen sähköntuotantoon. Aurinkoenergian käyttö on nopeasti lisääntynyt, ja trendi näyttää yhä kasvavalta. Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen rakennuksissa on nykyaikainen ratkaisu, johon kannattaa varautua tulevaisuutta varten rakennettaessa ja remontoitaessa. Sen hyödyntäminen on myös osana EU:n asettamia tavoitteita nostaa uusiutuvien energioiden käyttöä. Aurinkosähkötekniikka valittiin kohteeseen, koska se on ympäristöystävällinen, pitkäikäinen, luotettava, helposti laajennettavissa ja sillä on vähäinen huollon tarve.

2 Aurinkosähköjärjestelmät yleisesti

Valo on sähkömagneettista säteilyä, joka jakaantuu silmällä nähtäviksi väreiksi vain kapeaksi osaksi koko sähkömagneettisen säteilyn spektriä. Sähkömagneettisen säteilyn energia on kvantittunut, ja se voidaan olettaa koostuvan massattomista hiukkasista, joita kutsutaan fotoneiksi. Säteilyn fotonin energia riippuu aallonpituudesta. Kappaleen lähettämän sähkömagneettisen säteilyn intensiteetti ja aallonpituusjakauma riippuvat lämpötilasta.

Aurinko

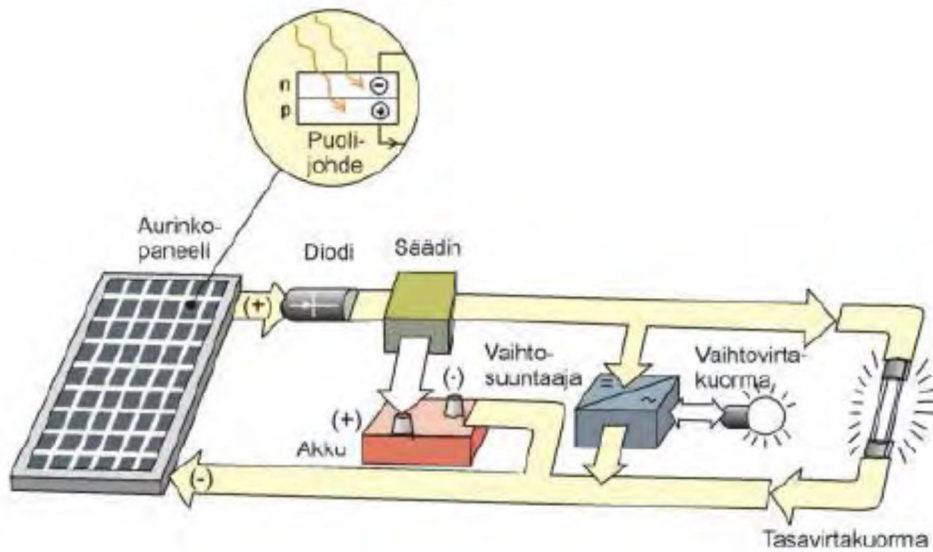
Auringossa muuttuu joka sekunti miljoonia tonneja vetyä hiukan pienemmäksi määräksi heliumia, ja erotus n. 4 miljoonaa tonnia muuttuu energiaksi. Tällöin fuusion aiheuttamassa massamuutoksessa vapautuu energiaa, joka antaa auringolle noin $3,8 \times 10^{23}$ kW:n kokonaistehon. Maapallomme etäisyys auringosta on n. 150 miljoonaa kilometriä, jolloin tehomäärästä pääsee noin $1,7 \times 10^{14}$ kW:n maapallollemme. Meihin kohdistuva tehomäärä on noin 20 000 kertaa maapallomme teollisuuden ja lämmityksen nykyisin käyttämä teho. Auringon lähettämä energia matkaa maan pinnalle ilmakehän läpi suora-, haja- ja ilmakehän vastasäteilynä. Sen kokonaisteho häviöiden jälkeen on kohdisuorassa olevalle 1 m^2 :n kokoiselle pinnalle sekunnissa (välitön aurinkovakio) noin 0,8 - 1,0 kW kirkkaana päivänä.

Aurinkosähkö

Auringon tuottaman säteilytehon talteenottoon on kehitetty aurinkosähköpaneeli, jonka tekniikan kehitys aloitettiin Yhdysvalloissa 1950-luvulla avaruussovellukseksi ja itenäiseksi sähköjärjestelmäksi. Sieltä se on laskeutunut maan pinnalle kuluttajien joka päiväiseen käyttöön ja antaa mahdollisuuden sähköistää monia erilaisia kohteita. Yleisimpiin järjestelmiin kuuluvat verkkoon kytketyt sekä omavaraiset ilman vahvaa sähköverkkoa olevat järjestelmät.

Tasavirtaa tuottavia aurinkopaneeleita käytetään yleisesti suurella pinta-alalla toisiinsa yhdistettyinä, erilaisilla alustoilla. Yhteenkytkettyä Aurinkopaneelistoa käytetään usein vaihtosuuntaajan avulla, joka muuntaa tasajännitteen (DC) 230 V:n vaihtosähköverkkoon (AC) sopivaksi tai omavaraisissa järjestelmissä lataussäätimellä tasavirtaa suo-

raan hyödyntämällä, yleisimmin 12 V tai 24 V akuston kanssa. Kuva 1 esittää aurinkopaneelin rakennetta ja sen osaa yksinkertaistetussa järjestelmässä:



Kuva 1. Aurinkopaneelin toiminta osana aurinkosähköjärjestelmää [2]

Kuvassa 1 on esitetty aurinkopaneelin rakenne, joka koostuu kahdesta erilaisesta puolijohdekerroksesta. Toisella puolella on n-tyyppinen negatiivinen materiaali ja vastakkaisella puolella p-tyyppinen positiivinen materiaali. Nämä materiat ovat eri tavoin seostettuja puolijohdeita siten, että energian osuessa niihin ne muuttuvat sähköä johtaviksi. Elektronit kasaantuvat negatiiviselle puolelle (-) ja jättävät aukkoja positiiviselle puolelle (+). Aurinkopaneeli koostuu useista yhteen kytketyistä puolijohdeista valmistetuista aurinkokennoista, joissa tavallisimmin raaka-aineena käytetään piitä. Auringonsäteily synnyttää sähkövirran pn-liitokseen, joka voidaan kennojen sisäisen sähkökentän vaikutuksesta käyttää tuottamaan virtaa ulkoiseen kuormaan.

Järjestelmään voidaan myös liittää bensiini-/dieselgeneraattori tai muu sovellus, jolla tuotetaan osa tehontarpeesta (hybridijärjestelmä). Lisätehon tarve voi olla vuodenaikavaihtelut tai osa tarpeesta, jota ei ole taloudellisesti mielekäästä tyydyttää aurinkoenergialla.

Järjestelmät

Aurinkosähkön yleisiä sovelluskohteita ovat monet omavaraiset (*off grid*) pienet ja suuremmatkin sovellukset. Näitä ovat esimerkiksi kulutuselektroniikka, vapaa-ajan käyttö, viesti- ja varoitusjärjestelmät, syrjäseutujen tai slummialueiden sähköistys, valaistus ja kauko-ohjaukset. Verkkoon kytketyt (*Grid connected, on-grid tai grid tie*) sovellukset ovat nopeasti yleistymässä, ja näistä yleisimpiä ovat rakennuksiin asennetut järjestelmät (pienjärjestelmät) ja sähkölaitosluokan laitokset (aurinkovoimalat).

Verkkoon kytketyt järjestelmät syöttävät oman kulutuksen ylittävän osan tuotannostaan vaihtosuuntaajan kautta yleiseen sähköverkkoon ja vastaavasti tarpeen mukaan verkosta otetaan oman kulutuksen ja tuotannon erotus. Pienjärjestelmä voidaan integroida osaksi kiinteistön julkisivua tai kattoa ja tuottaa osa sen sähköntarpeesta. Sovelluksen kannattavuus riippuu käyttösovelluksesta ja varsinkin omavaraiset pienet aurinkosähkijärjestelmät ovat muuttumassa yhä kilpailukykyisemmiksi kehittyvän tekniikan ja alenevien investointikustannusten mukana. [1 ; 2 ; 3.]

2.1 Aurinkosähkön tulevaisuus

Aurinkosähkijärjestelmien yleistyminen ja samalla tarvittavan tekniikan kehitys on alentanut hintoja odotettua nopeammin. Vuonna 2011 aurinkosähkijärjestelmiä oli asennettu yli 69 GW ympäri maailmaa, ja ne pystyivät tuottamaan vuosittain yhteensä 85 TWh sähköä. Tuotetun tehon määrä riittää täyttämään yli 20 miljoonan kotitalouden vuosittaisen tehontarpeen. Näiden järjestelmien kokonaistehosta suurin osa, 51 GW eli n. 75 %, on asennettu Eurooppaan.

Aurinkosähkö oli vuonna 2011 tehokapasiteetiltaan maailman kolmanneksi suurin asennettu uusiutuva energia, vesi- ja tuulienergian jälkeen. Eurooppa on ollut useita vuosia edelläkävijä aurinkosähkön määrässä ja dominoinut markkinoita. EU:ssa aurinkosähköä tuottavista maista johtavia ovat Saksa, Italia ja Espanja. Kuitenkin suurimpana potentiaalina kasvulle pidetään muualla maailmassa tapahtuvaa sähköntuotantoa aurinkosähköllä. Maissa lähellä päiväntasaajaa sähköntuotanto auringon säteilystä haastaa jo nyt dieselgeneraattorein tuotetun kysynnän huipputehon ilman taloudellista tukea.

Aurinkosähköjärjestelmät ovat vahvistaneet asemiaan tullakseen merkittäväksi osaksi Euroopan sähköntuotantoa. Aurinkopaneeleilla tuotetaan jo n. 2 % kysynnästä EU:ssa ja n. 4 % kysynnän huipusta. Järjestelmät ja niiden kapasiteetit ovat kasvaneet räjähdysmäisesti koko maailmassa lähi vuosikymmenenä, myös rahoitus- ja talouskriisin aikana. Tämän tekniikan tulevaisuus näyttää valoisalta riippuen kuitenkin poliittisista päätöksistä, tuesta ja uusista investoinneista.

Tekniikan mahdollisen halventumisen nyt ja tulevaisuudessa uskotaan houkuttelevan investointeihin sekä sen mahdollisen kehityksen haastavan perinteistä energiantuotantoa tulevaisuudessa. Jotkin maat ovat myös lisänneet poliittista keskittymistä uusiutuviin energian lähteisiin. Taustalla ovat maailman tapahtumat, kuten Fukushimaon ydinvoimalaonnettomuus. Aurinkosähkö uusiutuvana energianlähteenä on osoittanut olevansa varteenotettava vaihtoehto sähköntuotannossa kohti EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan linjauksia. [4 ; 5.]

2.2 Aurinkosähköjärjestelmä Suomessa

Suomi on sitoutunut vuonna 2007 Euroopan Unionin asettamaan tavoitteeseen, jonka tarkoituksena on nostaa uusiutuvan energian osuus loppukäytöstä 20 prosenttiin yleisesti ja 10 prosenttiin liikenteessä vuoteen 2020 mennessä. Tämä aikataulu on muutanut maan lainsäädäntöä ja pyrkii alentamaan kynnystä erilaisten energianmuotojen käyttöön.

Aurinkoenergian saatavuus Suomessa on lähes Keski-Euroopan tasolla vastoin yleistä mielikuvaa. Oleellista ovat energian saatavuuden ja tarpeen kausivaihtelut, sillä energiaa on runsaasti saatavana kesäaikana, kun taas sähkön kulutushuippu on talviaikana. Säteilyenergiasta saadaankin n. 90 % maalissyyskuussa. Pohjoismaissa aurinkoenergia on nykytekniikalla täydentävä energianmuoto, ja sen ympärivuotinen hyödyntäminen edellyttäisikin energian varastointia kesästä talveen. Näin ollen ainakaan vielä aurinkosähköä ei ole pidetty kilpailukykyisenä vaihtoehtona verrattaessa muihin uusiutuviin energianlähteisiin, esim. vesi- ja tuulivoimaan tai bioenergiaan.

Suomen energiatuotanto perustuu myös ns. perusvoima-ajatukseen ja säätövoimaan, joka tasaa tuotannon vaihteluja. Energiatuotannon lähtökohtana pidetään sen soveltuvuutta sekä perusvoimaksi että säätövoimaksi. Perusvoima-tehtävään aurinkoenergia ei sovi sen saannin voimakkaan vaihtelun vuoksi. Säätövoimanakin sen käyttö on yhtä

hankalaa, koska sitä ei voi säätää. Fossiilisiin polttoainesiin verrattuna uusiutuvien energioiden kustannukset ovat korkeammat ja tiellä enemmän esteitä.

Sitä vastoin aurinkosähkö on lähentynyt kuluttajia yhä enemmän, sillä osa siihen liittyvistä sovelluksista ovat olleet kilpailukykyisiä vaihtoehtoja kuten pienetkin omavaraiset aurinkosähköjärjestelmät, jotka sijaitsevat kaukana sähköverkosta tai muun maantieteellisen sijaintinsa takia etäällä esim. erämaat tai saaristot. Yhä mielenkiintoisempia pientuottajille ovat myös verkkoon kytkettävät sovellukset, sillä niiden investointikustannukset ovat laskussa ja kehitys nousussa.

Verkkoon kytkettävällä pientuotannolla voidaan tuottaa osa rakennuksen tai kiinteistön sähköntarpeesta, ja tämä voi ollakin tulevaisuudessa kriittistä. Yhdessä Suomi ja EU sääntelevät rakennusala ja energiatehokkuusnormeja. Direktiivien avulla toteutetaan EU:n ilmastotavoitteita ja uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia vuoteen 2020 mennessä. Tähän pääseminen saattaa edellyttää omaa energian tuotantoa kiinteistössä.

Nykyisin pientuotanto on kuitenkin minimaalista Suomessa, ja siihen liittyviä menettelyjä, sääntöjä ja ohjeistuksia tarvitaan. Suomessa sähköverkon rakenne ja sen yhteys pohjoismaiseen Nord Pool -sähköpörssiin tekee sähkön loppukuluttajan sähköstään maksaman hinnan kompleksiseksi. Sähköpörssissä käyvät kauppaa sen jäsenet, joita voivat olla sähkön tuottajat, sähköyhtiöt sekä teollisuusyritykset Suomesta, Ruotsista, Norjasta ja Tanskasta sekä eräistä muista maista. Pörssi muodostaa sähkölle muuttuvan markkinahinnan, joka toimii myös sähkömyyntisopimusten hintareferenssinä.

Kiinteistön oma energiatuotanto on kuitenkin mahdollista (sähköverkkoon liitettynä vaatii verkonhaltijan ja sähköntuottajan välillä solmittavan liittymissopimuksen ja verkkopalvelusopimuksen), mutta nykyään pientuottajille ei makseta takuuhintaa oman käytön ylittävästä verkkoon syötetystä tehosta eli ns. uusiutuvan energian syöttötariffia. Pientuottajille on kuitenkin säädetty vapautuksia mm. sähköverosta, huoltovarmuusmaksusta, liittymiskustannuksista ja sähköenergian mittaamisesta. Tulevaisuus näyttää kuitenkin tältä osin aurinkoiselta. [5; 6; 7; 8.]

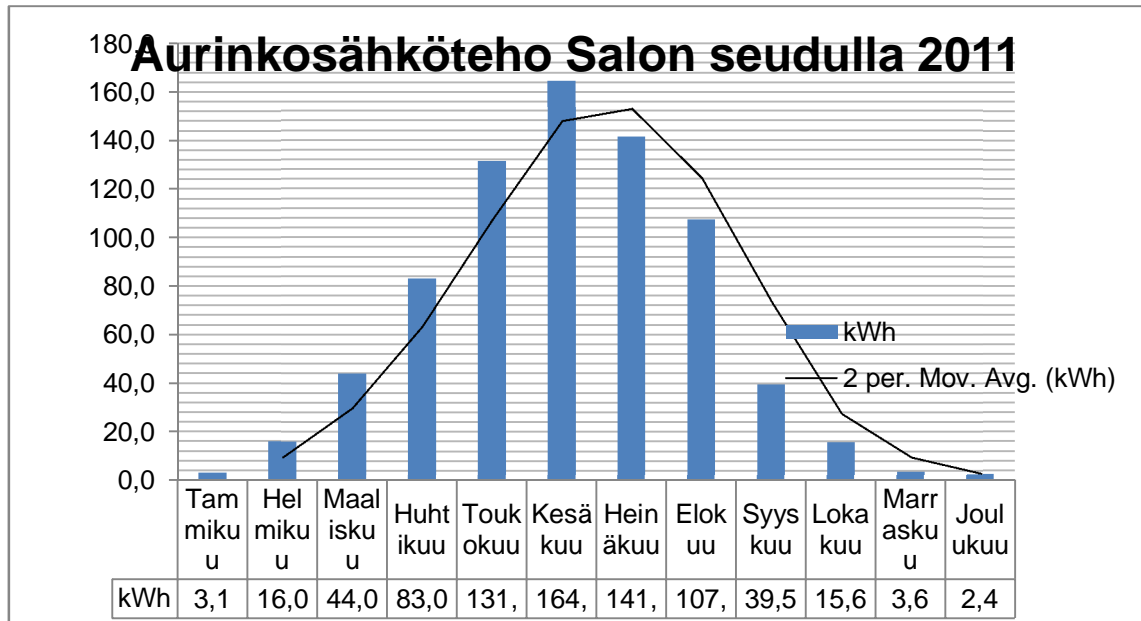
2.3 Aurinkosähköjärjestelmän valinta ja soveltuvuus kohteen loma-asuntoon

Insinööriyössä kohteena toimi loma-asunto Salon seudulla Kiskossa, Riihisaarentiellä. Aurinkosähköjärjestelmäksi valittiin itsenäinen järjestelmä sekä bensiiniaggregaatti tuottamaan mahdolliset energian lisätarpeet. Tämänkaltaisen järjestelmä valittiin, koska sähkön liittymismaksut vyöhykehinnotteluineen olivat suhteellisen korkeat sekä käytännöllisyyden että jossain määrin sen sopivuuden ekologisen ajattelumallin mukaisesti kohteessa.

Kohde sijaitsee Fortum Sähkönsiirto Oy:n verkkoalueella ja Yhtiön vyöhykehinnottelun mukaisesti liityntä tulisi maksamaan 2 640 - 4 100 euroa tai enemmän. Tällä hinnalla suunniteltiin karkeasti pienen omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän olevan toteutettavissa ja sen keräämän energian olevan tämän jälkeen käytännössä ilmaista ilman huoltokustannuksia. Järjestelmä oli myös sopiva käytännöllisyydeltään, sillä loma-asunto on suvun kesäkäytössä. Tällöin energiaa on paljon saatavilla, ja se on käytettävissä kaikkien kesken ilman juoksevia kustannuksia. Tällöin ei tarvita erillistä rahastoa maksujen kattamiseksi, ja huoltokustannukset ovat hyvin ennakoitavissa.

Ekologisuuden puolesta aurinkosähköä voidaan pitää suhteellisen hyvänä, vaikkakin koko järjestelmään kuuluvien komponenttien valmistusprosessit kuluttavat primäärienergiaa. Kuitenkin vertailussa muiden energiatuotantomenetelmien hiilidioksidipäästöihin aurinkosähköjärjestelmien päästöt ovat suhteellisen alhaiset ja laskussa tuotantomenetelmien kehittyessä. Huomioon otettavaa on myös ideologinen ajatus soveltuvuudesta kuusimetsän keskelle vanhaan hirsimökkiin, jossa illat on totuttu viettämään takan ja kynttilän valossa.

Kun päätös toteutuksesta oli valmisteltu, tutkittiin tarkemmin tilastoja seudulla sijaitsevan Perttelin sääaseman internetsivuilta (<http://www.nordicweather.net>), joista saatiin numeroina edellisvuoden aurinkosähköteho kuukausittain. Näiden tulosten perusteella laadittiin kuvaaja (kuva 2, ks. seur. s.), joka esittää vuoden 2011 aurinkosähkötehon kilowattitunteina neliömetrille (kWh/m^2) jaettuna eri kuukausille.



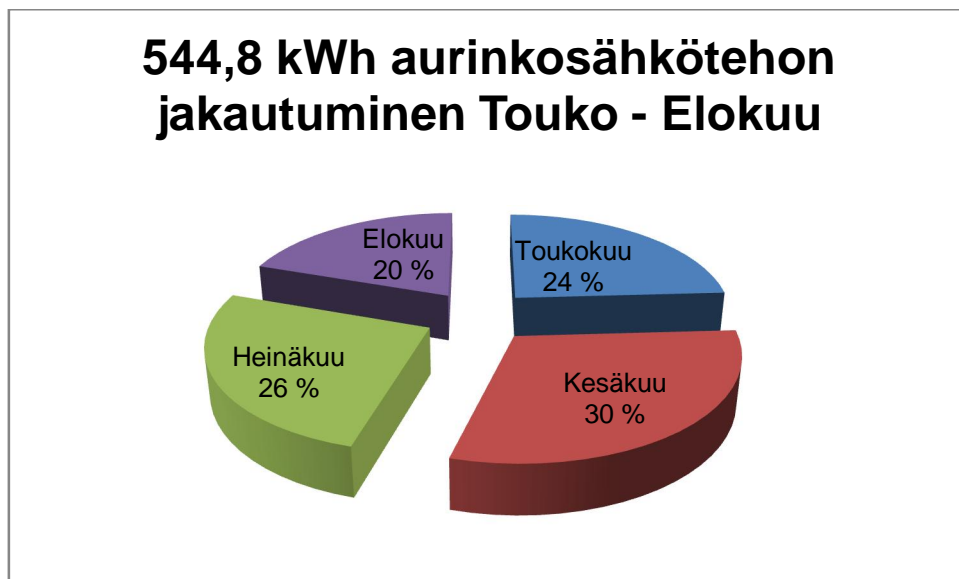
Kuva 2. Graafinen esitys vuoden 2011 aurinkosähkötehon tuotosta kuukausivertailuna [9.]

Kuvaajasta (kuva 2) voitiin nähdä karkea arvio vuosittaisesta aurinkosähkön kilowattituntimääristä, joista voidaan tarkastella huipputehon jakautumista vuoden eri aikoina. Sääasemalta saatiin sähköpostitse tieto, että sen tulokset eivät olet täysin tarkkoja perustuen anturin antamaan arvoon, joista on vähennetty 15 prosenttia, jolloin lukema olisi realistisempi arvio todellisesta tilanteesta. Kyseisen vähennyksen olisi tarkoitus olla arvio syntyvistä häviöistä. Tarkentaviin kysymyksiin ei saatu vastausta, joten lueumat ovat vain suuntaa antavia.

Kuitenkin sääasemalta saatuja tuloksia vertailtaessa Säteily-Atlaksen (aurinko-opas) eri kallistuskulmilla mitatuista tuloksista Etelä-Suomesta oli lähimpänä 90 asteen kulmasta saadut arvot Helsingissä. Säteily-Atlaksen säteilyn vuosisumma oli 883 kWh/m^2 ja vertailtavan sääaseman vuosisumma oli 752 kWh/m^2 , josta on jo vähennetty 15 prosenttia. Tämä voisikin olla lähellä todellisuutta sääasemalla, jossa anturit ovat kiinnitetty pystysuoraan (90 astetta) pitkään mastoon. Tehon jakautuminen voimakkaasti keskikesälle ei vastaa taas Säteily-Atlaksen antamaa jakaumaa, mutta tarkasteltaessa Pertelin sääaseman eri vuosien kuukausivertailua voidaan todeta tulosten olevan normaalia korkeampia. Vuoden 2011 kesään voidaankin pitää tältä osin normaalia aurinkoisempaa.

Aurinko-opaan mukaan vuotuiset säteilysummat ovat pohjoisessa paikkakunnan ja tason kallistuksen mukaan $700 - 1\,200 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa. Aurinkosähköpaneelisto

tuottaa karkeasti yhden kilowattitunnin energiaa jokaista wattia kohden. Tässä vertailussa vuosisummalla 752 kWh/m^2 järjestelmän huipputehon käyttöaika olisi n. 752 tuntia vuodessa. Sääasemalta saatuja tietoja voidaankin pitää minimiarvoina, joiden perusteella järjestelmä toimisi kyseisessä sijainnissa. Suuri jakauma aktiivisimpaan käyttöaikaan touko - elokuussa indikoi hyvää toimintaa kesäkäytössä. Kokonaisteho touko - elokuulle on 544,8 kWh, joka on yli 72 % koko vuoden säteilytehosta ja päivittäiset huipputehon käyttöaikatunnit tällä ajanjaksolla ovat yli kaksinkertaiset suhteessa koko vuodeksi jaettuina. Ajanjakson tehonjakautuminen kesäkuukausien kesken näkyy kuvasta 3. [10]



Kuva 3. Graafinen esitys toukokuu - elokuussa kokonaisaurinkosähkötehon jakautumisesta kuukausittain

Kuvasta 3 voitiin havaita, että tämä noin 72 % jakaantuu eri kuukausien kesken melko tasaisesti. Tällöin mitoituksessa voidaan käyttää aikavälin mukaan jaettua huipputehon käyttöaikaa eli noin 544 tuntia. Tämä aika jaetaan neljän kuukauden kesken ja saadaan keskimäärin 136 t/kk. Kuukausittainen huipputehon käyttöaika jaetaan 30 eri päivälle, jolloin saadaan päivittäiseksi käyttöajaksi n. 4,5 tuntia. Näitä arvoja käytetään myöhemmin tarkemmassa mitoituksessa ja järjestelmän suunnittelussa.

3 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu

Järjestelmää valittaessa ja mitoitettaessa selvitettiin ensimmäiseksi, mitä aurinkosähköjärjestelmältä haluttiin. Järjestelmästä haluttiin itsenäinen ja omavarainen kesällä. Myös alhaista energiahintaa tavoiteltiin aurinkosähköjärjestelmän pienellä kokoonpanolla. Loma-asunnossa oli jo valmiiksi käytössä nestekaasulla toimiva liesi, jääkaappi ja lämmitin sekä puutakka. Nämä toiminnot kuten ruuan säilytys, valmistus sekä lämmitys toimivat jo ilman sähköntarvetta. Olemassa olevat laitteistot ovat noin 5 - 15 vuotta vanhoja, mutta käyttö on satunnaista, ja aika on tuplattavissa normaalein huoltotoimenpitein.

Nykyinen laitteisto säilytetään ja sen tueksi asennetaan aurinkosähköjärjestelmä, jonka tarkoituksena on ylläpitää sisävalaistus iltaisin ja satunnaisesti pienten elektroniikkalaitteiden lataus ja käyttö vaihtosuuntaajan kautta (invertteri), esim. kannettava tietokone, stereo, puhelimet ja muut kannettavat elektroniikkalaitteet.

Järjestelmästä tulee hybridijärjestelmä, sillä siihen liitetään 6 kW:n bensiinigeneraattori. Generaattorin päätarkoitus on tuottaa harvemmin tarpeen oleva suuri teho esim. loma-asunnolla käytettäviin työkaluihin ja suuritehoisiin työkoneisiin.

Bensiiniaggregaatti toimii järjestelmän tukena. Aggregaatti toimii myös huoltotarkoituksessa, koska sillä voidaan ladata akusto täyteen esimerkiksi myöhään syksyllä, kun auringon paistetta ei ole runsaasti saatavilla tai esimerkiksi pilvisinä päivinä akkujen varauksen laskiessa. Sen käyttö on kuitenkin suhteessa aurinkoenergiaan erittäin kallista, joten aggregaatin suurta käyttöä pyritään välttämään.

Omavaraisen järjestelmän mitoitus

Mitoitus aloitettiin pienjärjestelmänä ja investointikustannuksiltaan matalana (minimi tehon kulutus), vertailukohtana verkkoonliityntä maksut. Auringonsäteilyn saatavuus on varmistettu paikalliselta sääasemalta ja saatuja arvoja touko - elokuulta käytetään työssä. Ensin suunniteltiin energiatarpeen suuruus ja sen jakautuminen erilaatuisille kuormille, jotka arvioitiin suuruudeltaan tasajännitteisinä. Kulutusarvio esitetään taulukossa 1 (ks. seur. s.).

Taulukko 1. Arvio järjestelmän kuormien minimienergiantarpeesta

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|------|-------|-------|-------|----------|------------------|-------|-----------|-----------|--------|
| Kuorma (DC) | [V] | * [A] | [W] | Määrä | Yht. [W] | * [h] käyttö/vrk | Wh | * vrk/vko | : vko (7) | Wh/vrk |
| Invertteri | 12,0 | 25,0 | 300,0 | 1,0 | 300,0 | 2,0 | 600,0 | 2,0 | 7,0 | 171,4 |
| Valaistus (loiste) | 12,0 | 1,3 | 15,0 | 1,0 | 15,0 | 6,0 | 90,0 | 2,0 | 7,0 | 25,7 |
| Valaistus (loiste) | 12,0 | 0,9 | 11,0 | 1,0 | 11,0 | 3,0 | 33,0 | 2,0 | 7,0 | 9,4 |
| Valaistus (led) | 12,0 | 0,3 | 3,0 | 5,0 | 15,0 | 2,0 | 30,0 | 2,0 | 7,0 | 8,6 |
| muu | | - | - | 1,0 | - | - | - | 2,0 | 7,0 | - |
| | | | | | 341,0 | | 753,0 | | | 215,1 |
| | | | | | | | Ah | | | Ah |
| | | | | | | | 62,8 | | | 17,9 |

Taulukosta 1 voitiin nähdä loma-asunnon sisällä käytettävien kuormien huipputehot ja arvioidut minimikäyttöajat tunteina vuorokaudessa sekä kahden päivän käyttö jaettuna koko viikoksi:

Sarakkeissa 1 - 3 on esitetty kuorman teho, joka saadaan yhtälöstä $P = U \times I$. Sarakkeessa 4 on kuormien määrä kappaleina, joilla kerrotaan kuormien teho ja saadaan 5 sarakkeelle tunnin kokonaisteho. Sarakkeessa 6 on arvioitu käyttö tunteina yhdessä vuorokaudessa. Kertomalla sarakkeen 5 teho sarakkeen 6 tuntimääräisellä käytöllä saadaan sarakkeelle 7 käyttö wattitunteina (Wh). Wattitunneista saadaan ampeeritunteja (Ah) jakamalla ne käyttöjännitteellä 12 VDC.

Sarakkeissa 8 - 10 arvioidaan 2 päivän kokonaiskulutus jaettuna yhdelle viikolle, joka on latausjakso ennen kulutuksen alkamista. Kaksi päivää edustaa keskimääräistä huippukulutusta, jolloin kuormia käytetään arvion mukaan tai tuntiarvioiden alle. Järjestelmä lataa akustoa jatkuvasti aina, milloin auringonsäteilyä on saatavilla, tai kunnes akusto on täyteen ladattu. Arvioitu latausjakso on 7 päivää kulutuksen välissä, jos ke-

sällä loma-asunnolla käytäisiin keskimäärin viikon välein käyttämässä kuormia 2 päivän ajan.

Akuston mitoitus

Kun kuormat ovat selvillä, voidaan laskea arvio tarvittavan akkuvaraston koosta. Mitoituksessa käytetään taulukon 1 sarakkeen 7 yhteenlasketuista wattitunneista (Wh) laskettua ampeerituntien (Ah) määrää. Lisäksi mitoituksessa tulee ottaa huomioon lämpötilan vaikutus akun sisäiseen resistanssiin ja akun kykyyn pitää varausta. Tärkeää on myös akkutyypistä riippuva mahdollinen purkaussyvyys, johon akuston varaus voidaan purkaa vahingoittamatta sitä. Purkaussyvyys jota käytetään vaikuttaa myös akuston elinikään, kokoon ja uusinta-aikaan. Yleisesti syväpurkausta kestävässä akustoissa voidaan käyttää 50 %:n purkaussyvyttä, joka oli käytössä tässäkin suunnitelmassa, sillä akustoksi suunniteltiin AGM-tyypin syväpurkausta kestävä akusto. Syväpurkausakut kestävä yleisesti n. 200 - 1 000 latauskertaa eliniän tällöin ollessa n. 5 - 15 vuotta ja tarkastusväli noin kaksi kertaa vuodessa. Akusto saadaan mitoitettua kaavalla 1:

$$\text{Kuorman vaatima kapasiteetti (Ah)} \times \text{lämpötilan kompensointikerroin (1,11)} \times \\ \text{haluttu autonomia päivinä (2 pv.)} \div \text{akun purkausprosentti (0,5)} = \\ \text{akuston koko (Ah)} [1 ; 11]$$

saadaan tarvittavan akuston koko:

$$62,75 \text{ Ah} \times 1,11 \times 2 \div 0,5 = 278,6 \text{ Ah} \quad (1)$$

Akuston koko vastaa pahinta mahdollista kuormitushuippua kahden päivän ajalta ilman, että sitä ladattaisiin aurinkosähköllä tai muulla tavalla (omavarainen järjestelmä). Tällainen tilanne voi olla mahdollinen esim. pilvinen- tai sadeilma, mutta erittäin harvinaisen ettei latausta saataisi ollenkaan ja tällöin voitaisiin käyttää bensiinigeneraattoria varavoimana lataamaan akut. Akusto on kuitenkin hyvä hieman ylimitoittaa tietystä tarpeesta, jolloin tehoa voidaan käyttää vapaammin ja akuston vanhetessaan varauskyky hieman laskee, vuosien mittaan. Akustoksi valittiin kiinteä 200 Ah:n akku sekä siihen rinnankytketty kahden 90 Ah:n akun muodostama sarjankytkentä (yht. 180 Ah). Näin akuston yhteiseksi kapasiteetiksi tuli 380 Ah, jossa on siis 100 Ah vara. Suuri ylimitoitus on tehty, koska kahden akun sarjankytkentä on suunniteltu irrotettavaksi sekä

käytettäväksi päivällä mm. sähköperämoottorin akustona että kytkettäväksi takaisin tarpeen vaatiessa.

Aurinkopaneelien mitoitus

Paneelien mitoitukseen käytettiin taulukon 1 (s. 11) sarakkeen 10 arviota kuormien yhden vuorokauden wattituntitarpeesta, joka on jaettu yhden viikon latausjakson mukaan. Mitoituksessa käytetään myös touko-elokuun aurinkosähkötehon mukaan arviotua päivittäistä 4,5 tunnin huippukäyttöaika.

Huomioon otettavaa on myös akuston hyötysuhde, paneeliston lämpötilahäviöt, varjostus ja muut järjestelmän häviöt. Yleisesti käytössä oleva akuston hyötysuhdeprosentti n. 80 %, koska akku muuttaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi. Paneeliston lämpötilahäviöt arvolla 0,88 tulevat todellisesta käyttölämpötilasta kesäolosuhteissa, sillä paneelille spesifioidut sähköiset arvot ovat mitattu 25 asteen lämpötilassa. Alhainen kennolämpötila parantaa kennon hyötysuhdetta, kun taas puolijohdemateriaalien ominaisuuksien takia paneelin tyhjäkäyntijännite ja myös teho laskevat lämpötilan noustessa n. 0,5 % astetta kohti. Aurinkoisena päivänä kennoston lämpötila paneelin sisällä voi olla 20 - 30 astetta ulkoilman lämpötilaa korkeampi, joka laskee paneeliston todellista tehoa.

Varjostuksen kertoimena arvo 0,9 ei ole tarkka, mutta sitä käytetään arviona varjojen muodostumiselle koko päivän aikana. Muut järjestelmän häviöt tulevat mm. paneeliston tuotantotoleranssista, paneelien yhteensopimattomuudesta (todelliset sähköiset arvot), kytkentähäviöistä ja paneeliston likaisuudesta (arvona 0,85). Huomioon otettavaa on, että muut häviöt -kertoimen mukainen osa (-15 %) on jo otettu pois aurinkosähkötehoista (sääasema). Tätä käytetään kuitenkin mitoituksessa lisäkertoimena sillä kesäajan arvot ovat suhteellisen korkeita verrattaessa koko vuoteen. Mitoitus tehdään kaavan 2 mukaan. [1 ; 11.]

Kaavalla 2 saatiin laskettua tarvittavan paneeliston koko:

$$215,14 \text{ Wh} \div 4,5 \text{ h} \div 0,8 \div 0,88 \div 0,9 \div 0,85 = 88,77 \text{ W} \quad (2)$$

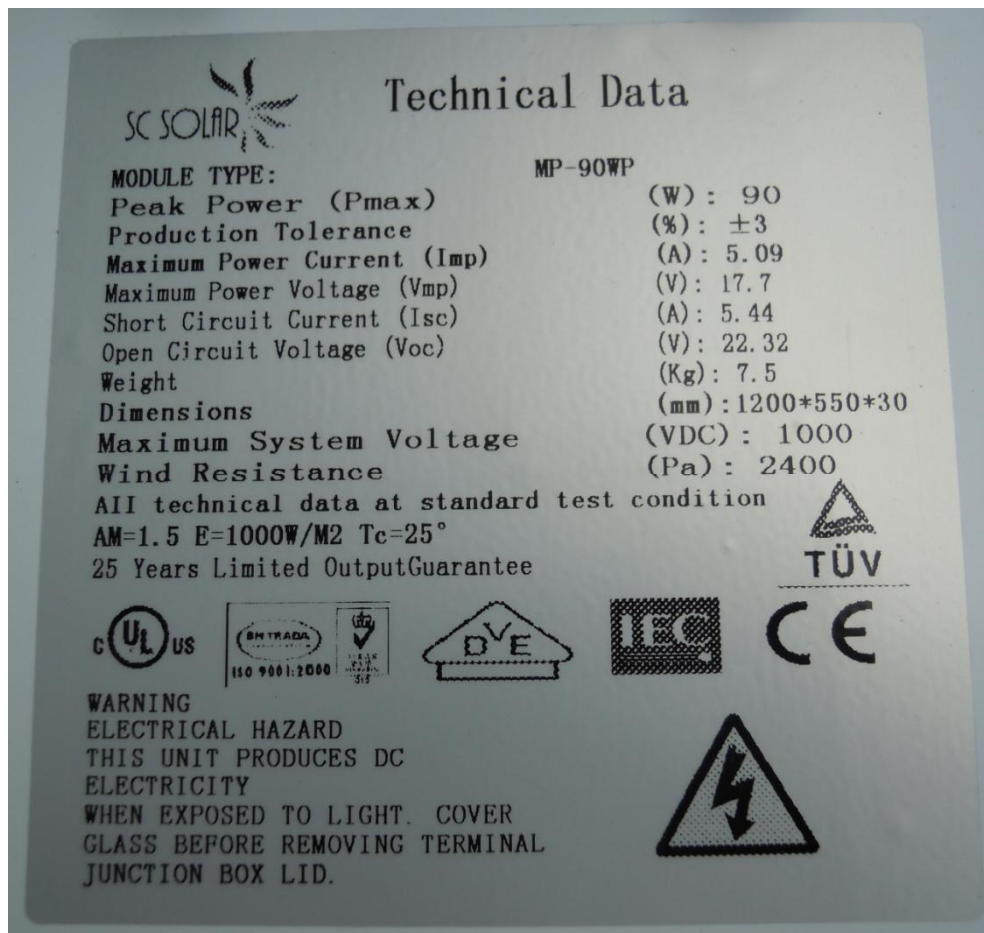
$$\begin{aligned} & \text{Yhden päivän wattitunti tarve (Wh)} \div \text{päivittäinen huippukäyttöaika (h)} \\ & \div \text{akuston hyötysuhde (0,8)} \div \text{lämpötilahäviöt (0,88)} \\ & \div \text{varjotus (0,9)} \div \text{muut häviöt (0,85)} = \text{paneeliston koko (W)} \end{aligned}$$

Paneeliston minimipiikkitehoksi tarvitaan siis n. 89 wattia. Tätä tehoa lähinnä vastaavat yleiset paneelit olivat 80-, 90- ja 100-wattisia. Hintoja tiedusteltiin Saksasta, jossa niillä on suuret markkinat, ja hintataso on matalampi kuin Suomessa. Hinta- ja laatu-suhteeltaan paras tarjous oli kahden kappaleen 90 W:n paneelitarjous, joten sellaiset hankittiin. Paneeliston kooksi tulee siis yhteensä 180 W. Näin saadaan samalla varaa mahdollisille lisäkuormille esim. ulkovalaistus ja käyttöaika samalla venytettyä vuoden muille lyhyemmille huippukäyttöajoille. Myös yleisimmät lataussäätimien arvot ovat 10, 15 tai 20 A, jolloin ne sopivat paneeliston kokoon jo valmiiksi.

Järjestelmän kokonaishyötysuhteeksi tuli n. 0,54, joka on tyyppillisesti aurinko-oppaan mukaan akullisessa järjestelmässä 0,6 - 0,7. Paneeliston energian tuotto on 2-kertainen kulutukseen verrattuna. Yleinen kerroin aurinko-oppaan mukaan on 1,1 - 1,5 -kertainen. Järjestelmä on siis huomattavasti ylimitoitettu, jotta korkeampi toimintavarmuus on maksimoitu. Maksimointi on tehty sen takia, että akusto on mitoitettu minimi kulutusjaksolle (2 vrk), joka voisi olla 2:sta jopa 50:een vuorokautta.

Valitun paneeliston hyötysuhde, sijoitus ja suuntaus

Valitut aurinkosähköpaneelit (2 kpl) ovat Sc solarin valmistamat MP-90WP-malliset piikennoiset paneelit. Malli on myyjän mukaan laadukas ja ollut jo pitkään markkinoilla, ja valmistaja antaa 25 vuoden rajoitetun takuun tuotolle. Tarkempaa tietoa ei takuun laadusta ole, mutta yleisesti tämä on takuu paneelin suhteellisesta antotehosta sen koko elinkaaren ajan. Toisin sanoen valmistaja lupaa tietyn prosenttimäärän 90 W:n tehosta, joka paneelin tulee tuottaa myös esim. 20 vuoden päästä. Paneeliston tuoton arvioitiin riittävän n. 15 - 20 vuotta, mikäli ne pysyvät ehjinä. Tarkemmat tekniset tiedot esitetään kuvassa 4 (ks. seur. s.). Näitä tietoja käytetään hyötysuhteen tarkastellussa ja lataussäätimen valinnassa.



Kuva 4. Valitun paneelin tekniset tiedot, paneelin toiselta puolelta kuvattuna.

Hyötysuhde

Kuvan 4 arvoista voitiin laskea paneelin hyötysuhde, joka saatiin laskettua kaavalla 3:

$$\text{Hyötysuhde} = W_{ulos}/W_{sis.} \times 100 \%$$

$$W_{ulos} : P = U \times I = V_{mp} \times I_{mp} = 17,7 \text{ V} \times 5,09 \text{ A} = 90,09 \text{ W}$$

$$W_{sis.} = \text{Kennon pinta - ala (m}^2\text{)} * \text{auringon säteilyintensiteetti (1 000 W/m}^2\text{)} \\ = 0,66 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 = 660 \text{ W}$$

$$(\text{Kennon pinta - ala} = 120,0 \text{ cm} \times 55,0 \text{ cm} = 6600 \text{ cm}^2 = 0,66 \text{ m}^2)$$

$$\text{Hyötysuhde} = W_{ulos}/W_{sis.} \times 100 \% = 90,09 \text{ W}/660 \text{ W} * 100\% = 13,65 \% \quad (3)$$

Hyötysuhde on se osuus auringon säteilyenergiasta, joka voidaan muuttaa sähköksi. Yleisesti piistä valmistettujen kaupallisten paneelien hyötysuhde on n. 10 - 14 %, joten saatua arvoa voidaan pitää hyvänä. Paneelin hyötysuhteen lisäksi aurinkosähköjärjestelmän kokonaishyötysuhteeseen vaikuttavat myös muut osuudet järjestelmää ja

niiden hyötysuhteet. Kaikki hyötysuhteet yhdessä muodostavat järjestelmän hyötysuhteen.

Sijoitus ja suuntaus

Aurinkopaneelisto sijoitettiin loma-asunnon katolle, niin lähelle katonharjaa kuin mahdollista. Paneelisto sijoitettiin harjan sille puolelle, johon aurinko paistaa kesällä esteettömästi aamun ja keskipäivän välillä vähintään neljä tuntia päivässä (aurinkoisin kohta kattoa). Paneelit suunnattiin kohti etelää ja kallistuskulma on katon harjan kallistuksen mukaan erittäin lähellä 30 astetta. Kallistuma on optimaalinen kulma kesäajan sähköntuotolle. Suuntauskulma on riippuvainen leveysasteesta, mutta haluttaessa optimoida tuotto kesällä riittää loivempi kulma (min. 30 astetta). Myös suoralla asennuksella kattoon tarvittiin vain pieni kiinnityskehikko, eikä suurta telinettä tarvittu lainkaan. Aurinkokennoja varjostaa aamupäivän jälkeen muutama pieni puu, jotka raivataan myöhemmin tarkemman toiminnan seurannan jälkeen, jolloin auringon paisteikaa saadaan nostettua. [1.]

Lataussäätimen valinta ja mitoitus

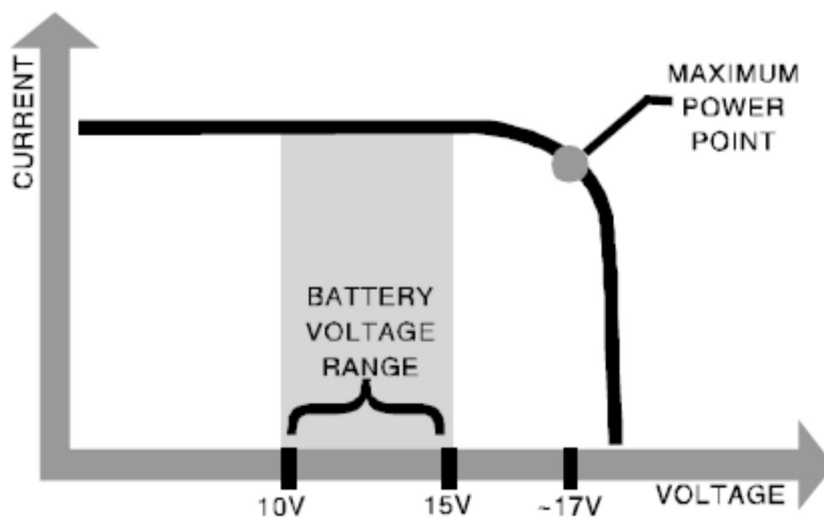
Aurinkosähköjärjestelmän lataussäädin sijaitsee aurinkosähköpaneelien ja akun välillä. Lataussäädin toimii automaattisesti ja sen ansiosta akuston varaustila pysyy mahdollisimman korkealla. Yleisesti lataussäädin säätelee järjestelmän sähköä, säätämällä sisään tulevaa aurinkoenergiaa. Yksinkertaistettuna säätimen elektroninen piiri mittaa akun jännitettä ja säätelee akustolle syötettävää tehoa. Kun latauksen alussa akusto on matalassa varaustilassa, se ottaa virtaa vastaan, jolloin jännite pysyy usein matalalla. Kun latauksen lopussa akuston kapasiteetti (Ah) täytyy, virran kulku akustoon hidastuu, ja jännite pyrkii nousemaan. Lataussäätimen tärkeimpänä tehtävänä on säätää tarkasti korkealla hyötysuhteella lataustehoa akustoon niin, ettei akuston varaus sekä jännite laske liiaksi tai ylitä, niin että jännite pääsisi nousemaan liian paljon.

Lataussäätimen valinnassa ja mitoituksessa täytyy ottaa huomioon aurinkosähköpaneeliston yhteenkytketyn kennoston kokonaisteho ja jännite, sekä se, mikä enimmäisvirta voi kulkea säätimen läpi. Paneeliston teho on siis yhteensä 180 W, ja sen kennostot ovat kytketty sähköisesti rinnan. Tällöin kennostot luovat yhdessä yhden suuren 180 W tehoisen kennoston, jonka tyhjäkäyntijännite (Voc) pysyy lähes samana

22,32 V:ssa ja oikosulkuvirta (I_{sc}) kasvaa tehon mukana kaksinkertaiseksi ($2 \times 5,44 A$) 10,88 A:iin. Enimmäisvirtana tarkastellaan paneeliston oikosulkuvirtaa, eikä kuorman kokonaistehon virtaa. Kun akusto on nimellisjännitteeltään 12 V, voidaan kuormia sekä invertteriä käyttää suoraan akustolta tulevasta syötöstä. Lataussäädin tuli mitoittaa paneeliston arvoilla.

Lataussäätimen valinta

Lataussäätimeksi valittiin MPPT-tekniikalla toimiva säätöyksikkö. Maksimitehopisteen seuraaja (MPPT) on lataussäädin, joka säätää paneeliston ulostulojännitteen toimimaan koko ajan maksimitehopisteessä. Aurinkosähköpaneelit muuntavat auringon tehon suoraan sähköksi ja niiden kennoston virta-jännite-ominaiskäyrä on suoraan verrannollinen auringon intensiteettiin. Ominaiskäyrän muoto pysyy samanlaisena, mutta pienemmällä valoteholla käyrä siirtyy alemmas ja tyhjäkäyntijännitepiste siirtyy vain vähän (kuva 5). MPPT-tekniikan hyöty verrattaessa yksinkertaiseen jänniteohjattuun säätimeen on sen kyky pystyä hyödyntämään suurempi alue tehosta, koska se pystyy toimimaan suuremmalla ja samalla leveämmällä jännitealueella. Se pystyy siis toimimaan maksimitehon jännitteen (V_{mp}) alueella, jossa jännitteen sekä virran arvot ovat korkeimmillaan suhteessa toisiinsa muodostaen maksimitehopisteen (kuva 5).



Kuva 5. 12 V:n aurinkosähköpaneelille tyypillinen virta-jännite-ominaiskäyrä ja maksimitehopiste. [12]

Tasaisessa valomäärässä aurinkopaneelin kennostossa jännite muuttuu, vaikka virta pysyy lähes muuttumattomana tiettyyn jännitteeseen asti. Aurinkopaneelin kaikki virtajännitearvot voidaan käyttää, vaikkakin se toimii todellisuudessa vain yhdellä arvolla kerrallaan. Tähän arvoon vaikuttaa se sähköpiiri, mihin aurinkosähköpaneeli on kytketty. MPPT-lataussäätimen piiri on suunniteltu seuraamaan parasta virta-jännitepistettä (maksimitehopiste) niin, että aurinkokennoista saadaan järkevästi tehoa. Myös akuston jännitteen muutos varaustilan mukaan (n.10 - 15 V) suhteessa kennoston lämpötilan muutokseen (V_{mp} muuttuu) vaikuttaa latauksen tehokkuuteen, jolloin maksimitehopisteen seurannasta on hyötyä.

Mitoitus

Pienjärjestelmä voidaan mitoittaa yksinkertaistettuna koko kennoston oikosulkuvirran mukaan ja turvallisuuskertoimella, joka ottaa huomioon mahdolliset erityisolosuhteet jolloin paneelisto tuottaisi suuremman määrän tehoa kuin sen tavallinen mitoitus (tekniset arvot). Tämä turvakerroin pitää sisällään mm. lämpötilan muutokset, valon heijastukset lumesta tai vedestä ja normaalista poikkeavan erittäin kirkkaan sään. Yleisesti kertoimena käytetty arvo on 1,25, joka tuo 25 % lisäyksen säätimen pienimmäksi arvoksi. Suuremmat järjestelmät tulee mitoittaa yksityiskohtaisemmin valmistajan ohjeiden ja mitoitusyökalun avulla. MPPT-säätimissä tulee myös huomioida, että paneeliston yhteenkytketty jännite ennen säädintä voi vaihdella esim. 12, 24, 36 ja 46 V johdotuksen mukaan, ja se voi muuttaa mitoitusperiaatteita. Tässä insinööriyössä pienikokoisen paneeliston ja akuston nimellisjännite on sama 12 V ja käytettiin yksinkertaistettua mitoitusta kaavalla 4:

$$I_{sc} (\text{oikosulkuvirta}) \times \text{paneelien lukumäärä} \times \text{turvakerroin} = \text{säätimen minimikoko} [13]$$

$$5,44 \text{ A} \times 2 \times 1,25 = 13,6 \text{ A} \quad (4)$$

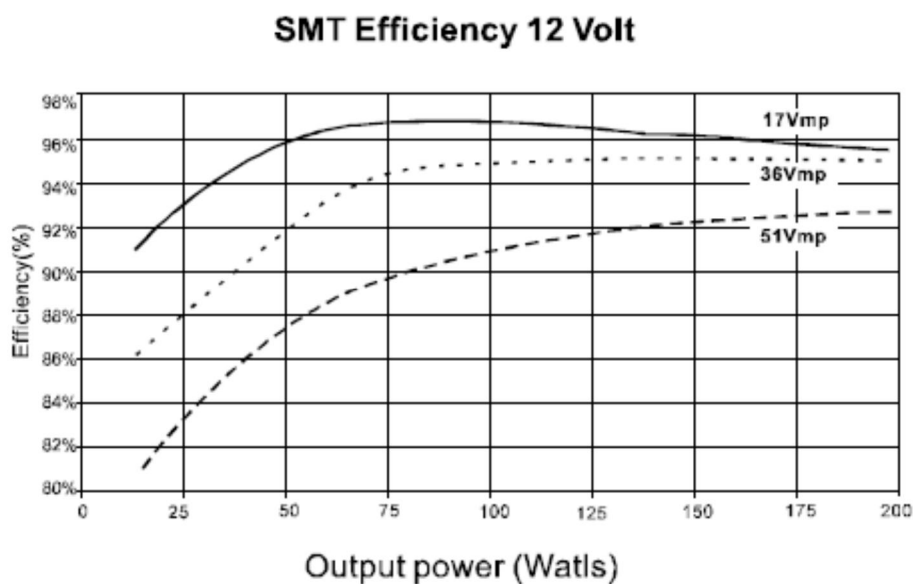
Saatua 13,6 A arvoa lähinnä olevan säätimen koko on 15 A, mikä valitaan järjestelmän lataussäätimeksi. Laskettu arvo on siis vain minimikoko, ja suurempaa säädintä voidaan käyttää. Suurempi säädin jättää mahdollisuuden lisätä paneeleita järjestelmään, ja se lisää kuitenkin investointikustannuksia. Tämän järjestelmän paneelisto oli jo valmiiksi ylimitoitettu, ja se antaa mahdollisuuden kuormien lisäykselle myöhemmin. Tämän vuoksi säätimeksi valittiin 15 A MPPT-lataussäädin. Kuvassa 7 esitetään säätimen tekniset tiedot:

| | |
|-----------------------|----------------------------|
| System Voltage | 12 V/24V |
| Rated Battery Current | 12V, 5A 8A 10A 15A 20A 25A |
| | 24V, 5A 8A 10A 15A |
| Rated Load Current | 12V(5A--25A) 24V(5A--15A) |
| Max. Input Voltage** | 75VDC |
| Nominal Input Power | 300W |

Kuva 7. Valitun säätimen yleiset tekniset tiedot. [12]

Kuvan 7 teknisistä tiedoista voitiin nähdä, että maksimi sisääntulojännite saa olla 75 VDC ja kokonaisteho 300 W. Nämä arvot voivat olla kriittisiä isommissa järjestelmissä, mutta tässä pienjärjestelmässä voidaan selvästi erottaa arvojen riittävyys: 22,32 V (Voc) < 75 VDC ja 180 W (Pmax) < 300 W.

Säätimen hyötysuhde esitetään kuvassa 8:



Kuva 8. Valitun SMT-sarjan säätimen hyötysuhteen suhde tehoon 12 V:n jännitteellä. [12]

Huomioon otettavaa on myös kuvassa 8 esitetty hyötysuhteen käyrä maksitehon jännitteen ollessa 17 Vmp, sillä paneeliston maksimitehon jännite on 17,7 Vmp ja kokonaisteho 180 W. Voidaan nähdä valitun säätimen soveltuvan hyvin hyötysuhteeltaan tällaiseen käyttötarkoitukseen, sillä hyötysuhde pysyy koko ajan yli 90 prosentin, kun tehoa on saatavilla yli 20 W.

4 Hybridiaurinkosähköjärjestelmän eri osat ja toiminta

Koko hybridiaurinkosähköjärjestelmänä toimii itsenäinen aurinkosähköjärjestelmä, joka koostuu kahdesta aurinkopaneelista, keskuksesta, säätimestä, invertteristä, 12 V:n virtakiskostosta, sulakkeista, mittaroinnista, 230 VAC- ja 12 VDC-pistokkeista, akustosta, johdoituksista ja varavoimajärjestelmästä. Tekninen piirros järjestelmästä ja sen eri osien yhteyksistä toisiinsa on esitetty insinööriyön lopussa (ks. s. 35, liite 1).

Koko järjestelmän eri osat ovat (liite 1):

- aurinkosähköpaneelit
- akusto
- 6 kW:n aggregaatti
- aurinkosähkökeskus

Aurinkosähköpaneelit

Paneeleiden rinnankytkentä muodostaa loma-asunnon katolle yhdessä n. 2 400 * 1 100 mm kennoston, jonka yhteinen kokonaishuipputeho on 180 Wattia. Paneelisto on kytketty yhteen liitántärsialla, josta lähtee katonharjaa pitkin syöttökaapeli aurinkosähkökeskukselle. Syöttökaapelin on 3 * 6S MMJ ulko- ja sisäkäyttöön soveltuvaa sähköjohdinta, jonka pituus on 10 metriä. Aurinkosähköpaneelien valmis asennus esitetään kuvassa 9 (ks. seur. s.).



Kuva 9. Kaksi 90 W:n aurinkosähköpaneelia asennettuna katon harjalle

Akusto

Akusto koostuu AGM-tyypin akuista (1 + 2 akkua), ja se sijaitsee loma-asunnon veranalla puuarkussa. Se saa latausvirtansa aurinkosähkökeskuksen lataussäätimeltä 25 + 10 mm^2 ja 4 metriä pitkistä johtimista tai vaihtoehtoisesti samassa puuarkussa sijaitsevista akkulateureista, jotka antavat maksimissaan 15 A ja 5 A latausvirran. Akkulaturit saavat syötön ryhmäkeskuksen kautta aggregaatilta. 15 A akkulaturi toimii ajastimella 2 tunnin sykleissä: 2 tuntia päällä ja 2 tuntia pois. Tämä siksi, ettei akusto saa liian suurta latausvirtaa liian nopeasti, jolloin se voisi kärsiä. 5 A älylaturissa on AGM-tyyppisten akkujen latausohjelma ja mikroprosessorin ohjaamat lataustoiminnot. Joten älylaturi osaa automaattisesti analysoida akuston tilaa ja valita oikean ohjelman, sekä vaihtaa ylläpitolataukseen akuston täytyessä. Akuston esitetään kuvassa 10 (ks. seur. s.).



Kuva 10. Akusto verannan puuarkussa sekä akkulaturit.

6 kW:n bensiiniaggregaatti

Aggregaatti on Mitsubishin valmistama ja 3-vaiheisähköä tuottava ja sen käyttövoimana on bensiini. Se sijaitsee sille rakennetussa kopissa n. 15 metrin päässä loma-asunnon verrannasta ja akustosta, metsän laidassa. Manuaalisesti varavoimana käytettävä aggregaatti syöttää 3-vaiheisena ryhmäkeskusta, joka on pultattu saman kopin seinään kiinni. Ryhmäkeskus on ulkokäyttöön soveltuva EI-Björn-merkkinen työmaa-keskus, ja se sisältää vikavirtasuojan sekä 16 A:n automaattisulakkeet pistorasioille. Pistorasiat ovat IP 54-suojaluokan koteloinnilla ja niistä kaksi syöttää ulkokäyttöön soveltuvilla jatkojohdoilla (MMJ 1,5S, 16 A) akuston latureita. Kuvassa 11 (ks. seur. s.) esitetään bensiiniaggregaatti:



Kuva 11. 6 kW:n bensiiniaggregaatti sille rakennetussa kopissa

Aurinkosähkökeskus

Keskuksen rakenne käydään myöhemmin tarkemmin läpi (ks. 5 Aurinkosähköjärjestelmän keskus). Keskus sijaitsee loma-asunnon sisällä seinälle kiinnitettynä. Järjestelmässä se on paneeliston ja akuston välissä. Aurinkosähköpaneelit ovat kiinnitetty sähköisesti keskuksen sisällä olevaan säätimeen, josta on myös lähtö akuston lataukseen. Keskus sisältää kaikki järjestelmän tärkeimmät toiminnot sekä järjestelmän toimintaan että loma-asunnon sähköistykseen.

Järjestelmän sähköasennukset ovat pääasiassa tehty aurinkosähköjärjestelmän keskuksen sisälle lyhyin johtimin ja mitoitettu D1-käsikirjan kuormitettavuustaulukon [52.1, s. 14] mukaisesti kuormien huipputehon virran mukaan, asennustavan A mukaan (uppoasennus, kotelo). Sähköistys mökin sisälle on tehty pääkeskuksen ja akuston kautta 12 V:n järjestelmänä. Kuormat saavat syötön keskukselta ja akustolta tulevilta johdoilta, jotka on jaettu seinään kiinnitetyn sulakerasian kautta erikseen eri kuormille. Aurinkosähkökeskus ja akusto muodostavat yhdessä SFS 6000 mukaisen SELV-piirin

(SFS 6000-4-41), joka on maadoittamaton järjestelmä. Järjestelmän pääsyötöt aurinkopaneeleilta ja akustolta keskukselle ovat mitoitettu kuormitettavuustaulukon ja kaavan 5 mukaan sekä huomioiden mahdollinen jännitteenalenema. Kaavalla 5 vertailtiin paneeleilta tulevien johtojen eroja ja päädyttiin 6 mm^2 kaapelointiin kompromissina hinta-laatusuhteesta. Hieman suuremmilla johdin pinta-aloilla saatiin jännitteenalenemaan pienennettyä. Pääjohdin aurinkosähkökeskuksen ja akuston väliin mitoitettiin myös jännitteenaleneaman mukaan. Pääjohtimelta syötetään kuormia, joten jännitteenaleneaman tuli olla alle 5 % ja johtimen kooksi valittiin 25 mm^2 .

$$dU = I \times 2 \times r \times l$$

$$du = dU/U_n \times 100 \%$$

(5)

Aurinkosähköjärjestelmän asennustavat

SELV-järjestelmän jännitteet eivät ylitä 50 V vaihtojännitteen tai 120 V tasajännitteen ylärajoja. Myöskään keskuksen sisältämän invertteri ei ylitä jännitearvoa, sillä se on puolijohdemuuttaja, jonka sisäisen ja ulkoisen piirin välillä on suojaerotus (sis. myös omat sisäiset suojaukset). SELV-järjestelmä on erotettu koteloinnilla (yli IPXXB) sekä galvaanisesti (akkulaturien muuntajat, turvallisesti vioittuvat) akuston sekä aggregaatin välisestä FELV-järjestelmästä.

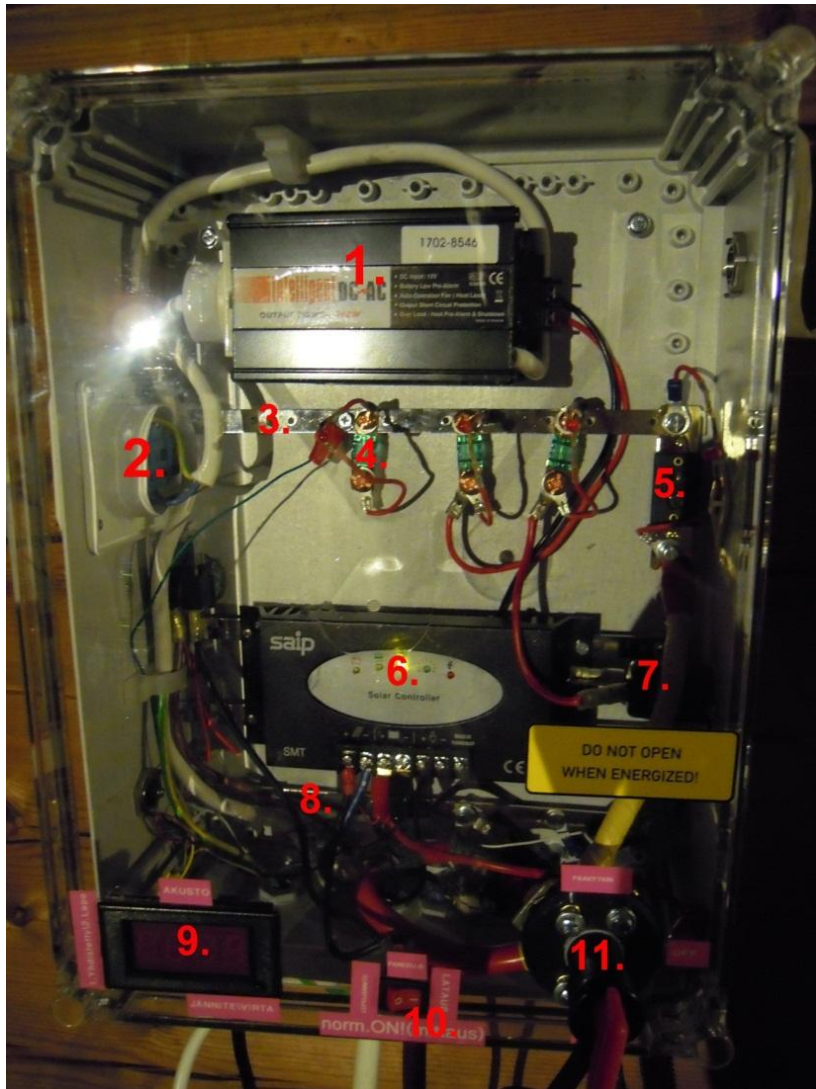
FELV-järjestelmään maadoitetut akkulaturien rungot on eristetty SELV-järjestelmän johtimista, eikä akkutilan puurakenne ole johtavaa materiaalia. FELV-järjestelmässä käytetään myös lisäsuojauksia, koska sen osat on sijoitettu ulkotiloihin ja siihen liitetystä ryhmäkeskuksesta (kuva 12, ks. seur. s.) on tarkoitus käyttää myös muita sähkölaitteita (maksimissaan 1 kerrallaan). Lisäsuojauksen perusvaatimukset täyttyvät ryhmäkeskuksessa, joka sisältää lisäksi 30 mA vikavirtasuojan ja maadoitus on yhdistetty aggregaattikopin perustukseen. Aggregaatin runko on yhdistetty generaattorikopin perustuksen betoniin upotettuun metallirakenteeseen. [14; 15.]



Kuva 12. Järjestelmässä käytetyn ryhmäkeskuksen tyyppikilpi

5 Aurinkosähköjärjestelmän keskus

Aurinkosähköjärjestelmän keskus on koko aurinkosähköjärjestelmän toiminnan kannalta tärkein osa. Sen sisällä tapahtuu järjestelmän päätoimintoina latauksen säätö akustolle, mittarointi, sekä tasa- ja vaihtojännitteellä toimivien kuormien syöttö. Keskus näkyy kokoonpantuna ja asennettuna kuvassa 13 (ks. seur. s.).



Kuva 13. Aurinkosähkökeskus asennettuna seinällä

1. invertteri 300 W
2. 1-Pistorasia (IP44)
3. virtakisko (+)
4. sulake (40 A) ja rinnan kytketty led
5. pääsulake (100 A)
6. MPPT Lataussäädin (SAIP)
7. 12 V:n pistoke
8. virtakisko (-)
9. jännite-/virtamittari
10. latauskytkin (on/off)
11. pääkytkin (200 A)

Aurinkosähköjärjestelmän keskus saa sähkösyötön aurinkopaneeleilta tulevilta johtimilta lataussäätimeen, josta lähtee erilliset johtimet keskuksen kautta akustolle. Näiden eri johtimien seuranta tapahtuu keskuksessa olevista mittalaitteista ja merkkivaloista. Säätimeltä lähtevä johdin (+) ja akuston positiivinen johdin on yhdistetty pääkytkimen samaan liityntäpisteeseen, jolloin niiden yhteys säilyy vaikka muut laitteet keskuksessa olisivat *off*-tilassa. Pääkytkimen (*on*-tila) kautta yhteys saadaan tästä pisteestä myös positiiviseen virtakiskoon. Tällöin virta kulkee akustosta kiskon ja siinä olevan sulakkeen kautta invertterille sekä 12 V:n pistokkeelle.

Mikäli invertterin tai 12 V:n pistokkeen kautta käytettävä laite vikaantuisi/oikosulkeutuisi palaisi virtakiskolla oleva sulake, ja led-merkkivalo syttyisi, mikäli laitteen oma sulake ei toimisi ensin. Virtakiskolla oleva sulake suojaa keskuksen sisällä kulkevia johtimia oikosuluilta. Laitteen toimiessa normaalisti virta kulkee helpointa reittiä suoraan sulakkeen läpi ja sen palaessa virta kääntyy kulkemaan vastuksen ja vilkkuvan ledin läpi indikoiden vikaa järjestelmässä. Myös virtakiskon lisäsuojana on toinen 100 A:n pääsulake, joka suojaa järjestelmää lataussäätimen tai pääkytkimen vikaantumiselta. Pistorasiasa saa syötön invertteriltä ja invertteritä ohjataan päälle ja pois seinälle asennettavasta kytkimestä, joka ei näy kuvissa (keskuksen alla seinällä).

Latauskytkimellä voidaan katkaista paneeleilta tuleva virta lataussäätimelle, jolloin voidaan mitata akuston lepojännite keskukselta. Normaalisti mittari näyttää vaihtoehtoisesti paneeleilta tulevan virran säätimelle tai lataussäätimen ja akuston yhteisjännitteen (lataus+varaus). Kytkimellä saadaan katkaistua latauksen jännite hetkeksi ja saadaan mitattua pelkästään akuston jännite, jonka tasosta voidaan kokemukseräisesti arvioida akuston varaus.

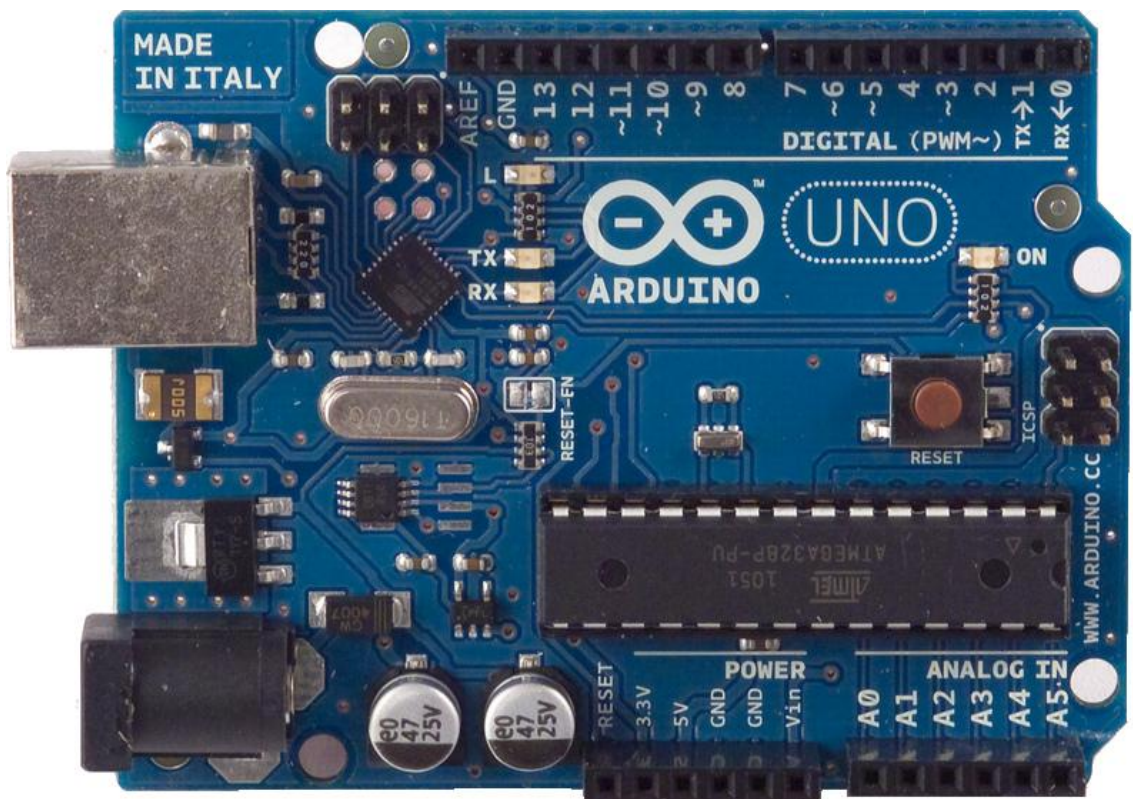
Sulautettu energiamittari

Aurinkosähköjärjestelmän toiminnan seuraamiseksi haluttiin enemmän tarkkailtavia arvoja. Tarkemman mittaroinnin avulla voidaan myös pitää lokia aurinkopaneeliston toiminnasta ja tehdä yksityiskohtaisempi arvio järjestelmän tuotosta kyseissä sijainnissa. Sopivia kaupallisia sovelluksia tasajännitteen ja -virran mittaukseen löytyi markkinoilta yllättävän vähän, tai niiden hinta oli moninkertainen verrattessa yleisempiin vaihtosähkösovelluksiin. Tämän takia päädyttiin harrasteiden kautta etsimään sopivaa helposti hyödynnettävää projektia energian ja sähköisten arvojen mittaukseen. Lopulta

päädyttiin ns. sulautettuun järjestelmään, joka toteutettiin Arduino-merkkisellä ohjelmoitavalla sulautetulla mikrokontrollerilla.

Arduino-elektroniikkakortti

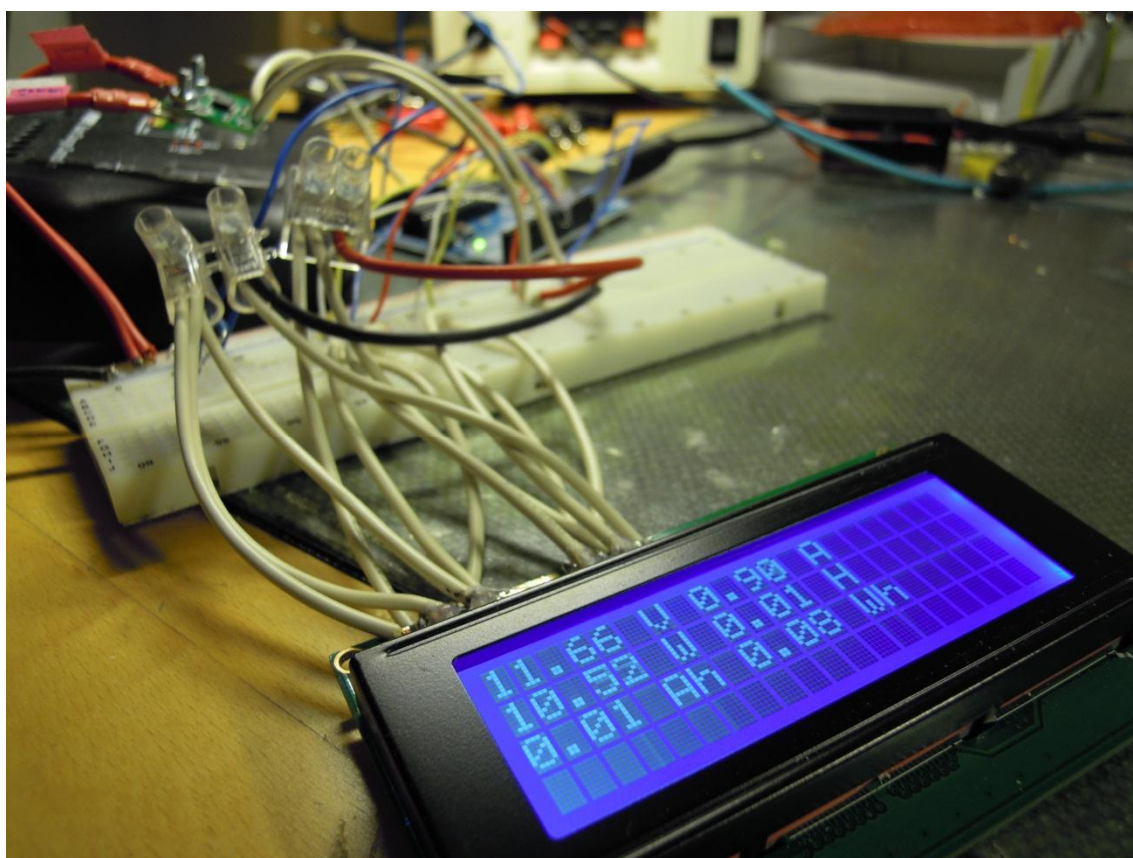
Arduino on ohjelmoitava elektroniikkakortti, joka sisältää mikrokontrollerin eli tietokoneen, jossa on prosessori sekä muistia. Arduino-kortit ovat suunniteltu nopeiksi prototyyppien testialustoiksi. Kortti on helposti kytkettävissä tietokoneeseen esim. kannettavan tietokoneen USB-porttiin ja on ohjelmoitavissa melko helposti siihen tarkoitettulla arduino-ohjelmointikielellä. Ohjelmointikieli on helpoitettua C-kieltä, jolloin ohjelmointi helpottuu sekä nopeutuu. Arduinon kanssa toimiva ohjelmisto on avointa lähdekoodia, se sisältää valmiit ohjelmointikirjastot ja toimii yleisempien käyttöjärjestelmien kanssa. Arduino voi joko toimia itsenäisenä järjestelmänä tai kommunikoida tietokoneella pyörivän ohjelman kanssa. Arduino-merkkiä kantavia mikrokontrollereita on useampia avoimen lisenssin alaisia malleja, tässä insinööriyössä on käytetty Arduino Uno R2:a.



Kuva 14. Arduino Uno R2 -kortti. [16]

Arduino-kortti toimii sulautettuna järjestelmänä kun se ohjelmoidaan käyttäjän antamilla koodeilla, jotka pohjautuvat ohjelmointikirjaston helpotettuun C-kieleen sekä ohjataan näin kortin toimintoja. Kuvasta 14 (ks. ed. s.) voitiin nähdä kortin rakenne, jonka yläosa sisältää ohjelmoitavat digitaalipinnit ohjaukseen ja alaosa analogiset sisääntulot tiedonkeruuseen esim. erilaisilta sensoreilta sekä virtapinnit. Kortin sivussa vasemmalla ylhäällä on paikka sekä USB-johdolle että alhaalla 2,1 mm:n DC-virtaliitännälle. Näillä liitännöillä kortti voidaan ohjelmoida tai sähköistää, myös muuta ulkoista virtalähdettä voidaan käyttää virtapinnien kautta (min. 6 V - max. 20 V). [17]

Toteutettu sulautettu järjestelmä

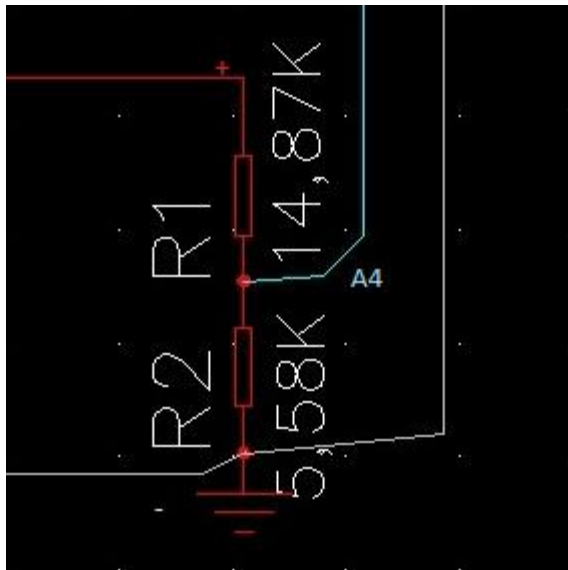


Kuva 15. Energiamittari koekytettynä ja testattavana.

Energiamittarissa käytetyn koodin on tehnyt valmiiksi Steve Spence. Koodi on avointa lähdekoodia, se on saatavilla Internetistä (lähde 18) ja muokattu lähdekoodi esitetään tässä työssä (liite 2). Koodia käytettiin, koska se oli jo todettu toimivaksi, ja se sisälsi halutut asiat joita energiamittarilta toivottiin, sekä se oli helposti muokattavissa ja mahdollisesti laajennettavissa tulevaisuudessa.

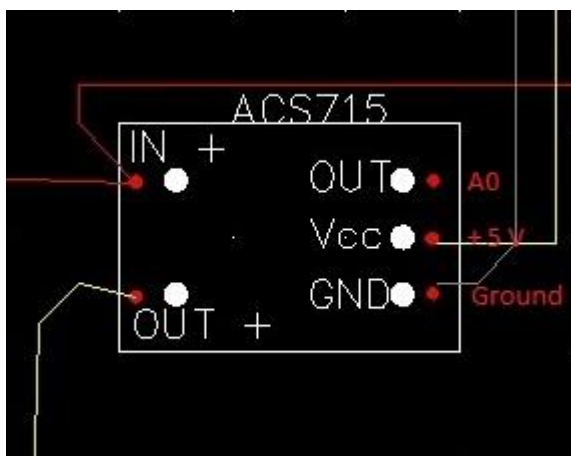
Mittarin rakenne (kts. liite 2)

Arduino-kortti tarvitsee usein ulkoisia piirejä esim. mittaus-signaalien käsittelyyn ja lähetykseen kortin vastaanottamaan muotoon, sopiviksi arvoiksi. Mittarin toteutuksessa tarvittiin ulkoinen jännitejakopiiri, sillä akuston jännite-alueen vaihtelu mitoitettiin min. 11 - 18 V maksimissaan. Säätimen valmistajalta (Saip) varmistettiin, että todelliset luvut säätimen jälkeen ovat min. 11 V, syväpurkaus-suojaus ja maksimissaan 14,8 V , latauksen katkaisujännite. Mitoituksessa on turvamarginaali, joka suojaa arduinon elektroniikkaa. Arduinon analogiset sisääntulot kestävät maksimissaan 5 V tasajännitettä rikkoutumatta. Kahden vastuksen sarjankytkentä (14,87 kohm – 5,58 kohm) mahdollistaa todellisen jännitteen maksimin 18 V:iin asti, jolloin + 5 V Arduinon analogisella mittauspinnillä ei vielä ylity (kuva 16).



Kuva 16. Jännitteen jakaja Arduinon A4-pinnille.

Myös virran mittaukselle tarvittiin oma piiri, joka toteutettiin Hall-ilmiöön perustuvalla ACS 715-mikropiirillä (kuva 17, ks. seur. s.). Piiri toimii sensorina maksimissaan 30 A:n virralle, ja se tuottaa tasajännitettä 133 mV yhtä ampeeria kohden. Mikropiiri lähettää mitatun jännitteen Arduinon analogiseen nastaan (0), joka vaihtelee 0 - 4 V suhteessa, miten paljon virtaa kulkee sensorin piirin läpi. ACS 715-sensorin läpi kulkee lataussäätimeltä tuleva virta (lähde), joka virtaa piirin läpi akustolle. Arduinon sisältämässä koodissa lasketaan jännitteestä virta ($133 \text{ mV} = 1 \text{ A}$), joka tulostetaan LCD-näytölle.



Kuva 17. ACS 715 virtasensori.

Muutokset alkuperäiseen koodiin

Jännitteen jakopiirin vastusten arvot tuli mitata tarkalla yleismittarilla (Fluke 175) ja tarkkojen mitattujen arvojen perusteella vastusten suhdekerroin ($R1/R2$) tuli muuttaa koodiin (2,665). Vastusten arvot vaihtelevat niihin maalatun tarkkuusprosentin sisällä puolijohteiden seostuksen mukaan ja vaikuttavat suhdekertoimeen. Mitä laadukkaampi valmistus on kyseessä, sitä pienempi vaihtelu on vastusten arvojen välissä. Suhdekerroin on se suhde, jolla jännitteenjako tapahtuu Arduinon piirille. Kertomalla suhteella Arduinon pinnan jännitearvo saadaan todellinen jännitteen arvo tulostettua LCD-näytölle. Arvo siis palautetaan koodissa Arduinon tarvitseman A/D-muunnoksen jälkeen.

```
" float ratio = 2.665; // Change this to match the MEASURED ration of the circuit,
14,87k R1 and 5,58k R2 "
```

Esimerkkikoodi 1. Ote muokatusta koodista (liite 3).

Myös analogisen näytteenoton jännitealue jaetaan alueelle 0 - 1 023, joka muuttaa todellista jännitteenarvoa riippuen piirin resistanssista, ja se tulee optimoida koodiin mahdollisimman lähelle todellista jännitelukemaa säätimeltä. Koodi voidaan säätää tarkemmaksi mittaamalla tarkalla yleismittarilla säätimen latausjännitettä ja muuttaa A/D-kerrointa niin, että se on sama LCD-näytölle tulostettuna (Arduinon jälkeen) kuin yleismittarin lukema.

```
" pinVoltage = batVal * 0.00668; // Calculate the voltage on the A/D pin
```

```
// A reading of 1 for the A/D = 0.00668mV
// if we multiply the A/D reading by 0.00668 then
```

”

Esimerkkikoodi 2. Ote muokatusta koodista (liite 3).

6 Sulautetun hybridiaurinkosähköjärjestelmän kokonaishinta

Järjestelmä mitoitettiin pieneksi, jotta investointikustannukset koko järjestelmälle saatiin pidettyä matalana. Hinnan takia myös suuritehoinen aggregaatti sekä työmaakeskus ostettiin käytettynä. Taulukossa 2 esitetään hintalaskelma kaikille järjestelmässä käytetyille pääkomponenteille. Sen rakentamiseen tai asentamiseen ei käytetty ulkopuolista työvoimaa, joten hintataulukko ei ota kantaa työtuntien määrään tai hintaan.

Taulukko 2. Hintataulukko järjestelmän eri osista

| <i>Tunnus</i> | <i>Lisätiedot</i> | <i>Määrä (kpl/m)</i> | <i>Hinta à (euro)</i> | <i>Yhteishinta</i> |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| Sc Solar 90 W | Aurinkopaneeli | 2 | 160 | 320 |
| MMJ 3x6S | Asennusjohdin | 10 | 2,93 | 29,3 |
| Säädin 15A MPPT | Lataussäädin (Saip) | 1 | 65,6 | 65,6 |
| Pääjohto 25 mm ² | Akuston johdin (+) | 4 | 9 | 36 |
| Jännite/virta -mittari | 50 V/100 A | 1 | 9 | 9 |
| Shunt mittavastus | 20 A/75 mV | 1 | 3,5 | 3,5 |
| Pääkytkin | 200 A | 1 | 6,9 | 6,9 |
| Pääsulake | 100 A | 2 | 5 | 10 |
| Sulakkeet | 40 A | 3 | 2,5 | 7,5 |
| Kytkin | Painokatkaisin | 2 | 2 | 4 |
| Invertteri | 300 W | 1 | 29,9 | 29,9 |
| AGM-akku | 200 Ah | 1 | 450 | 450 |
| AGM-akku | 90 Ah | 2 | 189 | 378 |
| Akkulaturi | Marine 15 A | 1 | 100 | 100 |
| Ctek älylaturi | Mxs 5.0 Polar | 1 | 89,9 | 89,9 |
| 6 kW 3~ aggregaatti | Mitsubishi (käytetty 200h) | 1 | 500 | 500 |
| Työmaakeskus ElBjörn | IP44 + 30 mA v.s. (käytetty) | 1 | 50 | 50 |
| Keskuskotelo | Cubo C (Ensto) | 1 | 133,9 | 133,9 |
| Muu tarvike | Liittimet, rakenteet ja arduino | 1 | 300 | 300 |
| Yht. (alv. 23%) | | | | 2523,5 |

7 Yhteenveto

Pienen aurinkosähköjärjestelmän todettiin soveltuvan Salon seudulla sijaitsevaan loma-asuntoon sekä onnistuttiin järjestelmän valinnassa ja mitoituksessa nykyiseen tarpeeseen. Myös järjestelmän rakentaminen ja asennus onnistuivat hyvin.

Loma-asuntoon asennettiin lisäksi tasajännitteellä toimiva valaistus, joka todettiin riittäväksi ja laajennettavaksi myöhemmin. Koko sulautettu hybridiaurinkosähköjärjestelmä saatiin onnistuneesti toteutettua liittämällä aurinkosähköjärjestelmään bensiini-aggregaatti ja rakentamalla avoimen lähdekoodin energiamittari myöhemmin järjestelmään liitettäväksi.

Rakennetulla aurinkosähköjärjestelmällä saatiin sähköistettyä loma-asunto ja suunnitellut laitteet toimimaan omavaraisesti vähintään kahden päivän ajan. Aurinkopaneelien, pääkeskuksen ja akuston asennus oli nopeaa, mutta muut vaiheet kuten varavoimasovelluksen vaatimat rakenteet ja energiamittarin komponenttien toimitus veivät suunniteltua aikaa pidemmän ajan. Järjestelmän riittävyttä ja laajennettavuutta tulee tutkia tulevaisuudessa. Myös muita mahdollisuuksia voidaan selvittää kuten tuulivoiman liittämistä ja soveltuvuutta järjestelmään sekä mahdollisuutta liittää järjestelmä vaihtosuuntaajalla vahvaan sähköverkkoon, mikäli tulevaisuudessa sähkönkäytön tarve muuttuu.

Järjestelmän kokonaishinnassa pysyttiin budjetissa, jonka hintareferenssinä oli verkkoliityntämaksun alin luokka. Koko järjestelmän hinnaksi tuli n. 2 524 euroa, joka on alle alimman vyöhyke 1 liittymismaksun (2 640 euroa). Myös hinnan osalta työ on onnistunut, ja järjestelmä tuo lisäarvoa loma-asuntoon.

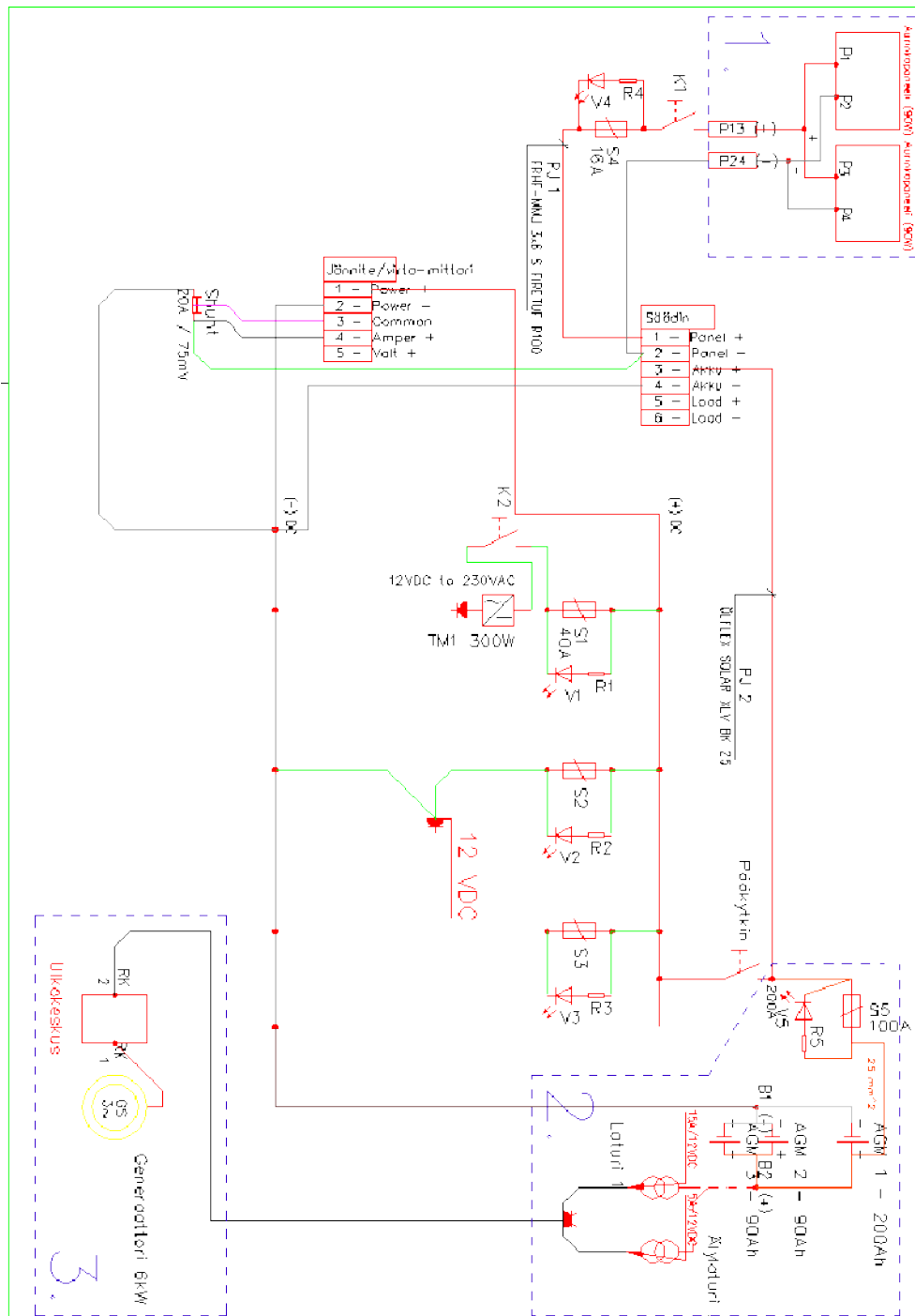
Lähteet

1. Erat, B., Erkkilä, V., Chirster, N., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. Aurinko-opas – aurinkoenergiaa rakennuksiin, Painoyhtymä Oy. 2008. Luettu 10.9. 2012.
2. Nieminen, Jukka. Aurinko, ehtymätön energialähde, Naps Systems Oy. Verkkodokumentti. < <https://www.vasek.fi/assets/Files/Puurakentamisen-tietopankki/Hajautettu-energiantuotanto/Jukka-Nieminen.pdf> >. Ei päivitystietoa. Luettu 15.9.2012.
3. Aurinkosähkö. Naps Systems Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.napssystems.com/fi/solar-electricity-2012>>. Ei päivitystietoa. Luettu 16.9. 2012.
4. Global market outlook for photovoltaics until 2016, 2012. Verkkodokumentti. < <http://files.epia.org/files/Global-Market-Outlook-2016.pdf> > Luettu 12.9. 2012.
5. Uusiutuva energia: merkittävä tekijä Euroopan energiamarkkinoilla, Euroopan komissio. 6.6.2012. Verkkodokumentti. < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0271:FIN:FI:PDF> > Luettu 15.9. 2012.
6. Pientuotannon liittäminen verkkoon. Energiamarkkinavirasto. Verkkodokumentti. < <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1598&pgid=38&languageid=246> >. Luettu 17.9. 2012.
7. Sähkömarkkinat - Sähkön myynti ja tuotanto. Energiamarkkinavirasto. Verkkodokumentti. < <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=2307&pgid=38&languageid=246> >. Luettu 17.9. 2012.
8. Selvitys sähkön pientuotannon nettolaskutuksesta. Bionova Consulting. Verkkodokumentti. <http://www.tem.fi/files/33435/Bionova_selvitys_sahkon_pientuotannon_nettolaskutuksesta.pdf> 15.6.2012. Luettu 19.9. 2012.

9. Sääasema Salo, Perteli. Vertailu. Verkkodokumentti. <<http://www.nordicweather.net/vertailut.php?fi>>. Luettu 20.9.2012.
10. Sähkön liittymismaksut Fortum Sähkönsiirto Oy:n verkkoalueella. Fortum. Verkkodokumentti. <<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/hinnastot/sahkoliittymien-hinnat/fortum-sahkonsiirto/pages/default.aspx>>. Luettu 22.9. 2012.
11. Designing stand alone system, homepower.com. Verkkodokumentti. <<https://homepower.com/articles/designing-stand-alone-system/page/0/2>>. Luettu 25.9.2012.
12. SMT Installation and Operation Manual, Saip. Sähköposti, tekijän hallussa. Luettu 27.9.2012.
13. How to size a solar charge controllers, sunsoglobal.com. Verkkodokumentti. <<http://www.sunsoglobal.com/faq/How%20to%20Size%20a%20Solar%20Charge%20Controllers.pdf>>. Luettu 27.9.2012.
14. D1-2009 käsikirja rakennusten sähköasennuksista, sähköinfo, 2009. Luettu 29.9.2012.
15. SFS-Käsikirja 600 - Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus, SFS. 2007. Luettu 1.10.2012.
16. Arduino Uno, arduino.cc. Verkkodokumentti <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Luettu 12.10.2012.
17. Karvinen, Tero ja Kimmo. 2010. Sulautetut, Helsinki: readme.fi. Luettu 15.10.2012.
18. Arduino energiamittari, Yahoo groups. Verkkodokumentti <http://tech.groups.yahoo.com/group/arduinohome/files/volt%20amp%20watt%20hour%20meter/>. Luettu 1.11.2012.

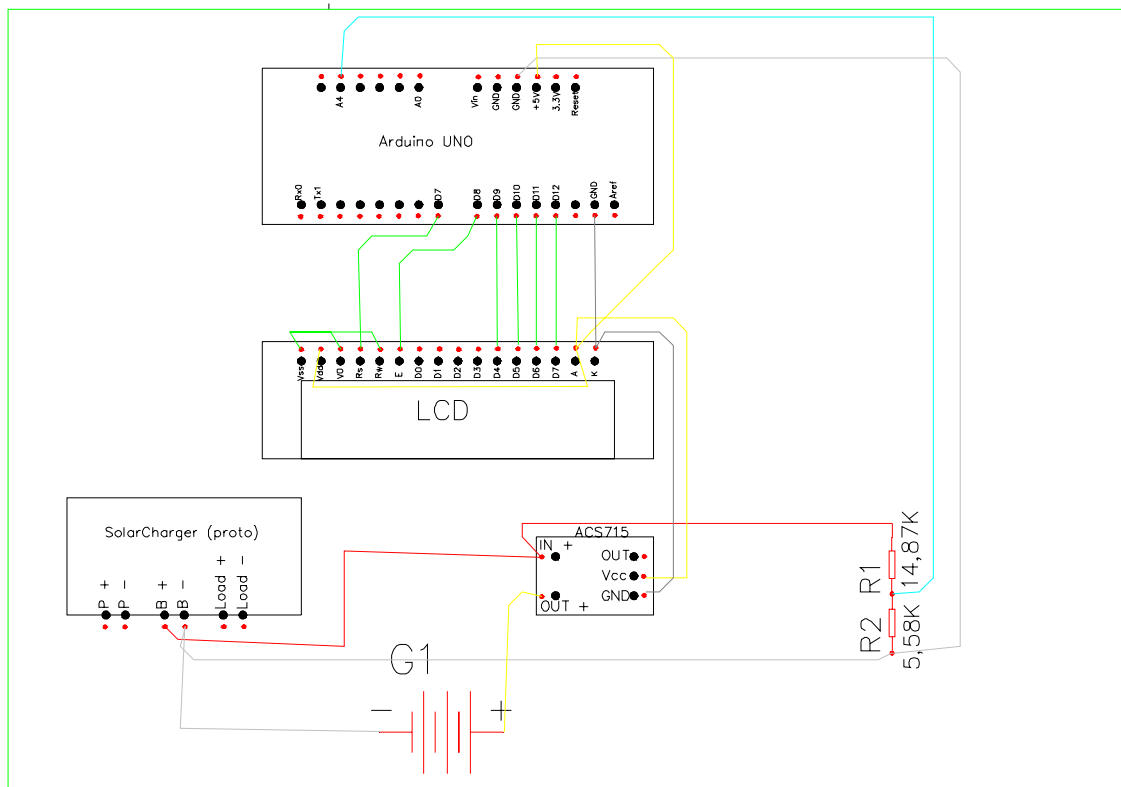
Aurinkosähköjärjestelmän pääkaavio

Koko pääkaavio hybridiaurinkosähköjärjestelmästä, ilman yhteyttä myöhemmin liitettävään energiamittariin. Ensimmäinen rajattu alue kuvaa paneelistoa, toinen alue akustoja latureineen ja kolmas varavoimasovellusta.



Sulautetun energiamittarin kytkentäkaavio

Kuvassa on esitetty energiamittarin sisältämien komponenttien yhteydet toisiinsa ja liitettä lataussäätimen, joka on ollut testikytkennässä eri mallia kuin insinööriyössä käytetty säädin.



Sulautetussa energiamittarissa käytetty avoin lähdekoodi

Tässä liitteessä on esitetty avoin lähdekoodi, joka on kokonaisuudessaan käytetty energiamittarin ohjelmoinnissa arduino kehitysympäristössä. Koodiin on merkitty punaisella värillä muutetut kohdat.

```
#include <LiquidCrystal.h>
/*
*/
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
/*
Vcc on carrier board to Arduino +5v
GND on carrier board to Arduino GND
OUT on carrier board to Arduino A0
*/
int batMonPin = A4;    // input pin for the voltage divider
int batVal = 0;        // variable for the A/D value
float pinVoltage = 0; // variable to hold the calculated voltage
float batteryVoltage = 0;
float ratio = 2.665; // Change this to match the MEASURED ration of the circuit, 14,87k
R1 and 5,58k R2
int analogInPin = A0; // Analog input pin that the carrier board OUT is connected to
int sensorValue = 0;  // value read from the carrier board
int outputValue = 0;  // output in milliamps
unsigned long msec = 0;
float time = 0.0;
int sample = 0;
float totalCharge = 0.0;
float averageAmps = 0.0;
float ampSeconds = 0.0;
float ampHours = 0.0;
float wattHours = 0.0;
float amps = 0.0;

void setup() {
  // initialize serial communications at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(20, 4);
}

void loop() {

  // read the analog in value:
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  // convert to milli amps
  outputValue = (((long)sensorValue * 5000 / 1024) - 500 ) * 1000 / 133;

  /* sensor outputs about 100 at rest.
  Analog read produces a value of 0-1023, equating to 0v to 5v.
  "((long)sensorValue * 5000 / 1024)" is the voltage on the sensor's output in millivolts.
  There's a 500mv offset to subtract.
  The unit produces 133mv per amp of current, so
  divide by 0.133 to convert mv to ma

  */
  batVal = analogRead(batMonPin); // read the voltage on the divider
  pinVoltage = batVal * 0.00668; // Calculate the voltage on the A/D pin
  // A reading of 1 for the A/D = 0.00668mV
  // if we multiply the A/D reading by 0.00668 then
  // we get the voltage on the pin.

  batteryVoltage = pinVoltage * ratio; // Use the ratio calculated for the voltage
  divider
}
```

```

// to calculate the battery voltage
amps = (float) outputValue / 1000;
float watts = amps * batteryVoltage;

Serial.print("Volts = " );
Serial.print(batteryVoltage);
Serial.print("\t Current (amps) = ");
Serial.print(amps);
Serial.print("\t Power (Watts) = ");
Serial.print(watts);

sample = sample + 1;

msec = millis();

time = (float) msec / 1000.0;
totalCharge = totalCharge + amps;
averageAmps = totalCharge / sample;
ampSeconds = averageAmps*time;
ampHours = ampSeconds/3600;
wattHours = batteryVoltage * ampHours;

Serial.print("\t Time (hours) = ");
Serial.print(time/3600);

Serial.print("\t Amp Hours (ah) = ");
Serial.print(ampHours);
Serial.print("\t Watt Hours (wh) = ");
Serial.println(wattHours);

lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(batteryVoltage);
  lcd.print(" V ");
  lcd.print(amps);
  lcd.print(" A ");

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(watts);
lcd.print(" W ");
lcd.print(time/3600);
lcd.print(" H ");

lcd.setCursor(0,2);
lcd.print(ampHours);
lcd.print(" Ah ");
lcd.print(wattHours);
lcd.print(" Wh ");

// wait 10 milliseconds before the next loop
// for the analog-to-digital converter to settle
// after the last reading:
delay(10);
}
```