



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mira Katajamäki

MÖKIN SÄHKÖISTYS AURINKOENERGIALLA

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu kohteeseen

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mira Katajamäki
Opinnäytetyön nimi	Kesämökin sähköistys aurinkoenergialla
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	38 + 3 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

Tämän opinnäytetyön aiheena olevan aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun kesämökin tarpeisiin on pyytänyt Raippaluodossa olevan kesämökin käyttäjä. Mökillä on tällä hetkellä olemassa oleva aurinkopaneelijärjestelmä sekä polttoaineella toimiva aggregaatti, mutta kasvaneen sähkön kulutuksen ja vanhojen aurinkopaneelien huonontuneen hyötysuhteen takia kesämökkiä käyttäessä on havaittu pula sähkön saannissa. Käyttäjä ilmoitti haluavansa uuden systeemin kattavan koko energian tarpeen siten, että aggregaattia ei tarvittaisi enää tukemaan sähkön saantia.

Työssä on hyödynnetty Vaasan ammattikorkeakoulun Solar and Wind Power -kursilla opittuja menetelmiä aurinkopaneelisähköjärjestelmän komponenttien mitoittamiseen. Laskut on suoritettu kesämökin käyttäjän ilmoittamien sähkölaitteiden määrän ja käytön pohjalta.

Tämän työn lopputuloksena on viitekehys aurinkopaneelisähköjärjestelmän vaadittavasta komponenttien määrästä ja ominaisuuksista, jotta energian kulutus saadaan katettua niinä kuukausina kuin mökki on käytössä. Samalla on laadittu Excel-kaavio, jonka avulla käyttäjä voi tulevaisuudessa itse mitoittaa komponentit sähkön kulutuksen mahdollisesti muuttuessa.

ABSTRACT

Author	Mira Katajamäki
Title	Electrification of a Summer Cottage Using Solar Power
Year	2019
Language	Finnish
Pages	38 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

The subject of this thesis is planning the electrification of a summer cottage in Raippaluoto using solar power. The topic was given by the user of the summer cottage. The cottage has an existing solar panel system and a fuel aggregate to cover the electricity. However, the increased need of energy and obsoleted components have created a shortage of electricity. The user wants a new solar panel system to cover the entire electrification without the aggregate being needed anymore.

In this thesis Vaasa University of Applied Sciences' Solar and Wind Power course material for dimensioning the components was used. The calculations are based on the information about the electrical appliances and their usage provided by the user.

The result of this thesis is a frame of reference for the required number and features of the solar panel system components so that the entire energy need is covered by the system during the months the summer cottage is in use. Also, an Excel sheet was created with which the user can himself dimension new components in case the need for electricity changes.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	8
2	SÄHKÖN TUOTTO AURINKOPANEELEILLA	10
	2.1 Aurinkopaneelien toimintaperiaate	10
	2.2 Aurinkopaneelien kytkentä	11
	2.3 Peak sun -tunnit.....	11
3	KOHTEEN SÄHKÖN TARPEEN ARVIOINTI.....	15
	3.1 Jääkaappi ratkaisuiden vertailu	15
	3.2 Päivittäinen kuorma	16
4	KOMPONENTIT	19
	4.1 Aurinkopaneelit.....	19
	4.2 Akku.....	19
	4.3 Lataussäädin.....	20
	4.4 Vaihtosuuntaaja.....	20
5	KOMPONENTTIEN MITOITUS.....	22
	5.1 Vaihtosuuntaajan mitoitus	22
	5.2 Akuston mitoitus.....	23
	5.3 Paneelien mitoitus	26
	5.4 Lataussäätimen mitoitus.....	28
6	KOMPONENTTIEN VALINTA	30
	6.1 Vaihtosuuntaaja ehdotukset	30
	6.2 Akku ehdotukset	30
	6.3 Paneeliehdotus	31
	6.4 Lataussäädinehdotukset	32
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	34
	7.1 Tulosten luotettavuus	34
	7.2 Kohteen aurinkopaneelijärjestelmän tulevaisuus	34
	LÄHTEET.....	36

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Hahmotelma p- ja n-kerroksista.....	10
Kuvio 2. Yksinkertainen kaavio aurinkosähköjärjestelmän komponenteista.....	11
Kuvio 3. Paneeleiden sijainti.....	13
Kuvio 4. Energian kulutus.....	18
Kuvio 5. Energian kulutus, jossa jääkaappi ei kuulu koko summaan.	18
Kuvio 6. Vaihtosuuntaajan mitoitus yhdellä kuormalla.....	23
Kuvio 7. Vaihtosuuntaajan mitoitus jääkaapille ja lopulle kuormalle.....	23
Kuvio 8. Ampeeri-tuntien keskiarvo päivässä 12 voltin tasajännitteellä.....	24
Kuvio 9. Akkujen lukumäärä rinnan, sarjassa ja yhteensä.....	25
Kuvio 10. Akuston kytkentä rinnan.....	26
Kuvio 11. Esimerkki ominaiskäyrästä.....	27
Kuvio 12. Paneeleiden mitoitus.....	28
Kuvio 13. Vaihtosuuntaaja vaihtoehdot.....	30
Kuvio 14. Akku vaihtoehdot.....	31
Kuvio 15. Paneeli vaihtoehto.....	31
Kuvio 16. Suositellun paneelin tekniset tiedot.....	32
Kuvio 17. Lataussäätimen mitoitus.....	32
Kuvio 18. MPPT-lataussäädin ehdotus.....	33
Kuvio 19. PMW-lataussäädin ehdotus.....	33
Taulukko 1. Kesämökin sähkölaitteet.....	15

LIITELUETTELO

LIITE 1. Excel-taulukko komponenttien mitoitukselle

LIITE 2. Excel-taulukko jääkaapin kytkemiselle omaan vaihtosuuntaajaan

LIITE 3. Excel-taulukko käyttäjälle

1 JOHDANTO

Ilmaston muutos on saanut yhä suuremman määrän ihmisiä kokemaan maapallon resurssien riittävyyden suojelun tärkeäksi ja ajankohtaiseksi asiaksi. Nykyaikana konkreettisesti näkyvät ilmastonmuutoksesta johtuvat ilmiöt ovat muuttaneet ihmisten arvomaailmoja siten, että ympäristön suojelulla on suuri osa kuluttajien valinnoissa rahallisen kannattavuuden lisäksi. Tämä näkyy esimerkiksi siinä, että ihmiset ovat alkaneet suosia uusiutuvia energialähteitä, vaikka nykyisen teknologian avulla hyötysuhteet eivät saavuta fossiilisten polttoaineiden, kuten kivihiilen, tehokkuutta kaikissa olosuhteissa. Samassa paikassa poltettavan kivihiilen hyötysuhde on sama riippumatta säätilasta.

Aurinkoenergiateknologia mahdollistaa sen, että nykyään kyetään järkevästi toteuttamaan uusiutuvasta energialähteestä sähkön generoiminen pienessä mittakaavassa esimerkiksi vain yhdelle taloudelle. Näin vähennetään esimerkiksi sähkön siirrosta aiheutuvia häviöitä, kun sähköä saadaan tuotettua paikallisemmin siellä missä on sen tarvetta.

Tämän opinnäytetyön aihe on kesämökin sähköistämisen toteuttaminen aurinkopaneeleiden avulla verkosta irrallaan olevaan systeemiin. Ensin avataan sähköntuottoa aurinkopaneeleiden avulla. Sen jälkeen tutkitaan kohteen sähkötarve, esitetään asennettavat komponentit ja sitten selvitetään kyseisten komponenttien mitoitus.

Aurinkosähköjärjestelmät ovat ajankohtainen aihe ja ne ovat monen viime vuosina julkaistun opinnäytetyön aihe. Vuonna 2016 julkaistussa Turun ammattikorkeakoulun lopputyössään ”Kesämökin sähköistys aurinko- ja tuulienergialla” Aleksis Heino on suunnitellut Uudenkaupungin saaristossa sijaitsevalle kesämökille sekä aurinko- ja tuulivoimalla generoidun kesämökin sähköistyksen. Työssään Heino on käyttänyt tuuliturbiinia tukemaan aurinkopaneeleita, joilla sähkö pääasiassa tuotetaan. Heinosen kohteeseen asennettiin pienehkö järjestelmä, jonka sähkönkulutus on päivittäin 385 Wh:a. /1/ Se on huomattavasti vähemmän kuin tämän opinnäytetyön kohteen päivittäinen sähkön keskiarvoinen kulutus.

Myös Erik Koponen on tutkinut aurinkosähköä vuonna 2015 julkaistussa Karelian ammattikorkeakoulun opinnäytetyössään. Hän lähestyy aihetta yleisesti käsitellen koko Suomen mittakaavassa aurinkosähkön käyttöä ja tehokkuutta. /2/

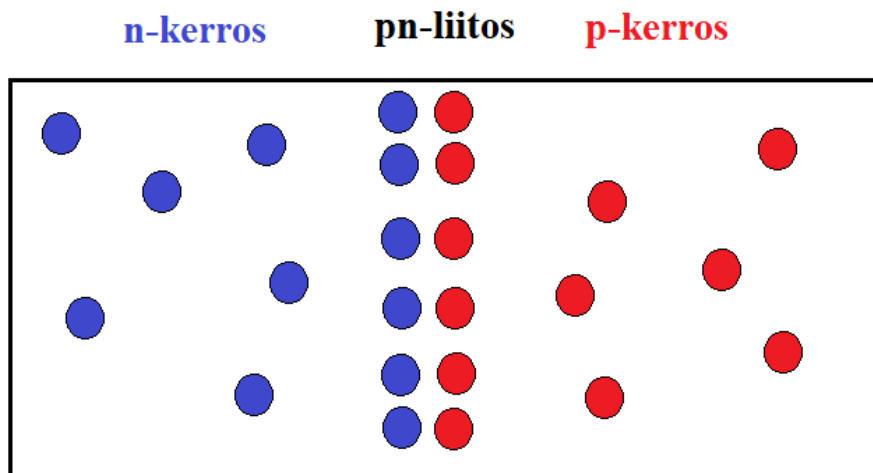
Suomessa aurinkosähköjärjestelmät ovat tehokas tapa järjestää kesämökkien sähköistys, sillä kesäkuukausina Auringon säteily on täällä voimakkaimmillaan /3/ ja saa täten kyseiset järjestelmät tuottamaan sähköä tehokkaammin kuin muina vuodenaikoina.

2 SÄHKÖN TUOTTO AURINKOPANEELEILLA

2.1 Aurinkopaneelien toimintaperiaate

Aurinkopaneelisysteemissä muutetaan auringosta saatavaa energiaa kennossa tapahtuvan valosähköisen ilmiön avulla sähköenergiaksi. Kennojen tuottama sähkö on tasavirtaa, joka tulee muuntaa vaihtovirraksi vaihtomuuntajan avulla, jotta sähkö on kesämökin laitteissa käyttökelpoista.

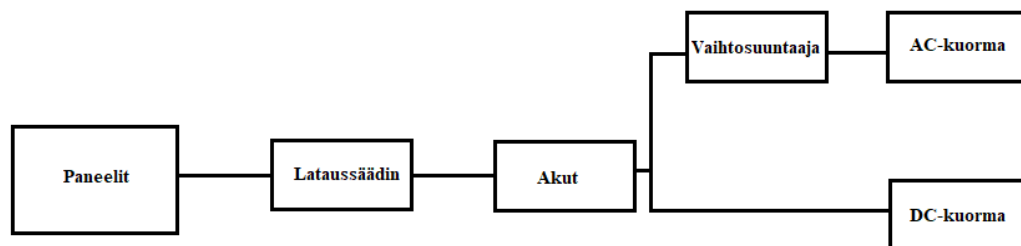
Aurinkopaneelisysteemit muodostuvat moduuleista, jotka niin ikään muodostuvat aurinkokennoista. Kennot koostuvat puolijohteesta olevista positiivisesta n- ja negatiivisesta p-kerroksesta. N-kerros ei ole varauksellinen, mutta siinä ovat elektronit eivät ole tiukoissa atomisidoksissa. Näiden kahden kerroksen välissä on pn-liitokseksi kutsuttu alue, jossa vastakkaiset varausten elektronit ja niin kutsutut positiiviset elektroniaukot vetävät toisiaan puoleensa. Auringonvalosta lähtöisin olevien fotonien osuessa kennoon ne irrottavat pn-liitoksessa olevien n-kerroksen heikosti sidoksissa olevat elektronit irti atomeistaan. Irti olevista elektroneista johtuvan kerrosten varaus eron tasaamista hyödynnetään tuottamaan tasavirtaa. /4/ Kuviossa 1 näkyy havainnollistava kuva kerroksista ja niiden liitoksesta.



Kuvio 1. Hahmotelma p- ja n-kerroksista.

2.2 Aurinkopaneelien kytkentä

Paneelit voidaan kytkeä lataussäätimeen, jonka tehtävä on taata akkujen hyvä käyttöikä estämällä yllilatautuminen. Virta kulkee akkujen kautta tasa- ja vaihtovirtakuormille, mutta ennen vaihtovirralla toimiviin laitteisiin liittämistä, paneeleista johdettavan tasasähkön on kuljettava vaihtosuuntaajan läpi, joka muuntaa sähkön vaihtovirraksi. Systemi voidaan kytkeä osaksi sähköverkkoa tai integroida tuottamaan sähköä jonkun toisen sähköenergia tuottotavan rinnalla. /7/ Tällaisia integroituja systeemejä ovat esimerkiksi yhdistetyt aurinko- ja tuulivoimasysteemit, joissa pyritään tasaamaan säästä johtuva energian saannin vaihtelu kahdella eri luonnonvarasta riippuvasta sähkön generoimismuodolla. Havainnollistava kuva järjestelmän kytkennöistä on nähtävissä Kuviossa 2.



Kuvio 2. Yksinkertainen kaavio aurinkosähköjärjestelmän komponenteista.

2.3 Peak sun -tunnit

Jotta komponenttien koko ja lukumäärä saadaan mitoitettua kesämökin tarpeisiin, on otettava selvää paikallisesta auringon säteilyvoimakkuudesta. Auringosta saapuu maanpäälle pääasiassa kahden tyyppistä säteilyä. Näitä kutsutaan suoraksi auringonsäteilyksi /13/ (Direct Normal Irradiance) ja hajasäteilyksi /13/ (Diffuse Horizontal Irradiance). Suora auringonsäteily on säteilyn määrä, jonka määritelty alue ottaa vastaan Auringosta tulevan säteilyn normaalin suuntaisesti. Suora säteily voidaan siten ilmaista watteina per neliometri. Hajasäteily on taas säteilyä, joka saapuu pinnalle tasaisesti kaikista suunnista. Tämä Auringosta lähtöisin oleva säteily on hajaantunut matkalla osuessaan ilmakehän molekyyliin ja partikkeleihin. /7/

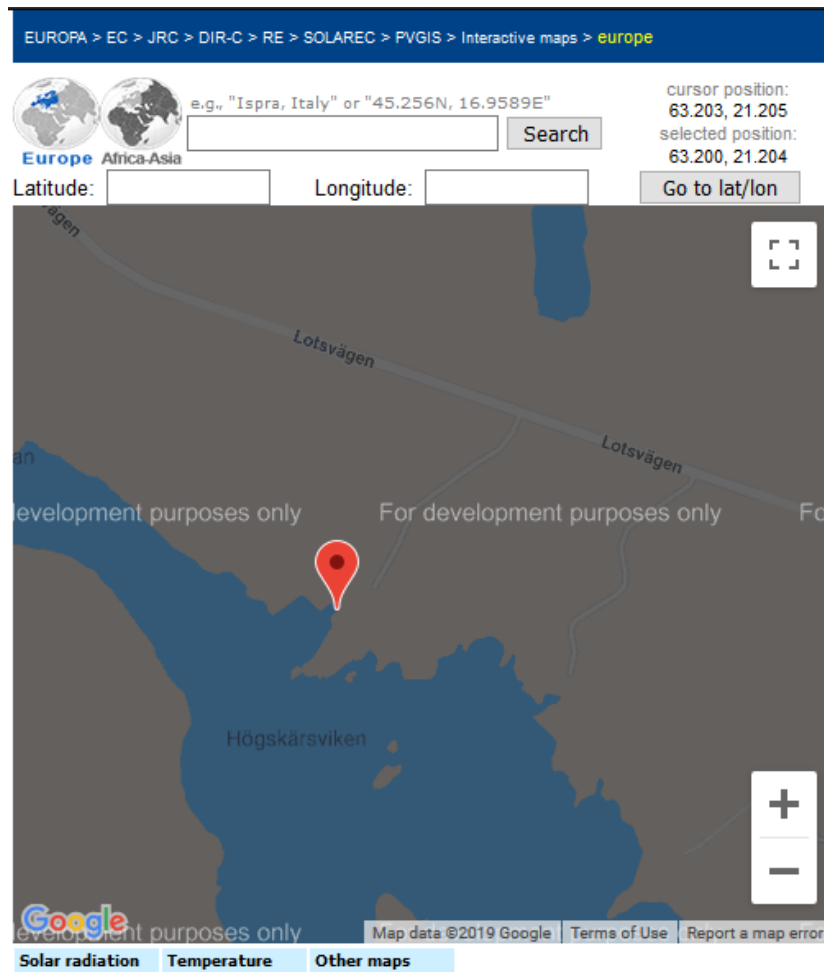
Auringon kokonaissäteily /13/ (Global Horizontal Irradiance) on pinnalle saapuvan säteilyn kokonaismäärä ja täten koostuu suorasta auringonsäteilystä ja

hajasäteilystä. Tietämällä auringon kokonaissäteilyn määrän, voidaan selvittää niin sanotut peak sun hours:it, eli niiden tuntien lukumäärä päivän aikana, jolloin kokonaissäteilyn määrä saavuttaa arvon 1000 W/m^2 . /7/

Ottamalla selville kesämökkipaikan peak sun -tunnit, päästään etenemään komponenttien mitoituksessa. Koska tätä opinnäytetyötä varten ei ole resursseja käydä mittaamassa todellista totaalisen säteilyn määrää, käytämme internetistä löytyvää sivustoa, jonka avulla saadaan tietoa ympäri maailmaa mitatuista GHI-säteilyn arvoista suhteessa 1000 W/m^2 :iin.

Eri tahot keräävät satelliittien avulla informaatiota ilmastosta käyttötarkoituksiinsa. Tämän työn päämäärää varten valitsin käyttää Euroopan unionin komission ylläpitämän CM Saf:in (The Satellite Application Facility on Climate Monitoring) keräämää tietoa. CM Saf on kansainvälinen yhteistyö meteorologisten palveluiden tuottajien ja tutkimuslaitosten välillä. CM Safi:in toiminnassa on osallisia muun muassa Suomesta, Ruotsista ja Saksasta. /14-15/

Käytin edellä mainitun järjestön sivuja ja etsin kartalta mökkitontin paikan ja erityisesti kohdan, joihin paneelit on tarkoitus asentaa /16/. Sijainnin pituus- ja leveysasteet ovat nähtävissä Kuvion 3 oikeasta yläkulmasta.



Kuvio 3. Paneeleiden sijainti /16/.

En kiinnittänyt suurempaa huomiota sivuston valikkoihin aurinkovoimalan mallista, sillä tässä vaiheessa tarkoitus on selvittää vain peak sun -tunnit, eikä esimerkiksi potentiaalista sähköntuotantoa kyseisellä sijainnilla. Arvoksi sain 2,34 tuntia keskimäärin päivässä. Tulos ei ole järin suuri. Esimerkiksi Sisilian Syrakusassa peak sun -tunteja on keskimäärin päivässä 4,44 eli kaksinkertainen määrä mökin sijaintiin verrattuna /16/. Kesämökin käyttöhistorian perusteella tuntien lukumäärä on kuitenkin vanhemmallakin teknologialla ollut riittävä.

Koska kohdetta käytetään vain kesäkuukausina, jolloin Auringon säteilyn teho on Suomessa suurimmillaan, voimme olettaa käyttökuukausien peak sun -tuntien keskiarvon olevan koko vuoden keskiarvoa suurempi. Yhdysvalloissa on kerätty peak sun -tuntien arvoja jo muutaman vuosikymmenen ajan /17/. Tarkastelin Suomen

korkeudella olevan Alaskan arvoja. Löytämäni aineisto oli reilun vuosikymmenen takaa. Työn kohde sijaitsee 63,2 asteen pohjoisella leveysasteella, kuten Kuviosta 3 on nähtävissä. Siispä vertasin tätä leveysastetta lähinnä olevaa astetta Alaskan aineistosta. Lähin leveysaste oli 62,97 astetta. Touko-, kesä-, heinä-, ja elokuulle peak sun -tunnit olivat 4,8, 5,1, 4,6 ja 3,6 tuntia. Näiden keskiarvo on $\frac{4,8+5,1+4,6+3,6}{4}$ tuntia eli alaspäin pyöristettynä 4,5 tuntia. Tästä syystä koko vuoden keskiarvon 2,34 sijasta käytin täten saatua tuntien määrää eli 4,5 tuntia. Tämä luku on merkattu Excel-taulukkoon laskuja varten. Myös CM Saf:in sivuilta löytyy kuukausittaisten peak sun -tuntien arvot koordinaattien mukaan /16/. Ne vastasivat Alaskan arvoja samalta leveyspiiriltä.

3 KOHTEEN SÄHKÖN TARPEEN ARVIOINTI

Jotta päästään alkuun aurinkopaneelisysteemin suunnittelussa, pyysin kesämökin käyttäjää täyttämään taulukon, johon olen kirjannut tarvittavat tiedot. Taulukossa pyydettiin kirjaamaan ylös mökin sähkölaitteet, niiden lukumäärä sekä arvio käyttäjän pituudesta tunteina per päivä ja montako kertaa viikossa laitetta käytetään. Kyseinen taulukko on näkyvissä alla Taulukossa 1. Kävi ilmi, että mökin käyttäjä on suunnittelemassa kaasujääkaapin vaihtamista sähkölaitteeseen, joten jääkaappi otetaan huomioon suunnitelmissa. Käyttäjää toivoi selvitetäväksi, onko edullisempaa ostaa 12 voltin jääkaappi vai 230 voltin jääkaappi ja sille vaihtosuuntaaja. Nykyisessä systeemissä on käyttäjän mukaan matkapuhelinten latausta varten ostettu vaihtosuuntaaja, joka muuntaa 12 voltin tasavirran 230 voltin vaihtovirraksi.

Taulukko 1. Kesämökin sähkölaitteet.

Kuorma	Lukumäärä	Käyttötunnit/päivä	Käyttöpäivät/viikko
1. Lamput	1. 8	1. 8	1. 7
2. Jääkaappi	2. 1	2. 24	2. 7
3. Kahvinkeitin	3. 1	3. 0,5	3. 7
4. Vedenkeitin	4. 1	4. 0,1	4. 3
5. Laturi (puhelimet, tabletit)	5. 2	5. 2	5. 7
6. Modeemi	6. 1	6. 4	6. 7
7. Mikroaaltouuni	7. 1	7. 0,1	7. 3
8. Pölynimuri	8. 1	8. 0,5	8. 1
9. Radio	9. 1	9. 2	9. 7

3.1 Jääkaappi ratkaisuiden vertailu

Osana tätä opinnäytetyötä kesämökin omistaja pyysi vertailemaan, mikä olisi edullisin tapa kytkeä vaihtovirtaa käyttävistä sähkölaitteista muodostuva kuorma akustoon. Hän esitti vaihtoehdon, jossa kesämökkiin asennettaisiin minimi kokoinen jääkaappi, jolle hankittaisiin oma pienempi ja täten myös halpa vaihtosuuntaaja, kun taas loput vaihtovirta kuormasta olisi kytkettynä omaan suurempaan vaihtosuuntaajaansa. Ideana olisi, että olisi mahdollisesti kustannustehokkaampaa

hankkia kaksi hieman pienempää vaihtosuuntaajaa, kuin taas vaihtoehdossa, jossa koko vaihtovirta kuorma kytketään yhteen vaihtosuuntaajaan.

Tästä syystä, tässä työssä on kohteen aurinkosähköjärjestelmän komponenttien mitoitus aloitettu vaihtosuuntaaja kytkentöjen arvioinnilla. Tämän perusteella on valittu kustannustehokkaampi vaihtoehto ja jatkettu muiden komponenttien mitoitukseen.

3.2 Päivittäinen kuorma

Taulukosta 1. saatujen tietojen mukaan pystytään arvioimaan päivittäinen kuorma. Tämän tiedon avulla päästään selvittämään, millainen systeemi kesämökin sähkön tarpeeseen on ideaalista kytkeä. Selvyyden vuoksi kaikki tämän opinnäytetyön laskutoimituksista on suoritettu Excel-ohjelmalla. Kyseinen taulukko on liitetty tämän työn loppuun Liitteeksi 1.

Ensin olen kirjannut kaikki mökillä käytettävät sähkölaitteet ylös Excel-tilukoon, sekä niiden lukumäärät, jännitteet, virrat, tehot ja käyttöajat. Taulukko on näkyvissä Kuviossa 4. Tehot on saatu joko laskemalla tai selvittämällä teho kyseisen sähkölaitteen kohdalla.

LED-lamput toimivat tyypillisesti korkeintaan 10 watin teholla /8,9/ Lamppuja käytetään joka päivä maksimissaan suunnilleen kahdeksan tuntia. Siitä johtuen kahdeksalle lampulle energian kulutuksen keskiarvo vuorokaudessa saadaan kertomalla lamppujen lukumäärä teholla, päivittäisillä käyttötunneilla ja viikoittaisilla käyttöpäivillä ja jakamalla tulo seitsemällä. Näin saatu arvo on 320 Wh:a. Arvo on luetavissa Kuviossa 4.

Mökillä käytettävistä sähkölaitteista laturit, kahvin- ja vedenkeitin, modeemi, pölynimuri ja radio käyvät täydellä teholla päällä ollessaan. Näin ollen kyseisten laitteiden kohdalla käytin laitteiden kyljistä ja tiedoista löytyviä tehon arvoja.

Tiedän mökillä olevan kahvinkeitinmerkin ja löysin sille tehon arvoksi 800 wattia, jonka sijoitin suoraan tehon kohdalle kaavioon, sillä keittimiä on vain yksi.

Vedenkeittimen tehon sain selville keittimen pohjassa olevasta etiketistä mikä on muidenkin markkinoilla olevien laitteiden suuruusluokkaa. /10,11/ Internet-yhteyttä varten on modeemi, jonka tehon kulutus on 50 wattia.

Kodinkone liikkeen sivuilla vertailin mikroaaltouunien teho-arvoja ja huomasin niiden vaihtelevan 500–1000 watin välillä /12/. Valitsin laskuihini 600 watin arvon mökillä olevan laitteen mukaan.

Pölynimurin teho löytyi sen pohjasta kuten radionkin ja arvo on imurille 500 wattia ja radiolle 5 wattia. Nämä kerrottuna yhdellä imurilla ja radiolla olivat lopulliset arvot niin ikään 500 ja 5 wattia.

Täten saatujen tehojen arvojen summa yhteen laskemalla saadaan kaikkien systeemissä olevien kuormien summan. Totaalisen kuorman suuruudeksi saadaan hieman yli kuusi kilowattia. Tämä on siis kaikkien laitteiden kuluttaman tehon summa siinä tapauksessa, että ne kaikki toimisivat täydellä teholla samanaikaisesti.

Seuravaksi selvitin energian kulutuksen keskiarvon yhden päivän aikana. Led-lamput toimivat koko ajan täydellä teholla päällä ollessaan. Näin ollen kerroin tehon lamppujen käyttötunneilla päivässä ja saadun tulon kerroin viikoittaisten käyttöpäivien lukumäärällä ja tulon jaoin seitsemällä päivällä saadakseni yhden päivän keskiarvon. Koska käyttäjällä on tarkoitus hankkia mökille sähköjärjestelmän uusinnan yhteydessä uusi jääkaappi, sain päivittäisen keskiarvon vertailemalla kodinkone myymälän sivuilla ilmoitettuja sähkönkulutuksen arvoja sen tyyppiselle jääkaapille, mikä on suunnitteilla hankkia. Jääkaapille laskin sähkönkulutuksen samalla periaatteella. Jääkaapin kohdalla kerroin vielä saadun kulutuksen 0,3, siitä johtuen, että jääkaappi toimii tämän ajan tyyppillisesti vuorokauden aikana 45 watin teholla. Tiedot jääkaapin käyttö-tehosta on saatu mökin käyttäjältä.

Näin saatujen arvojen summasta on nähtävissä päivittäisen kuorman keskiarvon suuruus.

Sitä vaihtoehtoa varten, että pienelle jääkaapille hankittaisiin oma vaihtosuuntaaja, tein vielä toisen Excel-taulukko, jossa jääkaapin vuorokauden teho kulutuksen

keskiarvo on jätetty erilleen muiden laitteiden summasta. Tämä taulukko on nähtävänä Kuviossa 5 ja Liitteessä 2.

Kuorma	Lukumäärä	Käyttöjännite (V)	Virta (A)	Teho (W)	Käyttötunnit	Käyttöpäivät viikossa	Energian keskiarvo/päivä (Wh)
Valaisimet (LED)	8			5	8	7	320.00
			koko kuorma DC	40		koko kuorman keskiarvo/päivä DC	320.00
Jääkaappi	1	-		45	24	7	324.00
Laturi (puhelimet,tabletit)	2	5	1.5	15	2	7	30
Kahvinkeitin	1	-		800	0.5	7	400.00
Vedenkeitin	1	-		1000	0.1	3	42.86
Modeemi	1	-		50	4	7	200.00
Mikroaaltouuni	1	-		600	0.1	3	25.71
Pölynimuri	1	-		500	0.5	1	35.71
Radio	1	-		5	2	7	10.00
			koko kuorma AC (W)	3015		koko kuorman keskiarvo/päivä AC (Wh)	1068.29

Kuvio 4. Energian kulutus.

Kuorma	Lukumäärä	Jännite (V)	Virta (A)	Teho (W)	Käyttötunnit	Käyttöpäivät viikossa	Energian keskiarvo/päivä (Wh)
Valaisimet (LED)	8			5	1	7	40.00
			koko kuorma DC	40		koko kuorman keskiarvo/päivä DC	40.00
Jääkaappi	1	-		45	24	7	324.00
Laturi (puhelimet	2	5	1.5	15	2	7	30
Kahvinkeitin	1	-		800	0.5	7	400.00
Vedenkeitin	1	-		1000	0.1	3	42.86
Modeemi	1	-		50	4	7	200.00
Mikroaaltouuni	1	-		600	0.1	3	60.00
Pölynimuri	1	-		500	0.5	7	250.00
Radio	1	-		5	2	7	10.00
			koko kuorma AC	2970		koko kuorman keskiarvo/päivä AC (Wh)	992.86

Kuvio 5. Energian kulutus, jossa jääkaappi ei kuulu kuorman summaan.

4 KOMPONENTIT

4.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleita on saatavilla eri tehokkuuksilla. Lisäksi käyttäjä voi valita halu-aako esimerkiksi 12 vai 24 voltin paneeleita. Tämän opinnäytetyön aiheena olevan kesämökin omistaja esitti toiveensa 12 voltin paneeleista. Siksi tutkin ensisijaisesti tämän jännitteen omaavia tuotteita.

Nykyteknologialla korkein aurinkopaneelille saavutettu hyötysuhde on hiukan yli 20 prosenttia. Korkeimman hyötysuhteen omaavat paneelit koostuvat kennoista, joissa puolijohteena käytetään kiteistä piitä. Nämä kennot kattavat noin 85 prosenttia nykyajan aurinkopaneelien markkinaosuudesta. Näitä kennoja on kahta eri tyyppiä eli moni- ja yksikiteisiä kennoja. Mustat mono-kristalli kennot omaavat parhaimman hyötysuhteen tällä hetkellä markkinoilla olevista vaihtoehdoista. Niiden hyötysuhde vaihtelee 14:sta ja 20:n prosentin välillä. Silti siniset monikiteiset kennot kattavat noin puolet tämän päivän markkinoista, sillä vaikka niillä on hiukan pienempi hyötysuhde, 13—17 prosenttia, ovat ne edullisempia valmistaa kuin yksikiteisiksi hiotut kennot. /5/

Seuraavan merkittävän osuuden nykypäivänä käytössä olevista paneeleista koostuu ohutkalvo-kennoista. Niiden moduulien hyötysuhde vaihtelee 6 ja 14 prosentin välillä ja ne kattavat noin 10 prosenttia paneelimarkkinoista. Kehitteillä ovat myös orgaaniset aurinkokennot, mutta ne ovat vielä liian tehottomia kilpaillakseen uusitutuvien energialähteiden markkinoilla muutaman prosentin hyötysuhteellaan. /5/ Esimerkkinä tällaisesta ratkaisusta ovat bakteereita ja auringonvaloa hyödyntävät kennot, joiden käyttöä on tutkittu British Columbian yliopistossa. /6/

4.2 Akku

Akku on laite, jonka avulla varastoidaan ja vapautetaan sähköenergiaa tarpeen mukaan. Siksi se on erittäin olennainen osa aurinkopaneelisysteemiä, jossa sähkön tuotto on riippuvainen ulkoisista tekijöistä. Akun avulla voimme tasata

ympäristöstä johtuvat vaihtelut, jotta sähkölaitteet ovat käytettävissä, myös sellaisina päivinä, kun auringon säteilyenergia ei ole riittävä kattamaan sähköntarve.

Akun toiminta perustuu sähkökemiallisiin reaktioihin, jotka tuotetaan elektroneiden ja elektrolyytin rajapinnoilla. Elektrolyytiksi kutsutaan väliainetta, johon elektrodit on sijoitettu. Ionivirrat elektrolyytissä saavat aikaan elektroneiden liikkeen eri paarisesti varautuneiden elektroneiden välillä. Tätä hyödyntäen akku saadaan ladattua ja vastaavasti elektroneiden välille kytketty sähkölaitte ladattua, kun elektronit kulkevat toisesta varauksesta toiseen /18/.

4.3 Lataussäädin

Lataussäädin on akun ja paneeleiden väliin asennettava laite, jonka avulla pystytään kontrolloimaan paneeleista akkuun latautuvaa virtaa siten, ettei akku pääse ylikuormittumaan, jolloin sen käyttöikäkin lyhenee. Sen tehtävä on siis estää akkujen yllilataantuminen sekä syväpurkautuminen /19/. Lataussäädin voi esimerkiksi ledmerkkivaloilla ilmoittaa akun lataus- ja purkutilan /20/.

Lataussäätimiä on kahden tyyppisiä eli PWM- ja MPPT-säätimiä. PWM (Pulse Width Modulation) -säätimet ovat edullisia yksinkertaisia lataussäätimiä, jotka pyrkivät pitämään paneeleiden jännitteen saman suuruisena kuin akkujen pienentäen paneelien ulostulo jännitettä. MPPT (Maximum Power Point Tracking) -säätimet ovat monimutkaisempia ja usein suurempia myös kooltaan. Ne pyrkivät säätämään paneelien ulostulojännitteen siten, että systeemi toimii maksimaalisella tehokkuudella. /7,20,21/

4.4 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajat ovat sähkökomponentteja, joiden avulla tasavirta saadaan muunnettua vaihtovirraksi aurinkosähköjärjestelmässä. Suuntaaja on saatavilla yksi- ja kolmivaiheisina /22/. Tässä projektissa käytetään yksivaiheista vaihtosuuntaajaa. Vaihtosuuntaaja sähkömagneettinen laite, joka muuntaa tasavirran vaihtovirraksi ja kykenee samalla vaikuttamaan signaalin jännitteen, virran ja taajuuden suuruuteen /7, 23, 24/.

Näin ollen se on hyvin tärkeä komponentti aurinkosähköjärjestelmässä, sillä paneelien avulla generoitu tasavirta ei sillä ole käyttökelpoista vaihtovirralla toimiville laitteille, koska Suomen sähköverkko käyttää taajuudeltaan 50 hertsistä 230 voltin vaihtovirtaa /25/. Vaihtovirtaa suositetaan sähkön siirrossa ja jakelussa, sillä sähköjakelussa vaihtovirran jännitettä on tasavirran jännitettä huomattavasti helpompi säätää korkeammaksi tai matalammaksi induktiota hyödyntävillä muuntajilla /24/. Lisäksi käyttämällä vaihtovirran 3-vaihejärjestelmää siirtohäviöt saadaan pienennettyä siirtohäviöt /25/.

Vaihtosuuntaajat voidaan jakaa kolmeen eri malliin ulostulevan signaalin perusteella. Siniaalto vaihtosuuntaajat muuntavat tasavirran jännitteen siniaallon muotoon, joka on hyvin yhteensopiva kotitalouksissa käytettävien laitteiden vaihtovirran kanssa. Modifioitu siniaalto vaihtosuuntaajan ulostulo jännite ei ole puhtaan siniaallon muodossa, mutta mukailee sitä. Nämä ovat siniaalto suuntaajia halvempia. Vähiten käytetty vaihtosuuntaaja malli tuottaa kulmikasta jännite aaltoa ja on täten huonosti siniaaltoista jännitettä käyttävien vaihtovirta laitteiden kanssa yhteensopiva. /26/

5 KOMPONENTTIEN MITOITUS

Seuraavassa työvaiheessa kirjasin Excel-taulukkoon ylös arvoja, jotka pysyisivät vakioina laskuissa, riippumatta siitä, minkälainen akku, paneelit, muuntaja ja lataussäädin systeemiin asennetaan. Näitä vakioita ovat tasavirran kuorma 40 wattia, vaihtovirran kuorma noin 3 000 wattia, keskiarvot päivittäisistä 320 Wh:n tasavirran ja noin 1 000 Wh:n vaihtovirran energian kulutuksista, systeemin 12 voltin jännite ja 4,5 peak sun -tuntia. Päätin kirjoittaa kaikki laskut tähän Excel-taulukkoon siten, että luvut, joilla laskin, oli merkittynä muuttujina, jotka oli yhdistetty listaan, johon pystyin niitä muuttamaan samalla muuttaen ne kaavoihin. Näin pääsen helposti vertailemaan eri komponentti vaihtoehtojen arvojen vaikutusta koko systeemiin. Tämä taulukko on Liitteenä 1. opinnäytetyön lopussa.

Kun komponentteja mitoitetaan, tulee ottaa huomioon, että systeemi ei läheskään koko ajan toimi ideaali olosuhteissa, jolloin paneelit saavat maksimaalisen potentiaalisen säteilytehon pilvettömältä taivaalta suorassa kulmassa. Siksi laskut on hyvä varmuuden vuoksi mitoittaa mieluummin ylä- kuin alakanttiin.

5.1 Vaihtosuuntaajan mitoitus

Ensimmäiseksi lähdin liikkeelle tutkimalla mikä olisi optimaalinen vaihtosuuntaajamökille asennettavaan aurinkosähköjärjestelmään. Koska tasasuuntaaja kytketään vaihtovirtaa käyttävien kuormien ja akuston väliin, ei se vaikuta tasavirtaa käyttäviin laitteisiin ja täten tasasuuntaajaa mitoitettaessa otetaan huomioon vain vaihtovirran kokonaiskuorma, joka on tässä tapauksessa hieman reilu 3 000 wattia, kun jääkaappi lasketaan mukaan kokonaiskuormaan. Vaihtosuuntaajaa mitoittaessa on kuitenkin hyvä ottaa huomioon tilanne, jossa jääkaappi kytketään päälle, jolloin se tuottaa hetkittäisen teho piikin. Tätä varten jääkaapin teho on kerrottu puskuriker-toimella kolme. Täten vaihtosuuntaajan tarvitsemaksi kapasiteetiksi saadaan 3 105 wattia kuten Kuviossa 6 näkyy.

Vaihtosuuntaaja mitoitus	
koko kuorma AC (W)	Jääkaapin teho piikki huomitoitu
3015	3105

Kuvio 6. Vaihtosuuntaajan mitoitus yhdellä kuormalla.

Jos taas jääkaappi ja muu kuorma kytketään erillisiin tasasuuntaajiin, saadaan jääkaapittoman vaihtovirta kuorman suuruudeksi hieman alle 3 000 wattia, joka näkyy Kuviossa 7. Teholtaan 45 wattinen jääkaappi saa kolmen puskurikertoimella arvon 135 wattia.

Jääkaapin vaihtosuuntaajan mitoitus	
koko kuorma AC (W)	
	45
Lopun kuorman vaihtosuuntaajan mitoitus	
koko kuorma AC (W)	
	2970.00

Kuvio 7. Vaihtosuuntaajan mitoitus jääkaapille ja lopulle kuormalle.

On siis järkevämpää kytkeä koko kuorma yhteen vaihtosuuntaajaan, sillä jääkaapin merkitys ei ole niin iso, että se vaikuttaisi loppukuorman tehojen summaan.

5.2 Akuston mitoitus

Akustoa mitoitettaessa on akkujen oletettu olevan kapasiteetiltaan käyttäjän toiveiden mukaisesti vähintään 220 Ah:n luokkaa. Akun mitoituksen aloitin selvittämällä kuormien ampeeri-tuntien keskiarvon per päivä. Tämän tein vähentämällä AC-kuorman päivän keskiarvon ja vaihtosuuntaajan osamäärästä DC-kuorman päivän keskiarvon ja näin saadun luvun jakamalla tasajännitteellä. /7/ Sijoitin arvot kaavaan

$$I_{\text{avg}} = \frac{\frac{AC_{\text{avg}}}{\eta_{\text{vaihtosuuntaaja}}} + DC_{\text{avg}}}{U_{\text{DC}}}, \text{ jossa } AC_{\text{avg}} = \text{vaihtovirtaan} \quad (1)$$

kytkettyjen kuormien
tehon keskiarvo

päivässä

DC_{avg} = tasavirtaan

kytkettyjen kuormien

tehon keskiarvo

päivässä

$\eta_{vaihtosuuntaaja}$ = vaihtosuuntaajan

hyötysuhde

U_{DC} = tasavirta kuorman

jännite

/7/.

Näin sain virran keskiarvoksi hieman alle 130 ampeeri-tuntia päivässä, mikä näkyy Kuviossa 8. Tästä arvosta voidaan todeta, että akun ampeerituntikapasiteetin on oltava vähintään tämän suuruinen.

Mökin käyttäjä toivoi systeemin tasajännitteelle arvoa 12 voltia ajatellen, että tälle jännitteelle on markkinoilla varaa valita komponenteista.

Akun mitoitus				
AC-kuorma ka/päivä (Wh)	Vaihtosuuntaajan η	DC-kuorman ka/päivä (Wh)	Tasajännite (V)	Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)
1068.29	0.9	320.00	12	125.5820106

Kuvio 8. Ampeeri-tuntien keskiarvo päivässä 12 voltin tasajännitteellä.

Seuraavaksi selvitetään, montako akkua on järkevä laittaa sarjaan ja montako rinnan ja täten saadaan selville samalla myös akkujen ideaalinen kokonaislukumäärä. Laskuissani pyöristän tarvittaessa akut kokonaisluvuiksi ylöspäin, jotta saan varmasti riittävän lukumäärän.

Jotta saadaan selville ideaalisen rinnan kytkettyjen akkujen lukumäärä, kerrotaan ensin systeemin ampeerituntien keskiarvo päivässä akuston autonomisten päivien lukumäärällä, jonka jälkeen tulo jaetaan yhden akun purkausrajalla. Tämä osamäärä jaetaan akun kapasiteetilla. /7/ Koska mitään tiettyjä akkuja ei tässä vaiheessa ole valittuna, ovat arvot suuntaa antavia. Käyttäjä toivoi, että akuston kapasiteetti

riittäisi sähköistämään mökin kahdeksi päiväksi ilman tarvetta ladata akkuja pilvis-
ten päivien varalta.

Jotta Excel-kaavani antaa seuraavaan kokonaislukuun pyöristetyn luvun, käytän
komentoa:

$$rinnan = ROUNDUP(((Ah_{avg} * d_{autonom})/purkausraja/akku_{kapasiteetti}),0).$$

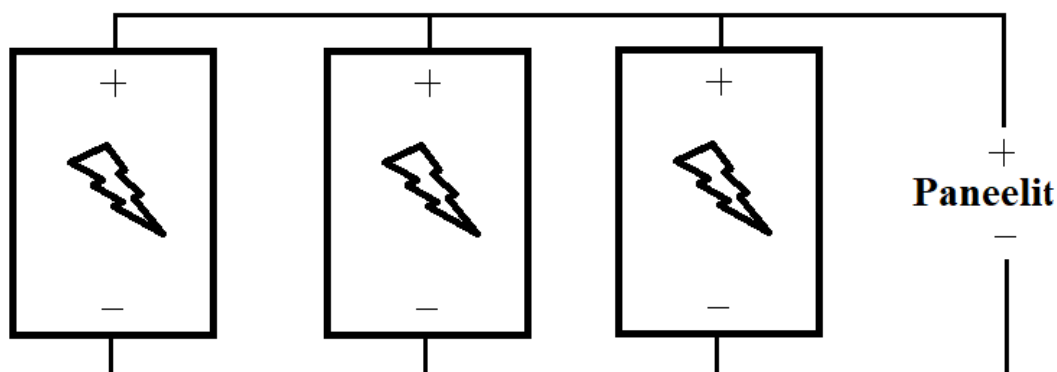
Sarjaan kytkettävien akkujen lukumäärän saan jakamalla systeemin tasajännitteen
yhden akun jännitteellä /7/. Tämäkin arvo pyöristetään seuraavaan kokonaislukuun
ja siksi Exceliin syötetään komento:

$$sarjassa = ROUNDUP((DC_{systeemi}/U_{akku}),0) .$$

Rinnan ja sarjan kytkettyjen akkujen tulosta saadaan tarvittavien akkujen kokonais-
lukumäärä kolme. Akkujen kytkentä on nähtävissä Kuviossa 10. Taulukko, jossa
arvot on laskettu, on nähtävissä Kuviossa 9. Ylöspäin pyöristyskomentoa on käy-
tetty siltä varalta, että Excel-taulukon arvot ovat varmasti käytettävissä muillakin
arvoilla kuin tässä työssä käytetyillä.

Akun mitoitus					
AC-kuorma ka/päivä (Wh)	Vaihtosuuntaajan η	DC-kuorman ka/päivä (Wh)	Tasajännite (V)	Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)	
1068.29	0.9	320.00	12	125.5820106	
Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)	Autonomiset päivät (d)	Purkautumisraja	Akun kapasiteetti (Ah)	Akut rinnan	
125.5820106	2	0.5	220	3	
DC jännite (V)	Akun jännite (V)	Akut sarjassa	Akut yhteensä		
12	12	1	3		

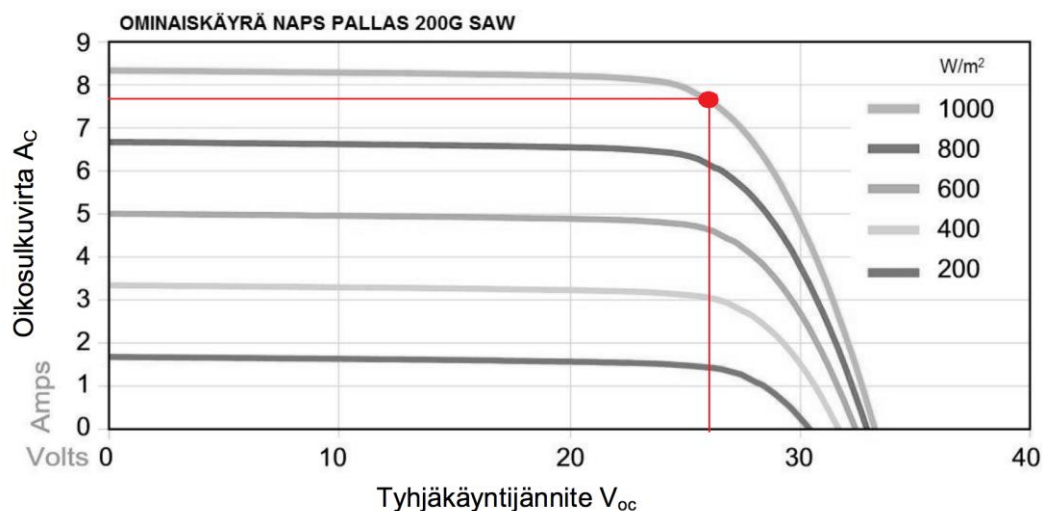
Kuvio 9. Akkujen lukumäärä rinnan, sarjassa ja yhteensä.



Kuvio 10. Akuston kytkentä rinnan.

5.3 Paneelien mitoitus

Aurinkopaneeleita mitoittaessa on tutustuttava paneelien jännite-virta- eli IV-käyriin. Paneelit eivät tuota sähköä tasaisesti, sillä niiden toiminta riippuu Auringon säteilystä saatavan energian suuruudesta. IV-käyrä, jota kutsutaan myös paneelin ominaiskäyräksi ilmoittaa, millä arvoilla paneeli kykenee tuottamaan sähköä. Käyrä kuvaa jännitteen ja virran käyttäytymistä suhteessa toisiinsa. Siksi paneeleita valittaessa on tärkeää ottaa huomioon niiden ominaiskäyrät. Ominaiskäyrästä on luettavissa paneelin suurin mahdollinen tuottama virran arvo I_{SC} (short circuit current), joka syntyy paneelin ollessa kytkettynä akkuun. Käyrästä on luettavissa myös suurin mahdollinen jännite V_{OC} (open circuit voltage) joka saadaan, kun paneeli ei ole kytketty kuormaan. Kolmas merkittävä paneelin IV-käyrästä luettavissa oleva arvo on se piste, jossa sekä virta että jännite ovat maksimissaan. Tällöin paneeli toimii suurimmalla mahdollisella teholla. /27/ Näin ollen kennoja valittaessa on pidettävä huoli siitä, että kennojen maksimi virta akkuun on vähintään sen suuruinen kuin akusto tarvitsee latautuakseen. Toisin sanoen paneelin IV-kurvista nähtävän oikosulkuvirran I_{SC} on oltava vähintään paneelista saatavan virran summa. Koska paneelien tehokkuus riippuu myös lämpötilasta, tulee olla mainittuna, missä lämpötilassa käyrä on voimassa. Usein käyrät kuvaavat toimintaa 25 asteessa celsiusta. /7/



Kuvio 11. Esimerkki ominaiskäyrästä /28/.

Kuviossa 11 on luettavissa Naps pallas 200G SAW -paneelin IV-käyrät eri säteilyn tehokkuuksilla. 1000 W/m²:n käyrään olen lisäksi merkinnyt punaisella täplällä kyseiseen säteilytehoon liittyvät paneelin maksimi virran ja jännitteen arvot.

Mitoittaessa paneeleja kesämökin sähköjärjestelmään käytän hyödyksi akkuja mitoitettaessa arvoa systeemin keskiarvoa ampeeritunneille vuorokaudessa. Jakamalla tämän arvon 139,05...Ah tyypillisellä akun tehokkuudella 0,8 ja kohteen peak sun -tunneilla, sain paneeleissa kulkevan virran maksimi arvoksi noin 35 ampeeria. Jaoin saadun osamäärän 8,25 ampeerilla, joka on valitun 12 voltin aurinkopaneelien maksimivirran suuruusluokkaa käyttämällä Excelin ylöspäin pyöristämiskomentoa. Tuloksena saadaan viisi, mikä merkitsee sitä, että tämän tyyppisiä paneeleja on kytkettävä rinnan viisi kappaletta. Taulukko, jossa tulokseen on päästy, on nähtävissä Kuviossa 12. Jakamalla systeemin tasajännitteen yhden paneelin nimellisjännitteellä käyttäen pyöristyskomentoa saadaan vaadittu paneelien lukumäärä sarjaan kytkettynä. Tässä tapauksessa 12 voltia jaetaan 12 voltilla, mikä on yksi. Eli yhteensä viisi tällaista paneelia on kytkettävä rinnan ja näillä akusto saadaan teoriassa ladattua täyteen peak sun -tuntien aikana ideaalisissa olosuhteissa. /7/

Paneeleiden mitoitus			
Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)	Akun tehokkuus	peak sun -tunnit (h)	Paneeleiden I max (A)
125.5820106	0.8	4.5	34.88389183
Paneeleiden I max (A)	Moduulin I max (A)	Paneelit rinnan	Paneelin IOS (A)
34.88389183	8.25	5	7.69
DC jännite (V)	Paneelin nimellis U(V)	Paneelit sarjassa	Paneelit yhteensä
12	12	1	5

Kuvio 12. Paneeleiden mitoitus.

5.4 Lataussäätimen mitoitus

Lataussäätimen mitoituksessa on tiedettävä tarkka arvo paneelin oikosulkuvirralle. Yhden moduulin oikosulkuvirta kerrotaan rinnan kytkettyjen paneeleiden lukumäärällä ja tulosta nähdään paneeleiden oikosulkuvirran suuruus. Turvallisuuden lisäämisen vuoksi, tämä arvo kerrotaan vielä 1,25:llä. /7/ Täten saamme oikosulkuviraksi noin 48 ampeeria. Näin ollen järjestelmän lataussäätimen ollessa kapasiteetiltaan vähintään tämän suuruinen, on se varmasti järjestelmässä toimiva.

Laskettaessa tasavirta piirissä kulkevan virran suuruutta, voidaan hyödyntää kaavaa, jonka mukaan teho on yhtä suuri kuin piirin jännitteen ja siinä kulkevan virran tulo.

$$P = UI, \text{ jossa} \quad P = \text{teho} \quad (2)$$

$$U = \text{jännite}$$

$$I = \text{virta}$$

/24/.

Tästä yhtälöstä saadaan edelleen lauseke, jonka mukaan virta on tehon ja jännitteen osamäärä. Tätä tietoa hyödyntäen voimme laskea sähköjärjestelmän tasavirta kuorman virran maksimi arvon jakamalla tasavirtaan kytkettyjen kuormien tehon summan piirin jännitteellä /7/.

$$I = \frac{P}{U}, \text{ jossa} \quad I = \text{virta} \quad (3)$$

$$P = \text{teho}$$

$U = \text{jännite}$

/24/.

Näin saamme tasavirta kuorman maksimi virran arvoksi reilu 3 ampeeria. Kuva Excel-tilukosta, jossa nämä laskut on suoritettu on nähtävissä Liitteessä 1 lataussäätimen kohdalla.

6 KOMONENTTIEN VALINTA

6.1 Vaihtosuuntaaja ehdotukset

Kappaleessa 5.1 saatiin kesämökin vaihtovirran kuormalle hiukan alle 3 kilowatin maksimi-teho. Etsin käyttäjän valittavaksi kaksi 12 voltin vaihtosuuntaaja vaihtoehtoa, joiden hetkellinen tehon kesto on 3 000 wattia.

Yksi vaihtoehto on HQINV-1700/12, jolla on 1 500 watin jatkuva lähtöteho VerkkoKauppa.com:ista. Toinen vaihtoehto on samat ominaisuudet omaavat, mutta hiukan kalliimpi Motonetin invertteri max 1500 12V->230V. /29,30/ Kyseiset vaihtosuuntaajat näkyvät Kuviossa 13.



Kuvio 13. Vaihtosuuntaaja vaihtoehdot /29,30/.

6.2 Akku ehdotukset

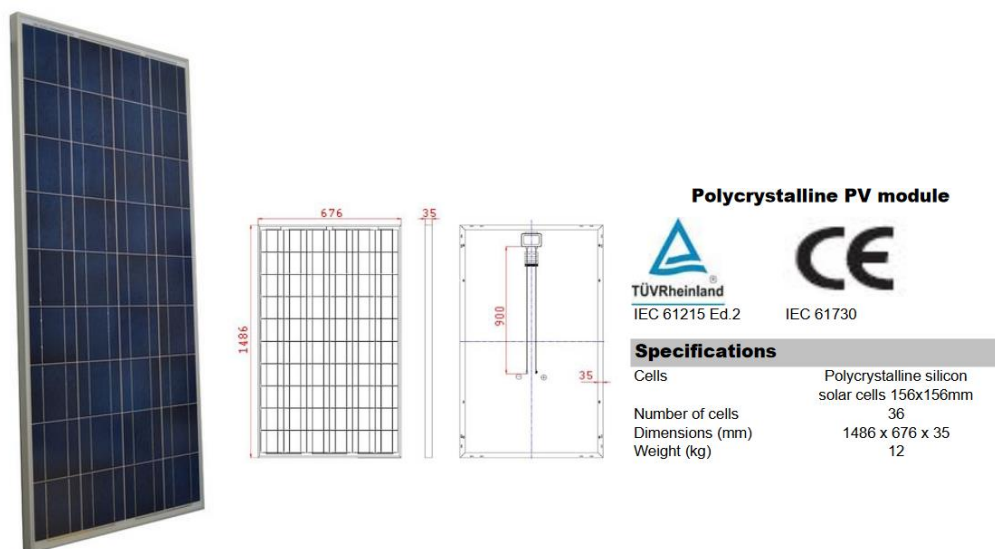
Akkuja valittaessa kiinnitin huomiota, että se on 12 volttiin kytkemiseen soveltuva ja on ainakin 220 ampeerituntia kapasiteetiltaan, jotta mitoituslaskemat pitävät paikkansa. Vaihtoehtoista valikoitui joko EUROGLOBE AGM -akku 12 voltia tai MBAT MULTIPURPOSE AGM 220 Ah. Rajasin vaihtoehtoja hinnan ja ulkokäytösoveltuvuuden perusteella. /31,32/ Ehdottamani akkumallit näkyvät Kuviossa 14.



Kuvio 14. Akku vaihtoehdot /31,32/.

6.3 Paneeliehdotus

Eri jälleenmyyjien tuotteita ja hintoja vertailemalla päädyin suosittelemaan Kuviossa 15 näkyvää 140 watin Solarxon monikidepaneelien asentamista /33–36/. Kyseisen paneelin maksimivirta on Kuvioista 16 luettavissa oleva 8,25 ampeeria, joten kuten mitoitusvaiheessa todettiin, tulee näitä paneeleita asentaa viisi kappaletta rinnan /35/.



Kuvio 15. Paneeli vaihtoehto /34/.

Electrical Characteristics

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m ² , Cell Temperature 25°C)			
Max Power P _m (W)	140	Cell Efficiency (%)	16.30
Max Power Voltage V _m (V)	22.0	Module Efficiency (%)	13.90
Max Power Current I _m (A)	8.25	Maximum System Voltage (V)	DC 1000 (TÜV)
Open-Circuit Voltage V _{oc} (V)	18.2	Power Tolerance (%)	+3
Short-Circuit Current I _{sc} (A)	7.69	Series Fuse Rating (A)	12

Kuvio 16. Suositellun paneelin tekniset tiedot /34/.

6.4 Lataussäädin ehdotukset

Näin valitun paneelin perusteella selvitin systeemiin sopivan lataussäätimen ominaisuudet, jonka perusteella etsiä sopiva malli. Lataussäätimen mitoituksen laskutapa esitettiin kappaleessa 5.4. Alla olevasta Kuvioista 17 on nähtävissä valitun paneelin arvot sijoitettuna Excel-taulukkoon ja näin laskemalla saatu lataussäätimelle vaatimukset vähintään 40 ampeerin virran kestolle.

Lataussäätimen mitoitus		
Paneelin IOS (A)	Paneelit rinnan	Paneeliston IOC (A)
7.69	5	38.45
Tasavirta kuorma (W)	Tasavirta jännite (V)	Tasavirtakuorman I _{max} (A)
40	12	3.333333333

Kuvio 17. Lataussäätimen mitoitus.

Tämän perusteella etsin ehdotuksen Epeverin MPPT-lataussäätimestä /37, 38/.



Kuvio 18. MPPT-lataussäädin ehdotus /38/.

Sen varalta, että käyttäjän toiveena on halvempi PWM-malli, etsin vaihtoehdoksi 50 ampeerin digitaalisen säätimen /39–40/. On huomattava, että tällä on vaikutus paneeleihin ja akustoon. Ehdotetut säätimet näkyvät Kuvioissa 18 ja 19.



Kuvio 19. PWM-lataussäädin ehdotus /39/.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

7.1 Tulosten luotettavuus

Tämän työn aiheena olevan kesämökin käyttäjä ei ole asentanut nykyistä systeemiä, mutta on usean kesän ajan käyttänyt aurinkopaneelisysteemiä ja kerran joutunut uusimaan sen akun. Ongelmana on ollut generoidun sähkön riittämättömyys kasva-
neen sähkönkulutuksen tarpeisiin vanhoilla paneeleilla. Täten pidän hänen kykyä arvioida nykyinen sähkön kulutus ja siten myös hänen antamien tietojen perusteella laadittua energian kulutuksen arviointia varsin luotettavana.

Käyttäjä on saanut tarkastella muutamaan eri otteeseen ja lopuksi myös valmiin työn vaatimukset asennettaville komponenteille ja pitänyt saatuja arvoja järkevinä. Työn edetessä käyttäjän toiveita on myös aktiivisesti kuunneltu ja huomioon otettu, joten asennettavan aurinkopaneelisysteemin ominaisuudet ovat käyttäjän toiveiden mukaiset, mikä on tärkeää sujuvalle kesämökillä oleskelulle.

7.2 Kohteen aurinkopaneelisysteemin tulevaisuus

Tämän työn alkuvaiheessa pyysin käyttäjää energian kulutusta arvioidessa pyöris-
tämään arvioita mieluummin ylä- kuin alakanttiin, jotta sähkönkulutuksen mahdol-
linen kasvu kesämökillä ei heti vaatisi systeemiin muutoksia. Tämän opinnäytetyön
perusteella on kuitenkin helppo suunnitella tulevaisuudessa mahdollisesti tarvitta-
vat muutokset muuttamalla tämän opinnäytetyön yhteydessä laadittuun Liitteessä 1
näkyvään Excel-taulukkoa.

Käyttäjää varten laadittu taulukko on näkyvissä Liitteessä 3. Tähän taulukkoon on
vihreällä merkitty muuttujat, jotka käyttäjän on itse tarkistettava ja täytettävä toi-
veidensa mukaan. Punaisella fontilla on merkitty arvot, joiden mukaan käyttäjä pys-
tyy valitsemaan kapasiteetiltaan sopivat komponentit järjestelmään. Lihavoidulla
fontilla on merkattu välituloksia, joiden suuruudesta käyttäjä voi taulukkoa käyttä-
essään seurata, että saadut tulokset ovat järkevän oloiset ja näin myös mahdolliset

virheet on helpompi paikantaa. Tekstin värin ja lihavoinnin merkitys on avattu käyttäjälle taulukon oikeassa yläkulmassa.

LÄHTEET

- /1/ Heinonen, A. 2016. Kesämökin sähköistys aurinko- ja tuulienergialla. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/114211/Aleksi_Heinonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- /2/ Koponen, E. 2015. Aurinkosähköjärjestelmä ja sen käyttö Suomessa: kehitys, nykytila ja tulevaisuus. Opinnäytetyö. Karelia ammattikorkeakoulu. Viitattu 21.1.2019. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95632/Koponen_Erik.pdf?sequence=1
- /3/ NASA Science. 2016. Seasons. Viitattu 23.2.2019. <https://spaceplace.nasa.gov/seasons/en/>
- /4/ Messenger, R. 2010. Photovoltaic Systems Engineering. Kolmas painos. Boca Raton. CRC press.
- /5/ Kripper, R. 2017. Building-Integrated Solar Technology. Munich. Detail Business Information GmbH
- /6/ Corpuz-Bosshart, L. 2018. Bacteria-powered solar cell converts light to energy, even under overcast skies. University of British Columbia. Viitattu 5.6.2018. <https://news.ubc.ca/2018/07/05/bacteria-powered-solar-cell-converts-light-to-energy-even-under-overcast-skies/>
- /7/ Vaasan ammattikorkeakoulun kurssi: ”Solar and Wind Power” 2017.
- /8/ Valotorni. Lumenit ja watit. Viitattu 9.3.2019 <https://www.valotorni.fi/category/573/lumenit-ja-watit>
- /9/ Huatsu. Led light emitting diode .2017. Viitattu 14.1.2019. <https://www.huatsu.net/elektroniikka/elektroniikan-komponentteja>
- /10/ Power. Kahvinkeittimet. Viitattu 14.1.2019. <https://www.power.fi/keittio-ja-ruoanlaitto/kahvi-ja-tee/kahvinkeittimet/pl-3562/>
- /11/ Gigantti. Vedenkeittimet. 2019. Viitattu 14.1.2019. https://www.gigantti.fi/fi_keittion_pienkoneet/vedenkeittimet
- /12/ Verkkokauppa.com. Mikroaaltouunit. 2019. Viitattu 14.1.2019. <https://www.verkkokauppa.com/fi/catalog/793b/Mikroaaltouunit?sort=popularity>
- /13/ Rakennustietosäätiö. RT 055.30. 2001. Viitattu 22.2.2019 http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/4_ilmasto_sateily_055-30.pdf
- /14/ European Commission. Joint Research Centre Data Catalogue. 2019. Viitattu 15.1.2019. <http://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-tmy-tmy-download-service>

- /15/ CM Saf. CM Saf Consortium Partners. 2016. Viitattu 15.1.2019.
https://www.cmsaf.eu/EN/Overview/ConsortiumPartners/Consortium_Partners_node.html
- /16/ JRC, CM Saf. Photovoltaic Geographical Information System – Interactive maps. Viitattu 15.1.2019. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- /17/ Redwood Region Economic Development Commission. Solar Radiation Data Manual for Flat-Plate and Concentrating Collectors. 1990. Viitattu 21.1.2019.
<https://redc.nrel.gov/solar/pubs/redbook/PDFs/AK.PDF>
- /18/ Ahtela J., Hirsimäki K. & Pihlgren P. TKK. Toimintaperiaate. 1998. Viitattu 16.1.2019. <https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>
- /19/ Aurinkosähkö.net. Lataussäätimet. Viitattu 20.1.2019 Lataussäätimet
<http://www.aurinkosahko.net/category/11/>
- /20/ HONG KONG. Aurinkopaneelin 20 A lataussäädin SLC-NR2420C. Viitattu 20.1.2019. <https://www.hongkong.fi/fi/tyokalut-ja-nikkarointi/sahko-ja-lvi-tarvikkeet/aurinkoenergia/aurinkopaneelin-lataussaadin-aurinkopaneelikaapelit-ja-tarvikkeet/aurinkopaneelin-20-a-lataussaadin-slc-nr2420c/p/2853601/>
- /21/ Enerdrive. MPPT vs PWM solar controllers. 2019. Viitattu 20.1.2019.
<http://www.enerdrive.com.au/mppt-vs-pwm-solar-controllers/>
- /22/ ABB. Power converters- Inverters. 2019. Viitattu 16.1.2019
<https://new.abb.com/power-converters-inverters/>
- /23/ MpptSolar. How does an inverter work. 2019. Viitattu 21.1.2019.
<https://www.mpptsolar.com/en/how-does-an-inverter-work.html>
- /24/ Young, H.D ja Freedman, R.A. 2010. Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics. Kolmastoista painos. Massachusetts. Addison-Wesley
- /25/ Rantala P. Sähkötekniikan perusteita. 2016. Viitattu 20.2.2019.
http://www.oamk.fi/~pekkar/RakSah_Kertauspaketti/S%C3%A4hk%C3%B6tekniikan_perusteita_s2016.pdf
- /26/ Kansagara R. CircuitDigest. Introduction to Different Types of Inverters. 2018. Viitattu 21.1.2019. <https://circuitdigest.com/tutorial/different-types-of-inverters>
- /27/ Suntekno. Aurinkopaneelit. Viitattu 23.1.2019. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- /28/ Käpylehto J. Solarvoima. Miten aurinkopaneeli toimii. Viitattu 23.1.2019.
<https://solarvoima.fi/miten-aurinkopaneeli-toimii/>

/29/ Verkkokauppa.com. HQ 1500W invertteri, 12 V -> 230 V. 2019. Viitattu 17.2.2019. <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/24350/ctxjr/HQ-1500W-invertteri-12-V-230-V>

/30/ Motonet. Invertteri max 1500W 12V->230V. 2019. Viitattu 17.2.2019. <https://m.motonet.fi/fi/tuote/455557/>

/31/ Aurinkosähkö.net. EUROBLOBE AGM akku 12V. 2019. Viitattu 17.2.2019. <http://www.aurinkosahko.net/product/78/>

/32/ ADITA. AGM AKKU 220AH MBAT MULTIPURPOSE 513*275*239. Viitattu 17.2.2019. <https://www.adita.fi/verkkokauppa/tuote/14433861697>

/33/ HONG KONG. Aurinkopaneeli 140 W. Viitattu 18.3. <https://www.hongkong.fi/fi/>

/34/ aurinkopaneelikauppa.fi. SOLARXON. Viitattu 18.3. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/WebRoot/vilkas04/Shops/20120903-11092-142553-1/MediaGallery/140W.pdf>

/35/ aurinkopaneelikauppa.fi. Solar Panel 140 W. Viitattu 18.3. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/Solar-Panel-140W>

/36/ SOLARXON. Monikide aurinkopaneelit 30 W – 285 W. Viitattu 18.3. <https://www.eurosolar.fi/tuotteet/aurinkopaneelit/monikide-aurinkopaneelit-30-w-285-w>

/37/ Saaristotekniikka.com. 40a mppt lataussäädin ep solar tracer. Viitattu 18.3. <http://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/227/40a-mppt-lataussaadin-ep-solar-tracer>

/38/ ThermoSun.fi. 40A MPPT Lataussäädin 520W. Viitattu 18.3. <https://www.thermosun.fi/40A-MPPT-Lataussaeedin-520W>

/39/ HONG KOG. Aurinkopaneelin 50 A digitaalinen lataussäädin. Viitattu 18.3. <https://www.hongkong.fi/fi/tyokalut-ja-nikkarointi/sahko-ja-lvi-tarvikkeet/aurinkoenergia/aurinkopaneelin-lataussaadin-aurinkopaneelikaapelit-ja-tarvikkeet/aurinkopaneelin-50-a-digitaalinen-lataussaadin/p/2853604/>

/40/ Aurinkopaneelikauppa.fi. Lataussäätimet. Viitattu 18.3. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/Lataussaeatimet>

LIITE 1

Excel-taulukko komponenttien mitoitukselle

Kuorma	Lukumäärä	Käyttöjännite (V)	Virta (A)	Teho (W)	Käyttötunnit	Käyttöpäivät viikossa	Energian keskiarvo/päivä (Wh)
Valaisimet (LED)	8			5	8	7	320.00
			koko kuorma DC	40		koko kuorman keskiarvo/päivä DC	320.00
Jääkaappi	1		-	45	24	7	324.00
Laturi (puhelimet,tabletit)	2	5	1.5	15	2	7	30
Kahvinkeitin	1		-	800	0.5	7	400.00
Vedenkeitin	1		-	1000	0.1	3	42.86
Modeemi	1		-	50	4	7	200.00
Mikroaaltouuni	1		-	600	0.1	3	25.71
Pölynimuri	1		-	500	0.5	1	35.71
Radio	1		-	5	2	7	10.00
			koko kuorma AC (W)	3015		koko kuorman keskiarvo/päivä AC (W)	1068.29
Vaihtosuuntaja mitoitus							
koko kuorma AC (W)	Jääkaapin teho piikki huomitoitu						
3015	3105						
Akun mitoitus							
AC-kuorma ka/päivä (Wh)	Vaihtosuuntaajan η	DC-kuorman ka/päivä (Wh)	Tasajännite (V)	Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)			
1068.29	0.9	320.00	12	125.5820106			
Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)	Autonomiset päivät (d)	Purkautumisraja	Akun kapasiteetti (Ah)	Akut rinnan			
125.5820106	2	0.5	220	3			
DC jännite (V)	Akun jännite (V)	Akut sarjassa	Akut yhteensä				
12	12	1	3				
Paneeleiden mitoitus							
Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)	Akun tehokkuus	peak sun -tunnit (h)	Paneeleiden I max (A)	peak sun -tunnit	4.5	h	
125.5820106	0.8	4.5	34.88389183	DC kuorma	5	W	
Paneeleiden I max (A)	Moduulin I max (A)	Paneelit rinnan	Paneelin IOS (A)	AC kuorma	3015	W	
34.88389183	8.25	5	7.69	DC kuorma/päivä	320.00	Wh	
DC jännite (V)	Paneelin nimelliset U(V)	Paneelit sarjassa	Paneelit yhteensä	AC kuorma/päivä	1068.29	Wh	
12	12	1	5	DC-jännite	12	V	
				Vaihtosuuntaajan	0.9		
Lataussäätimen mitoitus							
Paneelin IOS (A)	Paneelit rinnan	Paneeliston IOC (A)		Autonomiset d	2	d	
7.69	5	48.0625		Purkautumisraja	0.5		
Tasavirta kuorma (W)	Tasavirta jännite (V)	Tasavirtakuorman I max (A)		Akun kapasiteetti	220	Ah	
40	12	3.33333333		Akun jännite	12	V	

LIITE 2

Excel-taulukko jääkaapin kytkemiselle omaan vaihtosuuntaajaan

Kuorma	Lukumäärä	Jännite (V)	Virta (A)	Teho (W)	Käyttötunnit	Käyttöpäivät viikossa	Energian keskiarvo/päivä (Wh)
Valaisimet (LED)	8			5	1	7	40.00
			koko kuorma DC	40		koko kuorman keskiarvo/päivä DC	40.00
Jääkaappi	1		-	45	24	7	324.00
Laturi (puhelimet)	2	5	1.5	15	2	7	30
Kahvinkeitin	1		-	800	0.5	7	400.00
Vedenkeitin	1		-	1000	0.1	3	42.86
Modeemi	1			50	4	7	200.00
Mikroaaltouuni	1		-	600	0.1	3	60.00
Pölynimuri	1		-	500	0.5	7	250.00
Radio	1		-	5	2	7	10.00
			koko kuorma AC	2970		koko kuorman keskiarvo/päivä AC	992.86
		Jääkaapin vaihtosuuntaajan mitoitus				Lopun kuorman vaihtosuuntaajan mit	8910
		koko kuorma AC (W)					
		45					
		Lopun kuorman vaihtosuuntaajan mitoitus					
		koko kuorma AC (W)					
		2970.00					

LIITE 3

Excel-taulukko käyttäjälle

Täytä/tarkista									
Lue arvo									
ÄLÄ MUUTA LIHAVOITUJA									
Kuorma	Luku- määrä	Käyttöjännite (V)	Virta (A)	Teho (W)	Käyttö- tunnit	Käyttöpäivät viikossa	Energian keskiarvo/päivä (Wh)	peak sun -tunnit	4.5 h
Valaisimet (LED)	8			5	8	7	320.00	DC kuorma	5 W
			koko kuorma DC	40		koko kuorman keskiarvo/päivä DC	320.00	AC kuorma	3015 W
Jääkaappi	1		-	45	24	7	324.00	DC kuorma/päivä	320.00 Wh
Laturi (puhelimet,tabletit)	2	5	1.5	15	2	7	30	AC kuorma/päivä	1068.29 Wh
Kahvinkeitin	1		-	800	0.5	7	400.00	DC-jännite	12 V
Vedenkeitin	1		-	1000	0.1	3	42.86	Vaihtosuuntaajan η	0.9
Modeemi	1		-	50	4	7	200.00		
Mikroaaltouuni	1		-	600	0.1	3	25.71	Autonomiset d	2 d
Pölynimuri	1		-	500	0.5	1	35.71	Purkautumisraja	0.5
Radio	1		-	5	2	7	10.00	Akun kapasiteetti	220 Ah
			koko kuorma AC (W)	3015		koko kuorman keskiarvo/päivä AC (Wh)	1068.29	Akun jännite	12 V
Vaihtosuuntaja mitoitus									
koko kuorma AC (W)	3015	Jääkaapin teho piikki huimitoitu							
Akun mitoitus		3105							
AC-kuorma ka/päivä (Wh)	Vaihtosuuntaajan η	DC-kuorman ka/päivä (Wh)	Tasajännite (V)			Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)			
1068.29	0.9	320.00	12			125.5820106			
Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)	Autonomiset päivät (d)	Purkautumisraja	Akun kapasiteetti (Ah)			Akut rinnan			
125.5820106	2	0.5	220			3			
DC jännite (V)	Akun jännite (V)	Akut sarjassa	Akut yhteensä						
12	12	1	3						
Paneelien mitoitus									
Ka ampeeritunnit/päivä (Ah)	Akun tehokkuus	peak sun -tunnit (h)	Paneelien I max (A)			Lataussäätimen mitoitus			
125.5820106	0.8	4.5	34.88389183			Paneelin IOS (A)	7.69	Paneelit rinnan	5
								Paneeliston IOC (A)	48.0625
Paneelien I max (A)	Moduulin I max (A)	Paneelit rinnan				Tasavirta kuorma (W)	40	Tasavirta jännite (V)	12
34.88389183	8.25	5						Tasavirtakuorman I max (A)	3.33333333
DC jännite (V)	Paneelin nimellis U(V)	Paneelit sarjassa	Paneelit yhteensä						
12	12	1	5						