



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Janne Turpeinen

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja asentaminen matkailuautoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

3.10.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Janne Turpeinen Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja asentaminen matkailuautoon 19 sivua 3.10.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Ajoneuvosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Vesa Linja-aho
<p>Opinnäytetyön aiheena ja tavoitteena oli suunnitella ja asentaa matkailuautoon aurinkosähköjärjestelmä, josta saisi sähköä matkailuautossa käytettäviin sähkölaitteisiin, kuten jääkaappiin ja valaistukseen.</p> <p>Työssä selvitettiin aurinkosähköjärjestelmän perustoimintaperiaatetta ja tarvittavien komponenttien perusominaisuuksia. Tietoa etsittiin internetistä sekä aiheeseen liittyvistä kirjoista.</p> <p>Tuloksena saatiin suunniteltua ja asennettua toimiva aurinkosähköjärjestelmä matkailuautoon, jonka avulla saadaan sähköä sähkölaitteille, kuten jääkaappi, valaistus ja vesihanauksen pumppu, sekä kannettavien sähkölaitteiden kuten kännyköiden lataukselle.</p>	
Avainsanat	aurinkosähkö, matkailuauto

Author Title Number of Pages Date	Janne Turpeinen Designing and Installing Photovoltaic System on Camper Van 19 pages 3 October 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Electronics Engineering
Instructors	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to design and build a photovoltaic system for a camper van. The purpose of the photovoltaic systems on a camper van is to produce electricity for electric devices such as 0061 refrigerator, lights and phone chargers and other similar things.</p> <p>First, I studied about photovoltaic systems in the internet and from topic-related literature.</p> <p>After that the photovoltaic system was designed and built on the camper van.</p> <p>As a result, the photovoltaic system was tested, and it was found to work perfectly.</p>	
Keywords	photovoltaic, camper van

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähköjärjestelmä matkailuautoon	1
2.1	Aurinkokenno/paneeli	2
2.1.1	Yksikidepaneeli	3
2.1.2	Monikidepaneeli	4
2.1.3	Amorfinen paneeli	4
2.1.4	Aurinkopaneelin mitoitus ja valinta	5
2.2	Aurinkosähkön varastointi	6
2.3	Johtimet	6
2.4	Sulakkeet	8
2.5	Lataussäädin	9
3	Asennus	10
3.1	Aurinkopaneeli	10
3.2	Akku	12
3.3	Lataussäädin	12
3.4	Johtimien ja sulakkeiden valinta ja asennus	14
3.4.1	Aurinkopaneelin johtimet	14
3.4.2	Valaisimien johtimet	15
3.4.3	USB- ja tupakansytytinpistokkeiden johtimet	15
3.4.4	Jääkaapin johtimet	16
3.4.5	Akun johtimet	16
3.4.6	Vesipumpun johtimet	17
3.4.7	Johtimet lataussäätimeltä sulakerasialle	17
4	Yhteenveto ja pohdinta	18
	Lähteet	19

Lyhenteet

MPPT Maximum Power Point Tracking. Maksimitehopisteen seuranta.

PWM Pulse-Width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio.

1 Johdanto

Sähkölaitteiden määrä ja tarve kasvaa koko ajan, ja niitä halutaan käyttää myös matkaillessa matkailuautolla. Sähkölaitteiden tarpeen lisääntyessä myös sähkön tarve lisääntyy. Matkailuauton oma akusto ja moottorin pyörittämä laturi eivät välttämättä enää riitä tuottamaan sähköä tarpeeksi kaikille tarvittaville sähkölaitteille, varsinkin jos ollaan pidemmän aikaa paikoillaan ja sähköverkon ulottumattomissa.

Aurinkosähköjärjestelmä on hyvä ratkaisu tähän ongelmaan. Järjestelmä on melko edullinen toteuttaa ja yksinkertainen asentaa, sekä sähkön tuotto on hiljaista ja ekologista. Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa aurinkoisina päivinä hyvin sähköä ja jonkun verran jopa pilvisellä säällä. Järjestelmän päivällä tuottama ylijäävä sähkö voidaan varastoida akustoon myöhempää käyttöä varten.

Matkailuautoon asennettava aurinkosähköjärjestelmä toimii pienoisjännitealueella, joten tavallinen kuluttaja voi ja saa asentaa järjestelmän itse.

Opinnäytetyön aiheena ja tavoitteena oli suunnitella ja asentaa matkailuautoon aurinkosähköjärjestelmä, josta saisi sähköä matkailuautossa käytettäviin sähkölaitteisiin, kuten jääkaappiin ja valaistukseen. Tämä projekti toteutettiin standardin SFS 6000-7-721:2017 (Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-721: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Matkailuajoneuvojen sähköasennukset.) mukaisesti.

Matkailuauto, johon aurinkosähköjärjestelmä asennettiin, on 1985 vuonna valmistettu Toyota Hiace, jossa on normaalia pakettiautomallia korkeampi katto sekä matkailuautovarustelu.

2 Aurinkosähköjärjestelmä matkailuautoon

Aurinkosähköjärjestelmä matkailuautossa on järjestelmä, jolla voidaan tuottaa tasasähköä auringon valonsäteilystä oleskelu- ja nukkumatilan sähkölaitteille, kuten jääkaappi,

valaistus, vesipumppu, televisio, radio ja kaiuttimet ja kannettavien laitteiden latauspistokkeet, ja invertterille, josta voidaan ottaa virtaa pienille laitteille, jotka tarvitsevat 230 V:n vaihtosähköä.

Matkailuautoissa on yleensä jo valmiina erillinen akku, josta voidaan ottaa sähköä edellä mainituille laitteille ja erikseen myös moottorin käynnistystä varten oleva käynnistysakku. Näitä akkuja ladataan auton moottorin pyörittämällä laturilla tai verkkosähköön liitettävällä laturilla. Nämä akut näin toimivalla latauksella eivät kuitenkaan yksinään riitä kovin kauan, jos halutaan olla pidemmän aikaa paikoillaan tai verkkosähköä ei ole saatavilla, ja tällöin aurinkosähköjärjestelmä on kätevä ratkaisu.

Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentteja ovat

- aurinkopaneeli
- akku
- lataussäädin
- johtimet
- sulakkeet.

2.1 Aurinkokenno/paneeli

Aurinkokennot ovat puolijohdekomponentteja, jotka koostuvat kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, ja valon osuessa niihin, ne tuottavat tasasähköä. Tavallisimmin kennot ovat noin 10 cm x 10 cm:n kokoisia ja 0,1 – 0,4 mm:n paksuisia, ja ne tuottavat 0,5 V:n jännitteen. Virran määrään vaikuttaa säteilyteho ja kennon pinta-ala. [1, s. 120–121.] Aurinkokennot valmistetaan joko yksikiteisestä, monikiteisestä tai amorfisesta piistä. Pii on hyvin yleinen alkuaine maan kuoressa, ja siitä tehdään kennoja kasvattamalla piikide tankomuotoon ja sahaamalla siitä sopivan paksuisia kennoja, valamalla tai höyrystämällä sopivalle alustamateriaalille. [1, s. 124; 2, s. 37.] Kuvassa 1 on kaksi erillistä aurinkokennoa, joista vasemmanpuoleinen on monikiteinen ja oikeanpuolimmainen yksikiteinen kenno.

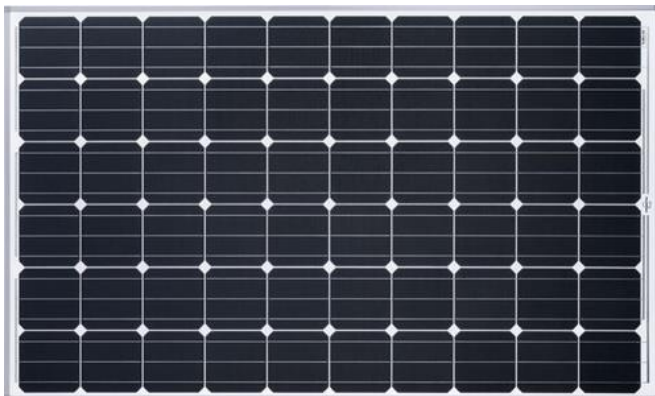


Kuva 1. Vasemmalla monikidekenno ja oikealla yksikidekenno [3].

Aurinkopaneeli muodostuu useasta aurinkokennosta, joita kytketään sarjan ja rinnan, jotta saavutetaan tarvittava jännite ja virta. Yleensä aurinkokennoja kytketään sarjaan 30–36 kappaletta, jotta saavutetaan 12 V:n jännite. [1, s. 126.]

2.1.1 Yksikidepaneeli

Yksikidepaneelit kootaan yksikiteisestä piitangosta leikatuista paloista. Palat ovat alun perin pyöreitä, mutta niistä leikataan palat pois, jotta aktiivinen pinta-ala saadaan suuremmaksi. Tästä syystä yksikidepaneelien kennojen kulmissa on usein vaaleat salmiakkikuviot kuten kuvassa 2 näkyy. [4, s. 57.]



Kuva 2. Yksikidepaneeli [5].

Yksikidepaneelin hyötysuhde on 16–25 % eli hieman korkeampi kuin monikide- tai amorfisen paneelin, mutta hinta per watti on korkeampi kuin monikidepaneelilla, sillä valmistus on hidasta ja vaatii huolellista työtä. Varjot, kuten puunlehdet ja muut roskat, alentavat rajusti yksikidepaneelin hyötysuhdetta, eikä yksikidepaneeli pysty hyödyntämään hajavaloa niin hyvin kuin monikidepaneeli [1, s. 125; 4, s. 57–58.]

2.1.2 Monikidepaneeli

Monikidepaneeli valmistetaan valamalla. Siinä on yhtenäinen tasainen pinta, kuten kuvasta 3 voidaan havaita, ja siitä on helpompi tehdä juuri sen kokoinen kuin halutaan.



Kuva 3. Monikidepaneeleja [6].

Kiderakenne ei ole samalla tapaa yhdensuuntainen kuten yksikidepaneelissa, mikä on selvästi huomattavissa kuvasta 1, ja tästä syystä monikidepaneelin hyötysuhde on pienempi, alle 20 %. Monikidepaneeli pystyy hyödyntämään kiderakenteen vuoksi paremmin hajavaloa, joten varjot eivät vaikuta hyötysuhteeseen niin paljoa. Tämä paneelityyppi on yleisin kiinteistöikäytössä, sillä Suomessa on paljon hajavaloa [4, s. 57–58.]

2.1.3 Amorfinen paneeli

Amorfinen paneeli valmistetaan höyryttämällä piitä ohuelle kalvolle ja siitä voidaan tehdä taipuisa, kuten kuvassa 4 voidaan hyvin havaita, mikä mahdollistaa sen asentamisen melkein mihin vain [1, s. 125].



Kuva 4. Taipuisa amorfinen paneeli [7].

Paneelin hyötysuhde on 9–13 %, ja sen nimellisteho laskee muita paneelityyppejä paljon nopeammin [2, s. 38].

2.1.4 Aurinkopaneelin mitoitus ja valinta

Tässä projektissa tärkeimmäksi valintakriteeriksi paneelille osoittautui sen fyysiset mitat, sillä matkailuautossa, johon aurinkosähköjärjestelmä asennettiin, on erikoisen muotoinen katto ja katolla oleva alue, johon paneelin pystyi asentamaan, on vain 850 mm x 970 mm:n kokoinen. Useimmissa asuntoautoissa on kuitenkin paljon enemmän tilaa. Tärkeitä valintakriteereitä olivat myös aurinkopaneelin tuottama maksimiteho, paneelityyppi ja hinta.

Matkailuauton aurinkopaneelin tyyppiä paras olisi monikidepaneeli, sillä matkailuauto on todennäköisesti usein lähellä puita, joista saattaa pudota lehtiä ja roskia paneelin päälle ja kuumina päivinä matkailuauton pysäköi mieluummin varjoon kuin suoraan auringonpaisteeseen. Iso osa auringonsäteilystä tulee siis hajavalona.

Aurinkopaneeleissa ilmoitetaan usein niiden suurin nimellinen tuotantoteho, joka on mahdollista saavuttaa, kun säteilyn määrä on sama tai suurempi kuin ilmoitettu säteilymäärä. Usein ilmoitettu säteilyn määrä on 1000 W/m², joka on lähellä säteilyä Suomessa keskikesällä keskipäivän aikoihin, kun aurinko paistaa pilvettömältä taivaalta [2, s. 67]. Aurinkopaneeleissa ilmoitetut suurimmat nimellistehot ovat usein 10–300 W.

2.2 Aurinkosähkön varastointi

Yleensä aurinkosähköjärjestelmien tuottamasta sähköstä ei voida hyödyntää kaikkea heti, joten se on varastoitava myöhempää käyttöä varten. Verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä tuotettu sähkö varastoidaan yleisesti lyijyakkuihin. [2, s. 51.]

Akku

Aurinkosähköjärjestelmissä yleisesti käytetyt lyijyakut ovat kohtuuhintaisia, niiden saata- vuus on hyvä, ja ne kestävät suuria purku- ja latausvirtoja. Perinteinen käynnistysakku on kuitenkin huono vaihtoehto, sillä ne eivät kestä syklistä käyttöä tai syväpurkua kovin hyvin [2, s. 51.]

Perinteistä käynnistysakkua parempia vaihtoehtoja ovat lyijyakuista joko AGM-akku tai geeliakku. Nämä molemmat kestävät hyvin syväpurkua, ne ovat huoltovapaita ja toimivat pitkään syklisessä käytössä. Geeliakut kestävät parhaiten syväpurkua, mutta ne ovat AGM-akkuja huomattavasti kalliimpia, eikä niitä voida käyttää käynnistysakkuina. [8] Asuntoautossa aurinkosähköjärjestelmän niin sanotun hupiakun olisi hyvä olla tarvitta- essa käytettävissä myös käynnistysakkuna hätätapauksia varten, jos asuntoauton oma käynnistysakku jostain syystä purkaa jännitteensä liian alhaiseksi.

2.3 Johtimet

Aurinkosähköjärjestelmän tärkein komponentti on johdin, sillä vääränlainen johdin voi johtaa turhiin jännitehäviöihin sekä aiheuttaa jopa tulipalovaaran. On tärkeää, että aurin- kopaneelilta tuleva johdin kestää ulkokäyttöä, sillä se tulee altistumaan paljon UV-sätei- llylle sekä eri lämpötiloille. [2, s. 56.] Useissa aurinkopaneeleissa on valmiina tarpeeksi pitkät oikeanlaiset johtimet niin, että johtimet saadaan asennettua läpiviennin kautta asuntoautoon sisälle ja siitä jatkettua oikeanlaisten liittimien avulla lataussäätimelle.

Johtimen sopiva paksuus määritetään sen mukaan, paljonko johtimessa tulee kulke- maan maksimissaan virtaa, kuinka pitkä johtimen tarvitsee olla ja mikä on sallittu jänni- tehäviö [2, s. 56]. Siis mitä pidempi johdin on, sitä paksumpi sen tarvitsee olla, ja paksut

johtimet ovat kalliita. Asuntoautoon tehdessä aurinkosähköjärjestelmää johtimet jäävät onneksi yleensä melko lyhyiksi, joten niistä ei myöskään tule suuria kustannuksia.

Johtimen mitoituksessa käytettäviä kaavoja ovat seuraavat:

Kaava 1.

$$\text{Johtimen resistanssi: } R = \left(\rho \times \frac{L}{A} \right) \times (1 + ltk \times (t - 20))$$

Kaava 2.

$$\text{Jännitehäviö: } U = R \times I$$

Kaava 3.

$$\text{Johtimen poikkipinta-ala: } A = \rho \times \frac{L}{R}$$

- U = jännite (häviö)
- I = virta
- R = johtimen resistanssi, ohmia (Ω)
- ρ = resistiivisyys, kuparilla 0,017 Ωm
- L = pituus metreinä
- A = poikkipinta-ala (mm^2)
- ltk = lämpötilakerroin, kuparilla 0,0039
- t = johtimen lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

Taulukossa 1 on suuntaa antavia arvoja johtimen paksuuden valintaan.

Taulukko 1. Johtimen poikkipinta-aloja eri virroilla [2, s. 56].

Virta A	Tarvittava johtimen poikkipinta-ala mm ²	Esimerkkejä laitteista
5	0,75	Pienet LED-valaisimet
10	1,5	Valaisimet
16	2,5	Tupakansytytinpistoke
25	4	Jääkaappi
37,5	6	Aurinkopaneeli
50	8	Pienitehoiset invertterit
100	16	Keskitehoiset invertterit
200	32	Suuritehoiset invertterit

Jos johtimet asennetaan ahtaisiin paikkoihin, joissa ne eivät pääse tuulettumaan tai jos ne asennetaan niputettuna toisiinsa, tulee valita noin 30 % paksumpi johdin [2, s. 56.] Taulukossa 2 on ohjeellisia suurimpia jännitehäviöitä eri johdintyypeille käyttötarkoituksen mukaan.

Taulukko 2. Ohjeellisia suurimpia jännitehäviöitä eri johdintyypeille [2, s. 59].

Johdin	Jännitehäviö
Valaisimet ja muut pienikulutteiset laitteet	0,5 V
Akkukaapeli säätimestä akkuun	0,1 V
Aurinkopaneelilta säätimeen	0,5 V
Suuritehoiset invertterit	0,1 V

2.4 Sulakkeet

Sulakkeet ovat turvallisuuden kannalta erittäin tärkeä osa aurinkosähköjärjestelmää. Sulakkeen tarkoituksena on katkaista virran kulku, jos virta nousee liian korkeaksi esimerkiksi oikosulku- tai ylikuormitustilanteessa. Sulaketyyppejä on erilaisia, esimerkiksi laatulasulakkeet, lasiputkisulakkeet ja automaattisulakkeet. Automaattisulake on hyvä vaihtoehto pääsulakkeeksi, joka kytketään mahdollisimman lähelle akkua, yleensä plusjohtimen väliin. Sulakkeet mitoitetaan johtimessa kulkevan maksimivirran mukaan; eli esimerkiksi jos johdin on mitoitettu 5 ampeerin mukaan, sulakkeen virta-arvo ei saa ylittää

5 ampeeria. [2, s. 66.] Taulukossa 1 on lueteltu virta-arvoja, joita voi maksimissaan kuljettaa tietyssä johdinpaksuudessa.

2.5 Lataussäädin

Aurinkosähköä varastoidessa akkuun tai akkuihin tarvitaan aina lataussäädin. Lataussäätimen tehtävänä on säädellä aurinkopaneelilta tulevaa virtaa ja jännitettä sopivaksi akun lataukseen. Lataussäädin voi myös näyttää latausvirran suuruuden, akun jännitteen, arvion akun varaustilasta, kulutusvirran sekä yhteenlasketun akkuun ladatun energian. [2, s. 43.] Näitä voidaan joissain lataussäätimissä seurata integroidulta näytöltä kuten kuvassa 5 olevassa lataussäätimessä ja joihinkin lataussäätimiin voidaan liittää erillinen näyttö.



Kuva 5. Suomalaisen yrityksen NAPS Solar Systems Oy:n NC30-lataussäädin [9].

Lataussäätimessä voi olla myös ominaisuus, joka katkaisee jännitteen kulutuslaitteilta, jos akun jännite laskee liian alhaiseksi [2, s. 43].

MPPT- ja PWM-säädin

MPPT (Maximum Power Point Tracking) -säätimet ovat kalliimpia kuin PWM (Pulse Width Modulation) -säätimet, mutta niillä saadaan käyttöön aurinkosähköjärjestelmästä mahdollisimman suuri tuotantopotentiaali. Aurinkosähköjärjestelmän latausteho on yleensä MPPT-säätimen kanssa noin 20 % parempi kuin PWM-säätimellä. MPPT-säädin nimensä mukaisesti seuraa jatkuvasti aurinkopaneelin tuottamaa maksimitehopistettä eli korkeimman paneelijännitteen ja virran leikkauspistettä, jolla ladata akkua. [10; 11]

3 Asennus

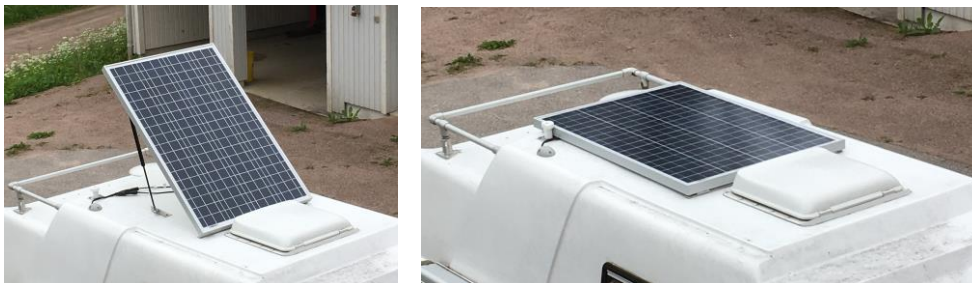
Järjestelmään liitettävät kulutuslaitteet ovat

- valaistus
- jääkaappi
- vesipumppu
- invertteri
- USB-pistokkeet ja tupakansytytinpistoke.

3.1 Aurinkopaneeli

Aurinkosähköjärjestelmän aurinkopaneeliksi valttiin Solarxon ES-90P. Aurinkopaneelin tuottama suurin nimellisteho on 90 W, suurin jännite 21,6 V ja suurin virta 5,13 A. Aurinkopaneelissa on valmiiksi asennettuna kytkentärasiaan kaksi 0,9 m:n pituista ja 4 mm² poikkipinnaltaan olevaa johdinta, joissa on MC4-tyyppiset liittimet kiinni.

Kuvasta 6 voidaan nähdä, miten aurinkopaneeli asennettiin matkailuauton katolle.



Kuva 6. Aurinkopaneeli asennettuna katolle.

Aurinkopaneeli kiinnitettiin etureunastaan kiinni kattoon kolmella saranalla, jotka näkyvät kuvassa 7.



Kuva 7. Aurinkopaneeli kiinnitettyä kattoon saranoilla.

Taakse asennettiin kaksi kaasujousta, joiden kiinnityksen näkee kuvassa 8. Kaasujouset mahdollistavat paneelin nostamisen pystyyn, noin 45°:n kulmaan, jotta sähkön tuotto saataisiin mahdollisimman hyväksi.



Kuva 8. Kaasujousen kiinnitys aurinkopaneeliin.

Kaikki kiinnikkeet, saranat, ruuvit, nitit yms. pyrittiin valitsemaan joko alumiinisena tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuina, jotta ne eivät ruostuisi kosteissa olosuhteissa.

3.2 Akku

Akun valintaan vaikutti suuresti hinta sekä fyysiset mitat, sillä se on selvästi kallein komponentti koko järjestelmässä ja akun kotelo on melko rajatun kokoinen kyseisessä autossa. Aurinkosähköjärjestelmän sähkövarastoksi valittiin lyijyakku, Powerxon AGM 125, joka on kuvassa 9.



Kuva 9. Aurinkosähköjärjestelmän akku.

Valitun akun kapasiteetti on 125 Ah, ja akku on suunniteltu kestämaan syklistä käyttöä, jossa syväpurut ovat myös mahdollisia. Akku kiinnitettiin yksinkertaisella tukiraudalla, jottei se pääse liikkumaan kotelossaan.

3.3 Lataussäädin

Lataussäätimeksi valikoitui LandStar LS1024B -PWM-säädin, joka on kuvassa 10. Lataussäätimelle on annettu maksimisisäntulo- ja ulosottovirraksi 10 A, ja aurinkopaneelilta tuleva jännite saa olla korkeintaan 50 V. Nämä rajat riittävät hyvin yhden 90 W:n aurinkopaneelin ja käytettävien sähkölaitteiden kanssa.



Kuva 10. Lataussäädin.

Lataussäätimeen kytkettiin lisäksi erillinen näyttö, josta voidaan tarkkailla akun varaus-
tasoa, paneelilta tulevaa jännitettä sekä virtaa ja sähkölaitteiden kuluttamaa virtaa.



Kuva 11. Lataussäätimeen kytketty näyttö.

Näyttö on mallia EPsolar MT-50. Näyttö oli yksinkertainen asentaa, ja kuvassa 11 se on
upotettuna vaneriseinään, jonka toiselle puolelle asennettiin lataussäädin.

3.4 Johtimien ja sulakkeiden valinta ja asennus

Aurinkosähköjärjestelmän johtimet valittiin ja asennettiin SFS-6000-7-721:2017 -standardin vaatimuksien mukaisesti. Standardin mukaan kaikkien johtimien on muun muassa oltava poikkipinnaltaan vähintään 1,5 mm² ja materiaaliltaan kuparia ja kaikki johtimet on suojattava mekaaniselta vaurioitumiselta joko sijoituksen tai lisäsuojauksen avulla, sillä ne joutuvat alttiiksi tärinälle [12, s. 8–9]. Johtimien on myös oltava standardin SFS-6000-7-721:2017 mukaan

a) taipuisia hienolankaisia eristettyjä johtimia asennettuina asennusputkeen tai johtokanavaan

b) muutamalankaisia (vähintään 7 lankaa) eristettyjä johtimia asennettuina eristeen aineeseen asennusputkeen tai

c) vaipallista taipuisaa kaapelia.

Lisäksi jos johdinta ei asenneta jäykän asennusputken sisälle, se on tuettava pystysuoraan asennettaessa enintään 0,4 m:n välein ja vaakasuoraan asennettaessa enintään 0,25 m:n välein. [12, s. 9.]

3.4.1 Aurinkopaneelin johtimet

Aurinkopaneeliksi valittiin nimellisteholtaan 90-wattinen monikidepaneeli, ja se toimii 12 voltin järjestelmässä. Johtimen pituus aurinkopaneelilta lataussäätimelle on noin 2 metriä ja jännitehäviön on sallittua olla taulukon 2 mukaan korkeintaan 0,5 V. Laskettaessa oletetaan, että lämpötila on 20 °C, joten lämpötilakerroin on 0.

Aurinkopaneelin tuottama maksimivirta: $I = P / U$ eli $I = 90 \text{ W} / 12 \text{ V} = 7,5 \text{ A}$

Tavoiteresistanssi: $R = U / I$ eli $R = 0,5 \text{ V} / 7,5 \text{ A} = 0,0666 \text{ } \Omega$

Johtimen poikkipinta-ala: $A = \rho \times L / R$ eli $A = 0,017 \text{ } \Omega\text{m} \times 2 \text{ m} / 0,0666 \text{ } \Omega = 0,51 \text{ mm}^2$

Johtimeksi riittäisi siis laskukaavan mukaan todella ohutkin johdin, mutta paneelissa on valmiiksi jo 4 mm²:n johtimet ja niissä on vedenpitävät MC4-liittimet, joten johtimia jatketaan myös 4 mm²:n paksuisilla johtimilla.

Taulukon 1 mukaan 4 mm²:n johdin kestäisi jopa 25 A:n virran, mutta koska aurinkopaneeli tuottaa maksimissaan vain 7,5 A, sen sulakkeeksi valitaan 7,5 A kestävä sulake.

3.4.2 Valaisimien johtimet

Valaistukseksi tulee kolme 8 W:n LED-listavalaisinta. Kauimpana lataussäätimestä olevan valaisimen johtimen pituudeksi tulee noin 7 m.

Valon kuluttama maksimivirta: $I = P / U$ eli $I = 8 \text{ W} / 12 \text{ V} = 0,666 \text{ A}$.

Tavoiteresistanssi: $R = U / I$ eli $R = 0,5 \text{ V} / 0,666 \text{ A} = 0,75 \Omega$

Johtimen poikkipinta-ala: $A = \rho \times L / R$ eli $A = 0,017 \Omega\text{m} \times 7 \text{ m} / 0,75 \Omega = 0,16 \text{ mm}^2$

Laskukaavan mukaan valaistukseenkin riittäisi todella ohut johdin. Valaistukseen valitaan kuitenkin 1,5 mm²:n paksuinen johdin, sillä SFS-6000-7-721:2017-standardin mukaan kunkin johtimen on oltava poikkipinnaltaan vähintään 1,5 mm². Sulakkeeksi riittää hyvin 5 A:n sulake.

Koska kahden muun valaisimen johtimet ovat lyhyempiä, niihin soveltuu myös sama johdin- ja sulaketyyppi.

3.4.3 USB- ja tupakansytytinpistokkeiden johtimet

Matkailuautoon asennetaan kaksi USB-pistoketta ja yksi tupakansytytinpistoke.

Tupakansytytinpistokkeen annettu maksimivirta on 20 A ja sen johtimien pituudeksi tulee noin 2 m. Taulukon 2 mukaan korkein sallittu jännitehäviö on 0,5 V.

Tavoite resistanssi: $R = U / I$ eli $R = 0,5 \text{ V} / 20 \text{ A} = 0,025 \Omega$

Johtimen poikkipinta-ala: $A = \rho \times L / R$ eli $A = 0,017 \text{ } \Omega\text{m} \times 2 \text{ m} / 0,025 \text{ } \Omega = 1,36 \text{ mm}^2$

Tupakansytytinpistokkeen johtimen poikkipinta-alaksi valitaan $1,5 \text{ mm}^2$ ja sulakkeeksi 20 A:n sulake.

USB-pistokkeiden annettu maksimivirta on yhteensä 5 A, ja niiden etäisyys sulakerasi-asta on yhtä pitkä kuin tupakansytytinpistokkeen, joten johtimen paksuudeksi sopii sama $1,5 \text{ mm}^2$ ja sulakkeeksi 5 A.

3.4.4 Jääkaapin johtimet

Jääkaapin teho akkukäytöllä on 100 W eli jääkaapin vaatima maksimivirta saadaan kaavalla $I = P / U$ eli $I = 100 \text{ W} / 12 \text{ V} = 8,333 \text{ A}$. Johtimien pituudeksi tulee noin 1 m, ja suurin sallittu jännitehäviö on 0,1 V.

Tavoiteresistanssi: $R = U / I$ eli $R = 0,1 \text{ V} / 8,333 \text{ A} = 0,012 \text{ } \Omega$

Johtimen poikkipinta-ala: $A = \rho \times L / R$ eli $A = 0,017 \text{ } \Omega\text{m} \times 1 \text{ m} / 0,012 \text{ } \Omega = 1,42 \text{ mm}^2$

Jääkaapin johtimen poikkipinta-alaksi valitaan $1,5 \text{ mm}^2$ ja sulakkeeksi 10 A:n sulake.

3.4.5 Akun johtimet

Akulta lataussäätimelle menevien johtimien on tärkeätä olla riittävän paksut, sillä lataussäädin säätelee akun latausta jännitteen mukaan ja tällöin liian suuret jännitehäviöt häiritsevät merkittävästi latausta (2, s. 57).

Akku ja lataussäädin asennettiin lähelle toisiaan ja näin johtimien pituus jäi noin 1 metrin mittaisiksi.

Lataussäätimen ulos- ja sisäänmenovirta on rajoitettu 10 ampeeriin ja suurin sallittu jännitehäviö akun ja säätimen välillä on 0,1 V.

Tavoiteresistanssi: $R = U / I$ eli $R = 0,1 \text{ V} / 10 \text{ A} = 0,01 \text{ } \Omega$

Johtimen poikkipinta-ala: $A = \rho \times L / R$ eli $A = 0,017 \Omega\text{m} \times 1 \text{ m} / 0,01 \Omega = 1,7 \text{ mm}^2$

2 mm²:n johdin olisi riittävä, mutta koska lataussäätimen johtimien kytkentäportit ovat sopivat myös suuremmalle johtimelle, tälle välille asennettiin 4 mm²:n johdin. Näin myös jännitehäviöt jäävät varmasti reilusti alle tavoitteen.

3.4.6 Vesipumpun johtimet

Vesisäiliöön upotettava vesipumppu vie maksimissaan 18 W tehoa, ja johtimien pituudeksi tulee 1 m. Jännitehäviö on 0,5 V.

Pumpun kuluttama maksimivirta: $I = P / U$ eli $I = 18 \text{ W} / 12 \text{ V} = 1,5 \text{ A}$

Tavoiteresistanssi: $R = U / I$ eli $R = 0,5 \text{ V} / 1,5 \text{ A} = 0,33 \Omega$

Johtimen poikkipinta-ala: $A = \rho \times L / R$ eli $A = 0,017 \Omega\text{m} \times 1 \text{ m} / 0,33 \Omega = 0,05 \text{ mm}^2$

Vesipumpunkin johtimen poikkipinta-alaksi valitaan siis 1,5 mm², ja sulakkeeksi riittää 5 A.

3.4.7 Johtimet lataussäätimeltä sulakerasialle

Lataussäätimeltä maksimissaan otettava virta on 10 A. Johtimien pituus on noin 4 m ja sallittu jännitehäviö on 0,1 V.

Tavoiteresistanssi: $R = U / I$ eli $R = 0,5 \text{ V} / 10 \text{ A} = 0,05 \Omega$

Johtimen poikkipinta-ala: $A = \rho \times L / R$ eli $A = 0,017 \Omega\text{m} \times 4 \text{ m} / 0,05 \Omega = 1,36 \text{ mm}^2$.

Johtimien poikkipinta-alaksi valitaan siis 4 mm², sillä lataussäätimen sekä sulakerasian kytkentäportteihin sopii paremmin 4 mm² kuin 1,5 mm² johdin ja jännitehäviöt jäävät myös pienemmiksi.

4 Yhteenveto ja pohdinta

Aurinkosähköjärjestelmä saatiin suunniteltua, hankittua ja asennettua onnistuneesti matkailuautoon. Järjestelmää testattiin matkailuautolla matkaillessa noin neljän viikon ajan eikä ongelmia havaittu tämän aikana.

Akun sekä aurinkopaneelin kapasiteetti havaittiin erittäin riittäväksi valaistuksen ja vesipumpun käyttöön sekä kannettavien laitteiden akkujen lataukseen. Matkailuauton vanhan jääkaapin ympärivuorokautiseen käyttöön järjestelmä ei kuitenkaan riittänyt, sillä se kulutti sähköä keskimäärin 8,3 ampeeria tunnissa. Nykyään markkinoilta kuitenkin löytyy jääkaappeja, jotka kuluttavat alle 5 ampeeria tunnissa.

Erittäin aurinkoisena päivänä ja hyvin suunnattuna, aurinkopaneeli tuotti parhaimmillaan sähköä 5,1 ampeeria tunnissa.

Aurinkosähköjärjestelmän hinnaksi tuli noin 600 €, eli kovin suuresta investoinnista ei ole kyse, varsinkin jos matkailuautossa on valmiiksi jo sopiva akku sähkön varastoinnista varten, jonka osuus tässä budjetissa oli 195 €.

Lähteet

- 1 Erat, Bruno;Erkkilä, Vesa; Nyman, Christer; Peippo, Kimmo;Peltola, Seppo & Suokivi, Hannu. 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys.
- 2 Käpylehto, Janne. 2014. Mökille sähköt auringosta & tuulesta. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- 3 Poly vs mono crystalline. 2018. Verkkodokumentti. Tindo Solar. <<http://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/>> Luettu 9.11.2018. Muokattu.
- 4 Käpylehto, Janne. 2014. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- 5 Solar panels, 2018. Verkkodokumentti. Wholesale Solar. <<https://www.wholesalesolar.com/images/solar-panels/60-cell.png>>. Luettu 31.10.2018.
- 6 Monocrystalline Solar Panel: An Introduction. 2016. Verkkodokumentti. SolarAdvice. <https://solaradvice.co.za/introduction-monocrystalline/> Luettu 1.11.2018.
- 7 Home Solar Energy Guide: Part III. 2017. Verkkodokumentti. ModernEnviro. <<http://www.modernenviro.com/home-solar-energy-guide-part-3/>>. Luettu 1.11.2018.
- 8 Valokeilassa lyijyakut. 2018. Verkkodokumentti. Exide technologies oy. <<http://exide.fi/fokus-pa-blybatterier-2/>>. Luettu 1.11.2018.
- 9 Lataussäätimet. 2018. Verkkodokumentti. Akkupojat Oy. <http://www.akkupojat.fi/Tuotteet/Aurinkopaneelit/Lataussaatimet/NC_30N_lataussaadin/2148728-2154527.html>. Luettu 1.11.2018.
- 10 VPK-WindSolar, Aurinkosähkö.net, 2018. <<http://www.aurinkosahko.net/category/11/lataussaatimet>>. Luettu 31.10.2018.
- 11 Aurinkosähkö. 2018. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma>. Luettu 8.11.2018.
- 12 SFS 6000-7-721:2017, Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-721: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Matkailuajoneuvojen sähköasennukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.