

Opinnäytetyö (AMK)
Elektroniikan koulutusohjelma
Elektroniikkasuunnittelu
2016

Aleksi Heinonen

KESÄMÖKIN SÄHKÖISTYS AURINKO- JA TUULIENERGIALLA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aleksi Heinonen

KESÄMÖKIN SÄHKÖISTYS AURINKO- JA TUULIENERGIALLA

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena sähköistää kesämökki, joka sijaitsee alueella, jossa valtakunnallinen sähköverkko ei ole käytettävissä. Sähköistys toteutettiin käyttämällä pelkästään aurinko- ja tuulivoimaa, eli käyttämällä ainoastaan uusiutuvaa energiaa. Järjestelmä piti ensin mitoittaa toimimaan halutuilla spesifikaatioilla, joiden jälkeen se piti myös asentaa käyttövalmiiksi. Lisäksi opinnäytetyössä perehdyttiin yleisesti uusiutuvaan energiaan ja siihen käytettäviin laitteisiin sekä menetelmiin.

Tarkoituksena oli siis rakentaa 12 V:n järjestelmä, joka saa sähköenergiansa aurinkokennoista ja pienehköstä tuuliturbiinista. Saatua sähköenergiaa varastoidaan akkuun, josta saadaan virtaa valoille ja muille halutuille laitteille. Järjestelmään tarvitaan myös invertteri, joka muuntaa akulta tulevan 12 V:n tasajännitteen 230 V:n vaihojännitteeksi. Näin mökillä pystytään myös käyttämään normaaleja verkkovirtaa käyttäviä laitteita. Järjestelmään piti mitoittaa myös sopivat säätimet, joiden avulla estetään akun vaurioituminen. Aurinkopaneelien tapauksessa säätimen avulla estetään akun yllilatautuminen. Tuuliturbiinin tapauksessa taas turbiinista tuleva vaihojännite pitää muuntaa tasajännitteeksi säätimen avulla. Työssä myös pohdittiin sekä mitoitettiin kaapelien paksuuksia, sekä mietittiin muita pieniä yksityiskohtia, joilla saatiin järjestelmän hyötysuhdetta paremmaksi

Lopputuloksena saatiin rakennettua toimiva järjestelmä, jonka ansiosta kyseisellä mökillä on nyt mahdollista käyttää valaistusta sekä katsella esimerkiksi televisiota. Koska lähes kaikki mitoitukset ylimitoitettiin, saavutettiin haluttu tilanne jossa mökillä oleskelijoiden ei tarvitse säästellä sähköä, vaan sitä voidaan käyttää kun halutaan. Kustannuksia järjestelmälle tuli yhteensä noin 900 € töineen. Siihen eivät kuulu laitteet, jotka sähköä kuluttavat, esimerkiksi siis valaistus. Mikäli mökille olisi vedetty sähkölinja olisi se maksanut noin 8 000 €. Kyseisestä systeemistä saatiin siis myös hyvin kustannustehokas.

ASIASANAT:

uusiutuva energia, aurinkopaneeli, tuuliturbiini, kesämökki

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronics design

2016 | 41

Instructor: Senior Lecturer Henry Gylén

Aleksi Heinonen

SUMMERCABIN ELECTRIFICATION WITH SOLAR AND WIND ENERGY

The purpose of this thesis was to electrify a summer cabin which is located in an area where the national electricity grid is not available. Electrification was implemented using only solar and wind power, thus using only renewable energy. Firstly the system had to be measured to work with the desired specifications. After that it had also to be installed ready for use. In addition, this thesis introduces renewable energy in general and discusses the used devices and methods of it.

The aim was, therefore, to build a 12-volt system which receives electrical energy from solar panel and a minor wind turbine. The gathered electrical energy stored in the battery provides power for lights and other desired devices. The system also required an inverter which transforms the 12 volt DC from battery to 230 volt AC. In this way, it is also possible to use normal 230 volt AC utilizing machines in the cabin. The system also had to be sized to suitable controller, which prevents the damage to the battery. In case of the solar panels, the controller prevents overcharging of the battery. While in the case of the wind turbine, the controller converts AC voltage coming from the turbine - to the 12 volt DC. This thesis also explains the planning and sizing of cable diameters, as well as other small factors that affect the system efficiency.

The end result is a fully functioning system which makes it possible, for example, to use lighting as well as watch television in the cabin. Because almost every sizing was oversized, the system achieved the desired situation where the cabin dwellers do not have to regulate the consumption of electricity. Instead, they can use it as they please. The total cost of the system was about 900 euros plus wages. It does not include the devices that consume electricity, for example, lightning. Connecting the cabin to the power grid would have cost approximately 8 000 euros. In the end the system was built very cost-effectively.

KEYWORDS:

renewable energy, solar panel, wind turbine, summer cabin

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 UUSIUTUVA ENERGIA SUOMESSA	2
3 AURINKOENERGIA	4
3.1 Aurinkolämpö	4
3.2 Aurinkosähkö	6
3.2.1 Aurinkokenno	8
3.2.2 Aurinkolaturi	10
4 TUULIENERGIA	13
5 JÄRJESTELMÄN MITOITUS	17
5.1 Akuston mitoitus	17
5.2 Paneelin mitoitus	19
6 JÄRJESTELMÄN OSIEN VALINTA JA ASENNUS	22
6.1 Aurinkokennoston valinta ja asennus	22
6.2 Aurinkopaneeli lataussäätimen valinta sekä asennus	25
6.3 Akuston valinta ja asennus.	27
6.4 Tuuligeneraattorin valinta sekä asennus.	28
6.5 Kaapelien mitoitusta	30
7 JÄRJESTELMÄN KOKOONPANO	32
8 JÄRJESTELMÄN TESTAUS JA MITTAUKSET	35
9 POHDINTA	38
10 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Nykyään uusiutuva energia on saanut yhä enemmän ja enemmän jalansijaa ihmisten sähköenergian käytössä. On tultu tilanteeseen, jossa on lähes pakko alkaa pohtia vaihtoehtoisia tapoja tuottaa energiaa, niin että luonto ympärillämme kärsisi mahdollisimman vähän. Lisäksi ihmisiä asustaa alueilla joissa valtakunnallinen sähköverkko ei ole käytettävissä, näillä alueilla aurinko- ja tuulivoima ovatkin mainio ratkaisu saada sähköenergiaa ihmisten käyttöön.

Hyvänä esimerkkinä alueesta, jossa ei ole valtakunnallista sähköverkkoa, on tuttavain kesämökki, joka sijaitsee saarella. Tämän opinnäytetyön aiheena onkin sähköistää kyseinen mökki, käyttäen hyväksi ainoastaan tuuli- ja aurinkoenergiaa. Työssä käydään läpi myös, millaisessa tilanteessa Suomessa ollaan uusiutuvan energian suhteen, sekä millaisia laitteita tai järjestelmiä on käytettävissä.

Tavoitteena on, että aurinkokennon ja tuuliturbiinin avulla saadaan tuotetuksi tarpeeksi sähköenergiaa mökille, jotta keskeiset sähkölaitteet kuten valot, tv ja kannettava tietokone toimisivat. Saatu sähköenergia varastoidaan 12 V:n akkuun tai akkuihin. Näin varmistetaan, että sähköä on käytettävissä muinakin kuin aurinkoisina tai tuulisina päivinä.

Aiheesta alkaa olla runsaasti tietoa internetissä. Työn aikana tuli kuitenkin huomattua että virheellistäkin tietoa löytyy. Varsinkin monien verkkokauppojen sivuilla on harhaanjohtavia tietoja esimerkiksi eri paneelityyppien käyttökohteista. Muita opinnäytetöitä, jotka liittyvät kyseiseen aiheeseen, on myös jonkin verran. Oulun seudun ammattikorkeakoulusta (Siermala, Mikko 2011) tullut työ vastaa eniten tekemääni työtä tavoitteiden kannalta. Se työ ei kuitenkaan perehdy niin paljon itse uusiutuvaan energiaan kuin tämä. Lisäksi siinä on tuuli- sekä aurinkoenergian lisäksi vielä aggregaatti tuottamaan sähköä ja lataamaan akkuja.

2 UUSIUTUVA ENERGIA SUOMESSA

Uusiutuvaksi energiaksi kutsutaan energiamuotoja, jotka voidaan ajatella luonnossa loppumattomiksi. Tällaisia energiamuotoja ovat muun muassa aurinkoenergia, tuulienergia, vesivoima, aalto- ja vuorovesienergia, sekä erilaiset bioenergiasovellukset. Bioenergiaan kuuluvat puuperäiset polttoaineet, biomassat, biokaasut sekä kierrätyspolttoaineiden hajoava osa. Suomen kannalta voimme unohtaa, ainakin toistaiseksi, aalto- sekä vuorovesienergiat, koska Suomessa ei ole sopivia olosuhteita kyseisille energiamuodoille. [1] [2]

Suomi on yksi johtavista uusiutuvaa energiaa hyödyntävistä maista EU:ssa. Edellä ovat ainoastaan Ruotsi, Itävalta sekä Latvia. Uusiutuvan energian osuus koko Suomen energiankulutuksesta vuonna 2013 oli 31 prosenttia, kun se esimerkiksi vuonna 2009 oli vain 26 prosenttia. Ruotsissa suurin osa uusiutuvasta energiasta tuotetaan vesivoiman avulla. Suomessa taas pääpaino on puussa ja bioperäisissä polttoaineissa, kuten taulukosta 2.1 voi nähdä. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävät aurinko- sekä tuulienergia ovat vielä pienessä osassa Suomen koko uusiutuvan energian kokonaisuutta. [1] [2] [3]

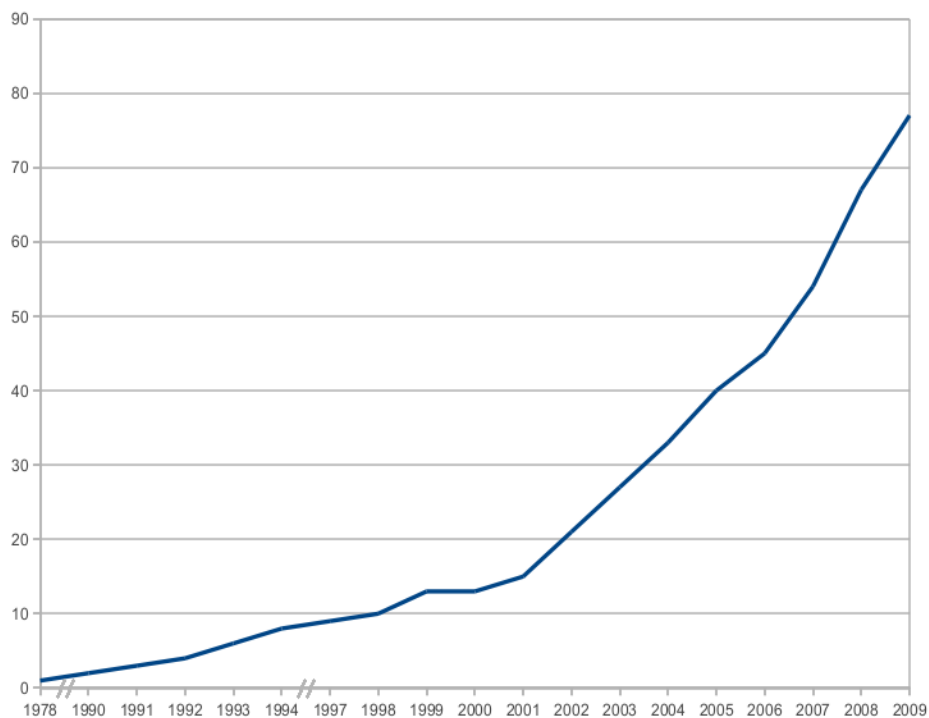
Taulukko 2.1. Uusiutuvan energian kulutuksen jakautuminen energialähteittäin.[2]

Taulukko 1. Uusiutuvan energian kulutuksen jakautuminen energialähteittäin vuosina 2008-2012. Uusiutuvan energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 28 % vuonna 2008, 27 % vuonna 2010 ja 32 % vuonna 2012.						
1 PJ (petajoule) = 0,2778 TWh.						
Lähde: Suomen tilastollinen vuosikirja 2013. Tilastokeskus.						
Energialähde	2008 PJ	2008 %	2010 PJ	2010 %	2012 PJ	2012 %
Metsäteollisuuden jäteliemet	143,7	37,1	135,7	34,3	135,8	31,3
Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet	103,7	26,8	116,1	29,4	130,7	30,1
Puun pienkäyttö	58,8	15,2	67,9	17,2	65,1	15,0
Vesivoima	60,9	15,7	45,9	11,6	60,0	13,8
Lämpöpumput	6,7	1,7	11,0	2,8	16,2	3,7
Biopolttonesteet	3,5	0,9	7,8	2,0	11,8	2,7
Kierrätyspolttoaine (bio)	5,9	1,5	6,1	1,5	8,1	1,9
Biokaasu	1,9	0,5	1,7	0,4	2,4	0,6
Tuulivoima	0,9	0,2	1,1	0,3	1,8	0,4
Muu bioenergia	1,4	0,4	2,0	0,5	2,2	0,5
Aurinkoenergia	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Yhteensä	387,5	100,0	395,2	100,0	434,1	100,0

Suomen valtio pyrkii tukemaan uusiutuvan energian käyttöä monella tavalla. Yleisimmin uusiutuvan energian tuottamiseen kannustetaan syöttötariffilla. Syöttötariffi on valtion sähkömarkkinoiden ohjailukeinoksi päätetty takuuhinta sähkölle. Jos markkinahinta on takuuhintaa alhaisempi, joutuvat sähkön käyttäjät maksamaan erotuksen. Tämä tietenkin kannustaa tuottamaan uusiutuvaa energiaa ja kasvattaa sen kilpailukykyä. Syöttötariffin kasvu viime vuosina näkyy kuvaajasta 2.1. Muita kannustimia ovat muun muassa verohelpotukset sekä investointituet. EU myös pyrkii kehittämään erilaisia tavoitteita eri maille, kuinka paljon kunkin maan pitäisi lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Esimerkiksi Suomelle on annettu tavoitteeksi, että vuonna 2020 energian tuotannosta 38 prosenttia olisi uusiutuvaa energiaa. [4] [5]

Maat/osavaltiot/provinssit, joissa syöttötariffeja käytössä

Lukumäärä kumulatiivisesti kuvattuna. Lähde: Renewables Status Report 2010



Kuvaaja 2.1. Syöttötariffien käyttö vuosina 1978-2009. [4]

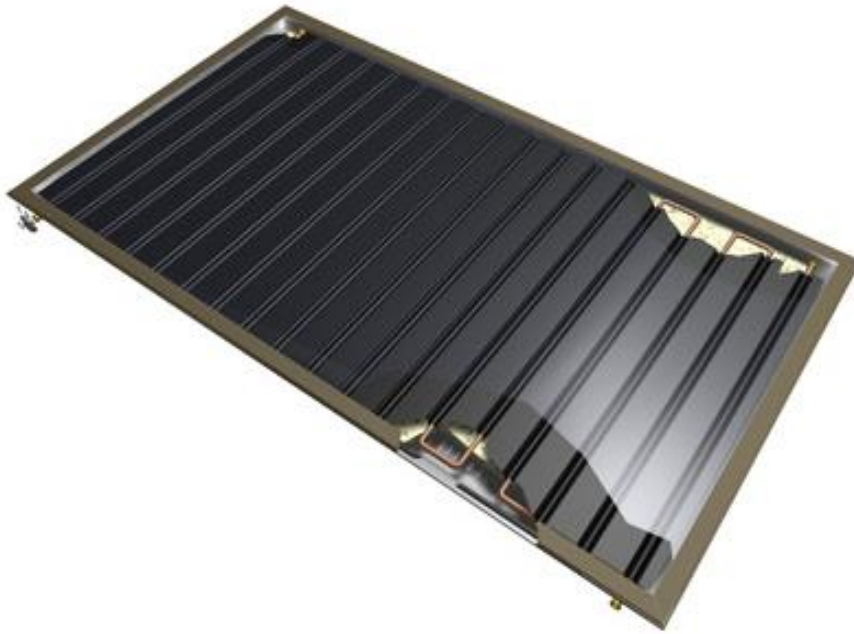
3 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergiaa hyödynnetään kahdella tavalla, siitä saadaan lämpöenergiaa sekä sähköenergiaa. Aurinkoenergiaa olisi Suomessa mahdollista hyödyntää paljon nykyistä enemmän. Etelä-Suomi vastaanottaa noin 1 000 kilowattituntia aurinkosäteilyä jokaista neliometriä kohden vuodessa. Vain keskitalvella on kahden kuukauden mittainen ajanjakso, jolloin auringon energiaa ei juurikaan ole saatavilla. Auringosta maahan tuleva kokonaisteho on noin 170 000 terawattia. Siitä ei voida kuitenkaan hyödyntää kuin osa, koska esimerkiksi 30 prosenttia säteilystä heijastuu suoraan takaisin avaruuteen. [6] [2] [7] [8]

3.1 Aurinkolämpö

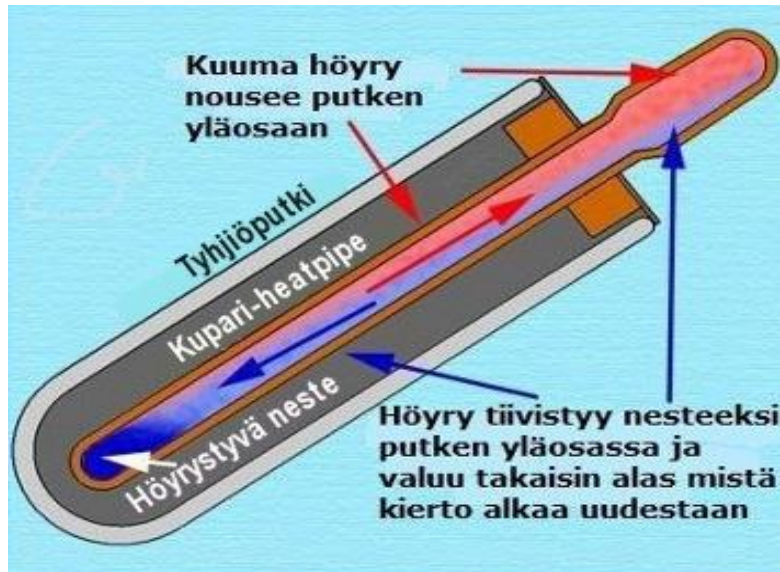
Aurinkoenergiaa hyödynnetään lämmityksessä käytännössä kolmella tavalla. Ensimmäinen tapa on niin sanottu passiivinen auringon säteilyn hyödyntäminen. Se tarkoittaa yksinkertaisimmillaan esimerkiksi rakennusten sijoittamista oikeaan suuntaan, ikkunoiden kokoa ja määrää, talon muotoa sekä rakennusmateriaaleja. Paras mahdollinen rakennuspaikka auringon kannalta on etelärinne. Varsinkin kun ikkunat asetetaan etelän puolelle, saadaan huomattavia säästöjä sekä lämmitys- että valaistuskustannuksissa. [2]

Toinen keino hyödyntää auringosta saatavaa energiaa ovat niin sanotut aurinkokeräimet, toiselta nimeltään tasokeräimet. Ne perustuvat siihen, että auringon säteet lämmittävät mustassa keräimessä kulkevaa nestettä, yleensä se on vesi-glykooliseosta. Erillinen vesipumppu taas kierrättää auringon lämmittämää nestettä keräimestä lämmönvaraajaan, josta lämpö taas siirtyy lämmönvaihtimen kautta kiinteistön lämmitykseen tai muuhun vastaavaan. Tätä kaikkea tietysti ohjataan erillisellä ohjainyksiköllä. Tasokeräimistä on myös markkinoilla versioita, joissa ei kulje mitään nestettä. Ne perustuvat elementin sisällä kiertävään selektiivisellä absorptiomateriaalilla pinnoitettuun kupariseen keräysputkistoon, joka imee hyvin lämpöenergiaa. Kuvassa 3.1 on tyypillinen tasokeräin. [9] [10]



Kuva 3.1. Tyypillinen tasokeräin. [10]

Kolmas ja kaikkein tehokkain, toki myös taloudellisesti kallein, keino hyödyntää auringosta saatavaa lämpöenergiaa ovat tyhjiöputkikeräimet. Ne toimivat kuten termospullot. Niissä lämmönkeruuputkisto on sijoitettu eristeenä toimivan tyhjiöksi imetyn lasiputkilon sisälle, kuten kuvassa 3.2 on esitetty. Tyhjiöputkikeräimillä pystytään hyödyntämään erityisesti auringon hajasäteilyä. Nämä ovatkin erityisesti Suomessa hyvä vaihtoehto, koska täällä hajasäteilyn määrä on suurehko verrattuna eteläisempiin maihin. Ne voidaan asentaa myös täysin pystysuoraan, jolloin keväisin ja syksyisin saadaan parempi teho auringon paistaessa matalalta. Toki miinuksena tässä on, että teho pienenee keskikesällä auringon paistaessa ylhäältä. [10] [11]



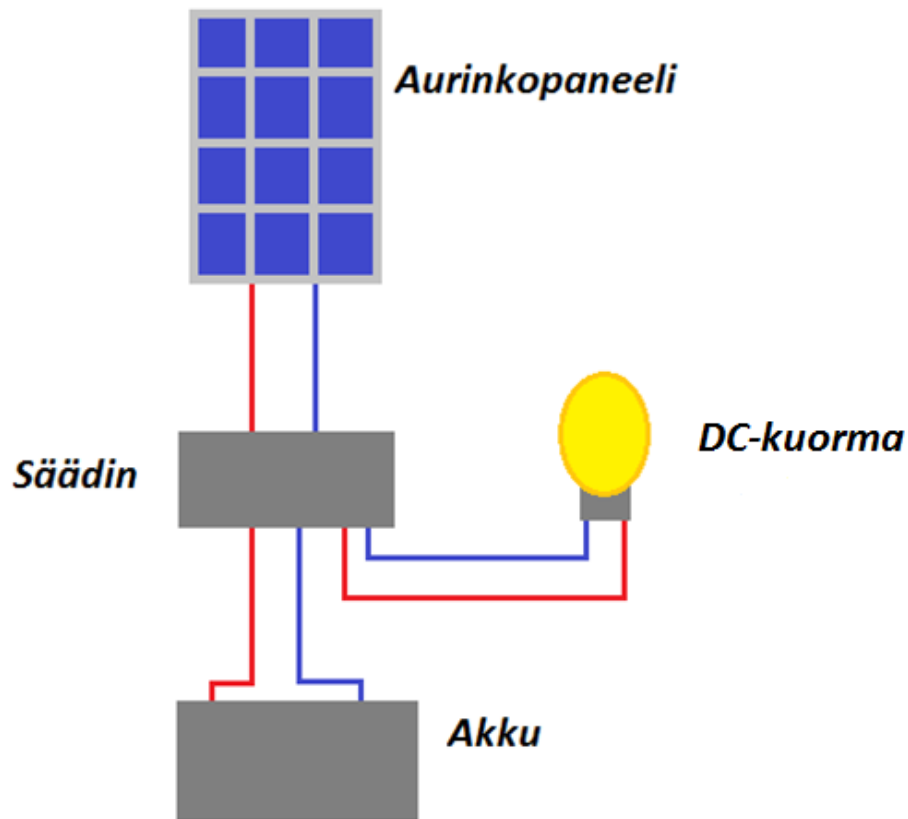
Kuva 3.2. Tyhjiöputken rakenne. [11]

3.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköä tuotetaan erilaisilla aurinkokennoilla, niistä käytetään myös yleisesti nimitystä aurinkopaneeli. Nykyisten kaupallisten kennojen hyötysuhde on karkeasti 10-20 prosenttia riippuen kennojen laadusta sekä sääolosuhteista. Aurinkosähkö-tekniikka kehittyy koko ajan ja tällä hetkellä onkin kehitteillä nanotekniikkaan perustuva kenno, jonka hyötysuhteeksi luvataan jopa 60 prosenttia. [12] [13] [14]

Nykyään aurinkosähköä hyödynnetään käytännössä kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on niin sanottu ”mökkipaketti”. Niin kuin nimestä voidaan päätelläkin, käytetään sitä paikoissa, joissa ei ole sähköverkkoa kuten kesämökeillä, veneissä tai asuntoautoissa. Kyseinen systeemi tarvitsee toimiakseen akun tai akuston, säätimen, sekä tietysti itse aurinkokennon. Kuvassa 3.3 on esitelty systeemin toiminta. Kennot lataavat akkua, johon säätimen kautta kytketään kuormaa eli esimerkiksi valot. Säätimen tehtävänä on myös tarkkailla akun jännitettä ja suojata sitä yli- tai alilatautumiselta. Säätimiä on monenlaisia ja niistä on lisää tietoa kohdassa 3.2.2. Kyseinen systeemi toimii 12 tai 24 V:lla, riippuen kennoista

ja akuista ja siitä miten ne on kytketty. Järjestelmään voidaan lisätä myös invertteri, joka muuntaa 12 VDC:n 230 VAC:ksi. Tällöin on mahdollista käyttää 230 VAC:lla toimivia laitteita. [16]

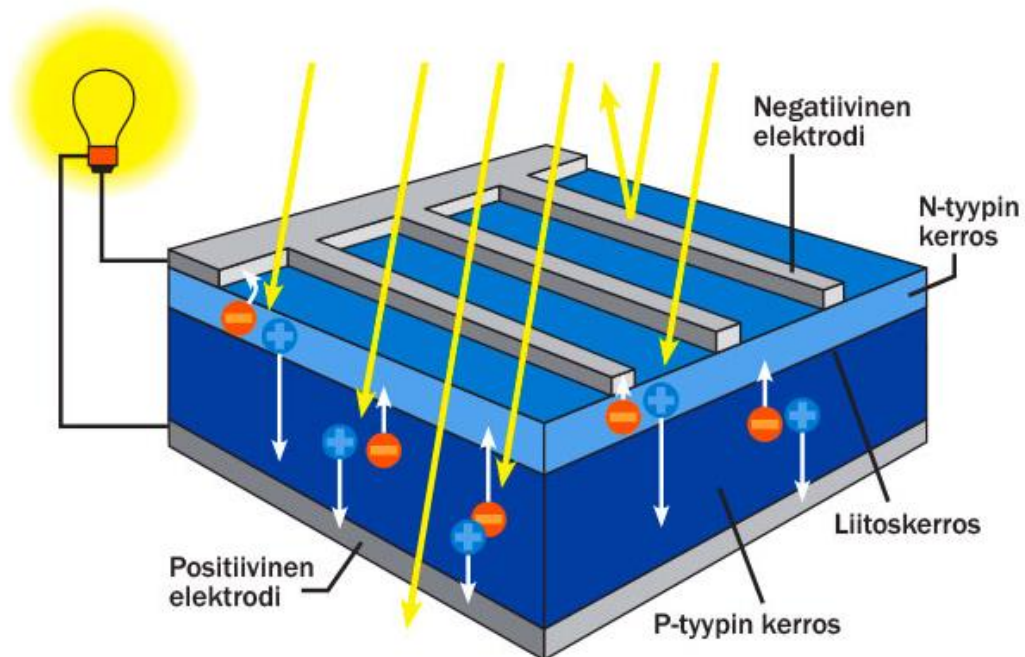


Kuva 3.3. Tavallinen aurinkosähköjärjestelmä

Toinen tapa on liittää aurinkopaneeleista saatu sähköteho suoraan yleiseen sähköverkkoon. Tässä ei siis varastoida sähköenergiaa akkuihin, vaan käytetään se suoraan esimerkiksi omakotitalojen sähkölaitteissa. Mikäli kaikkea kennoilta saatua energiaa ei käytetä, kytkeytyy järjestelmä suoraan yleiseen sähköverkkoon. Tällöin sähköyhtiö hyvittää kennojen tuottaman "ylimääräisen" sähköenergian. Ja taas toisinpäin, mikäli kennoilta ei saada tarpeeksi virtaa, otetaan tarvittava virta yleisestä sähköverkosta. [16]

3.2.1 Aurinkokenno

Normaalit pii-kennot perustuvat valosähköiseen ilmiöön. Kennoja voidaan verrata suureen fotodiodiin, jossa on yhdistetty kaksi eri tyyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n). Kun auringonvalo osuu kennon pintaan, osa säteilyn fotoneista läpäisee paneelin lasipinnan. Fotonien osuessa paneelin puolijohdemateriaaliin vapautuu elektroneja, jolloin kennoon muodostuu elektroni-aukkopareja. Kun näihin pareihin vaikuttaa kennon P- ja N-kerrosten sisäinen sähkökenttä, kulkeutuvat elektronit liuskan negatiiviselle puolelle ja aukot taas positiiviselle puolelle. Kun näiden liuskojen väliin kytketään jokin kuorma, esimerkiksi lamppu tai akku, alkavat elektronit kulkea virtapiirin läpi ja syntyy sähkövirtaa. Toimintaperiaate on myös esitelty kuvassa 3.4. [12] [13] [14] [15]



Kuva 3.4. Aurinkokennon toimintaperiaate. [14]

Yhden kennon jännite on tyypillisesti 0,5-0,6 V. Mikäli halutaan esimerkiksi ladata yleistä 12 V:n akkua tarvitaan 32 kennoa, jotta saadaan tarpeeksi korkea jännite akun lataamiseen. [14]



Aurinkokennoissa käytettävä puolijohdemateriaali on ylisesti piitä. Muita materiaaleja ovat muun muassa kadmium-telluridi ja kupari-indium-gallium-diselenidi. Aurinkokennojen suojakehykset on yleisesti valmistettu alumiinista tai jostain vastaavasta, kevyestä, mutta kuitenkin suhteellisen kestävästä materiaalista. Piistä valmistetut kennot lajitellaan yleensä kolmeen eri kategoriaan. On monikiteistä, yksikiteistä, ja amorfisesta piistä valmistettuja kennoja. Neljäntenä vaihtoehtona ovat ohutkalvopaneelit, joilla ei ole yhtä hyvä hyötysuhde kuin muilla, mutta ovat parempia pilvisessä säässä.

Käytetyimpiä aurinkopaneeleita tällä hetkellä ovat monikiteiset paneelit. Tämä johtuu siitä että ne ovat halvempia valmistaa kuin yksikiteiset paneelit. Yksikiteisellä paneelilla on kuitenkin hieman parempi hyötysuhde. Mikäli paneelit ovat samankokoisia, niin yksikiteisellä paneelilla on 5-10 % parempi hyötysuhde. Jos tilajonne paneeli asennetaan on kooltaan rajoitettu, kannattaa valita yksikiteinen paneeli. [17] [18]

Nimensä mukaisesti yksikiteinen paneeli on valmistettu yksikiteisestä piistä, kun taas monikiteinen paneeli monikiteisestä piistä. Kuten taulukosta 3.1 voi huomata niin monikiteisen paneelin tunnistaa sinisestä pinnasta, kun taas yksikiteisen paneelin pinta on musta. [17] [18]

Ohutkalvopaneelit ovat uusinta teknologiaa ja ne kehittyvätkin koko ajan. Tällä hetkellä niiden hyötysuhde on kuitenkin vielä huomattavasti huonompi kuin yksitai monikiteisillä paneeleilla. Ne ovat kuitenkin parempia hajavalossa tai pilvisellä säällä. Niiden etu on myös siinä, että ne kestävät pientä taivutusta, näitä ei hirveästi kuitenkaan ole käytössä vielä. [19]

Taulukko3.1. Monikiteisen ja yksikiteisen kennon vertailua.

	Monikiteinen	Yksikiteinen
		
Valmistuskustannukset	Halvempi	Kalliimpi
Valmistusmateriaali	Monikiteinen pii	Yksikiteinen pii
Hyötysuhde	Huonompi	Parempi
Koko (sama teho- tuotto)	Hieman isompi	Hieman pienempi

3.2.2 Aurinkolaturi

Toimiva 12 V:n aurinkopaneelijärjestelmä tarvitsee toimiakseen myös laturin. Mikäli laturia ei kytketä järjestelmään mukaan, saattaa akku tuhoutua. Normaalit aurinkopaneelit tuottavat noin 17-18 V:n jännitteen, ilman kuormaa jopa yli 20 V:n jännitteen. Mikäli akkua ladattaisiin noin suurilla jännitteillä, alkaisi se "kiehua", josta aiheutuisi akun tuhoutuminen. [20] [21]

Lähes kaikki laturit perustuvat samanlaiseen latausalgoritmiin. Aluksi ladataan maksimivirralla sekä noin 14,5 V:n maksijännitteellä ja tietyn ajan kuluttua tai virran pienentyessä siirrytään ylläpitojännitteeseen, joka on 13-13,5 V. Nämä arvot ovat akkujen kannalta yleisesti muuttumattomia, riippumatta siitä millä niitä ladataan. [20][21]

Aurinkopaneelisiin on saatavilla kolmea erilaista laturityyppiä. Yksinkertaisin ja myöskin helpoin valmistaa on keinokuormasäädin. Tämä toimii ns. päälle- tai



pois-painikkeena, joko se lataa akkua tai on lataamatta. Jotta jännite pysyisi vakiona, hukkaa se ylimääräisen tehon lämmöksi esimerkiksi vastuksien avulla. Tätä laturityyppiä ei juurikaan enää käytetä. [20] [21]

Toinen ja varsinkin yksityiskäytössä suosituin laturityyppi on PWM-säädin eli pulssinleveysmodulaatioon perustuva säädin (Pulse Width Modulation). Yksinkertaistetusti se katkoo akulle menevää virtaa, niin että jännite pysyy sopivana. Näiden laturien etu on niiden halpa hinta, mutta lataustehossa ne jäävät huomattavasti MPPT-säätimistä. Markkinoilla on myöskin paljon säätimiä, joita mainostetaan MPPT-säätiminä, mutta eivät todellisuudessa ole sellaisia, vaan juurikin näitä PWM-säätimiä. Nämä tunnistaa helposti alhaisesta hinnasta verrattaessa todellisiin MPPT-säätimiin. [20][21]

Parhaan hyötysuhteen omaava lataussäädin on nimeltään MPPT-säädin. Nimi tulee sanoista Maximum Power Point Tracking. Nimensä mukaisesti se pyrkii tuottamaan parhaimman tehon sisääntulojännitteen mukaan. Voidaan siis ajatella sitä hakkuriregulaattorina, jota säädellään myös tulojännitteen perusteella. Tämän säätimen hyötyvirta on suurempi kuin paneelin oikosulkuvirta, kun taas PWM-säätimellä se on maksimissaan paneelin oikosulkuvirta. Taulukosta 3.2 löytyy muitakin vertailukohteita. [20] [21]

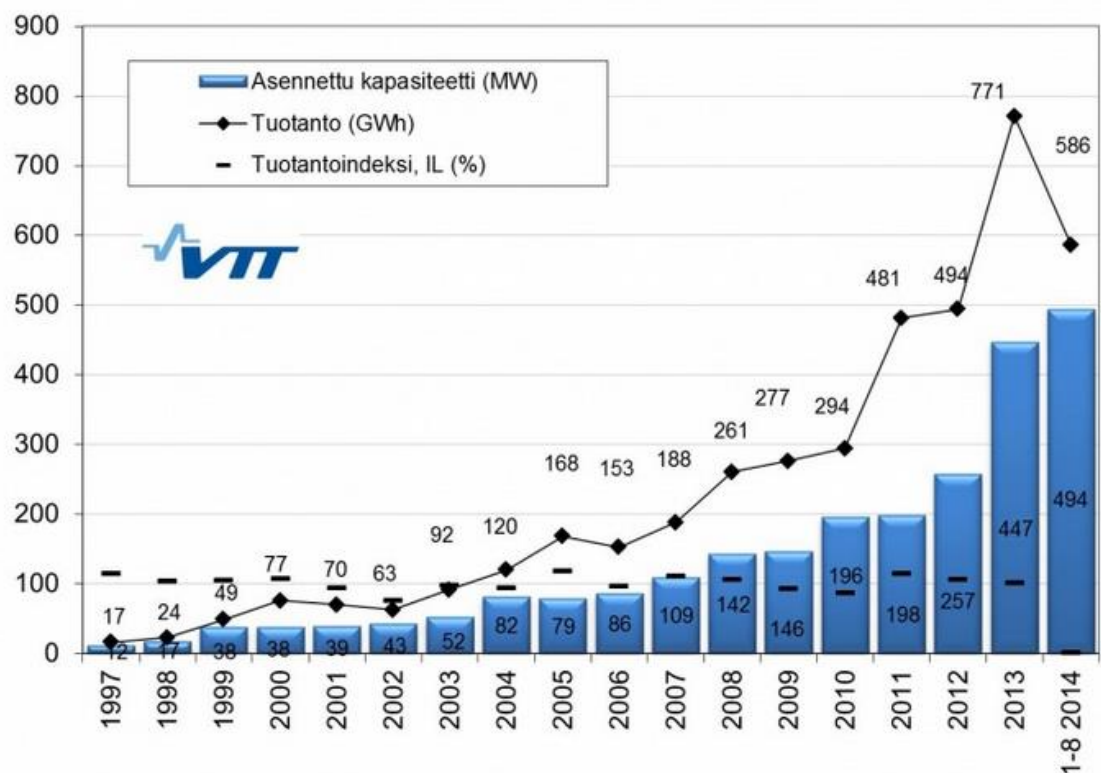
MPPT-säätimiä on kahdenlaisia: aktiivisia ja passiivisia. Aktiivisessa säätimessä tehon mitoitus suoritetaan mikrokontrollerilla. Passiivinen taas tietää ennalta mistä se likimäärin löytyy, eli käyttää vakiojännitettä paneelin kuormituksessa. Varsinkin aktiiviset säätimet saattavat olla hyvin monimutkaisia ja tästä johtuen ne voivatkin maksaa huomattavasti enemmän kuin yksinkertaisemmat PWM-säätimet. [20] [21]

Taulukko 3.2. Aurinkolaturien vertailua.

	PWM-säädin	MPPT-säädin
		
Kennon jännite	Kennon ja akuston jännitteiden pitää olla samat	Kennon jännite voi olla suurempi kuin akuston
Akun jännite	Lataa akkua niin että se toimii hyvin lämpimällä säällä sekä kun akku on lähes täysi.	Kyky ladata akkua ”ylijännitteellä” mikäli ympäristön lämpötila laskee tai akun jännite on alhainen
Järjestelmän koko	Suunniteltu pienille järjestelmille joissa MPPT-säätimen hyöty on minimaalinen	150 W-200 W tai isommille järjestelmille joissa MPPT-säätimen edut tulevat esille
Hinta	Halvempi	Kalliimpi
Hyötysuhde	Huonompi	Huomattavasti parempi

4 TUULIENERGIA

Kun puhutaan tuulienergiasta, tarkoitetaan sillä yleensä energiaa, joka on tuotettu isoilla tuuliturbiineilla. Isoin tähän mennessä valmistettu tuuliturbiini sijaitsee Tanskassa ja se on 8 MW:n voimala. Se on 140 m korkea ja roottorin lapojen pituus on 80 m. Suomessa olevat tuuliturbiinit ovat muutaman megawatin tehoisia. Suomeen on rakennettu vuoden 2014 loppuun mennessä yhteensä 625 MW:n edestä tuulivoimaa. Nämä voimalat tuottivat yhteensä jo 1112 MWh sähköä vuodessa. Kuvaajasta 4.1 voikin havaita, kuinka paljon tuulivoiman käyttö ja rakennus Suomessa on kehittynyt viimeisen muutaman vuoden aikana. [22] [23] [24]

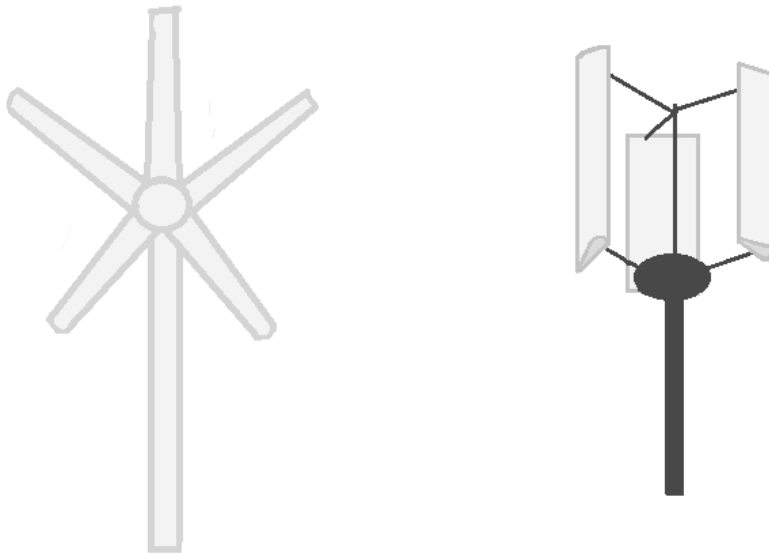


Kuvaaja 4.1. Suomen tuulivoimakapasiteetin ja tuulisähkön tuotannon kehitys vuodesta 1997 alkaen. [24]

Pientuulivoimalalla tarkoitetaan voimalaa, jonka siipien pinta-ala on alle 200 neliometriä. Käytännössä se tarkoittaa alle 50kW:n tuuliturbiineja. Tämän kaltaisia tuuliturbiineja käytetään muun muassa kesämökeillä, maatiloilla ja purjevereissä akkujen lataamiseen. Akustojen jännite voi olla 12, 24 tai 48 V. Joissain tapauksissa käytetään myös 230 V:n sähköjärjestelmää. Tyypilliset kesämökeille asennettavat tuuligeneraattorit ovat muutaman sadan watin tehoisia. Tällöin niiden laipojen halkaisija on noin 2 m:n luokkaa. [25]

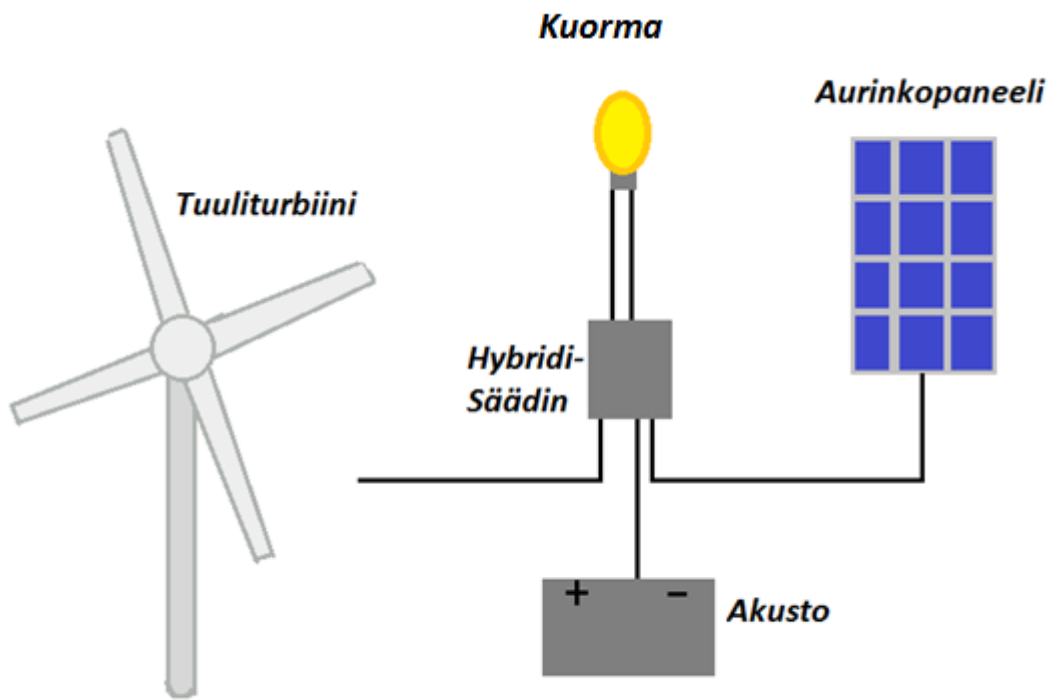
Tuuligeneraattoreita on kahta perustyyppiä; propellimalliset ja pystyroottorimalliset. Propellimalliset turbiinit ovat reilusti yleisempiä ja suositumpia. Niiden suosio perustuu parempaan hyötysuhteeseen, kun pysytään pienissä turbiineissa. Niiden heikkoutena on kuitenkin se, että ne pitää asentaa suoraan tuuleen, esimerkiksi puiden yläpuolelle. Lisäksi pyörivistä siivistä aiheutuva melu on suurempi kuin pystyroottorimallisissa. [26]

Pystyroottorisien mallien etuna on niiden toimivuus pyörteisissä ilmavirtauksissa. Hyvänä puolena niistä voidaan sanoa myöskin, että ne ovat täysin äänettämiä. Niiden hyötysuhde on kuitenkin huomattavasti huonompi kuin propellimallisilla. Huonon hyötysuhteen ja kalliin hinnan takia pystyroottorisia malleja ei juurikaan Suomessa nähdä. Näitä kuitenkin pyritään kehittämään koko ajan juuri yleisten pyörteisten ilmavirtausten takia. [26]



Kuva 4.1. Vasemmanpuoleinen on propellimallinen ja oikeanpuoleinen pystyroottorimallia.

Mikäli tuuliturbiinilla ladataan esimerkiksi 12 V:n akkua, täytyy akun ja turbiinin välissä olla säädin, joka muuntaa turbiinista tulevan vaihtojännitteen tasajännitteeksi, samalla suojellen akkua tai akustoa yllilatautumiselta. Markkinoilla on myös niin sanottuja hybridi-säätimiä, joihin on mahdollista kytkeä sekä tuuliturbiini että aurinkokenno samanaikaisesti. Näin säästytään kahden säätimen hankinnasta. Nämä kunnolliset hybridi-säätimet ovat kuitenkin monesti kalliimpia kuin kaksi erillistä säädintä. Kuvassa 4.2 on esitelty edellä mainitun hybridijärjestelmän toimintaperiaate, jossa siis tuuligeneraattori ja aurinkokennot käyttävät samaa laturia.



Kuva 4.2. Hybridijärjestelmän toimintaperiaate.

5 JÄRJESTELMÄN MITOITUS

Kyseisen mökin järjestelmä koostuu aurinkokennoista, tuuligeneraattorista ja akuista. Tietysti järjestelmään kuuluu aurinkokennojen ja tuuligeneraattorin lauri/säädin, johdotukset ja mahdolliset liittimet. Näillä ei ole kuitenkaan suurta merkitystä järjestelmän mitoituksessa. Mitoituksen pääpaino tulee olemaan aurinkokennoissa ja erityisesti akuissa. Tuuligeneraattoria ei oteta huomioon mitoituksessa koska se on ns. varavoimala, mikäli esimerkiksi aurinko ei sattuisi paistamaan pitkänä aikoina. Tuuligeneraattorin avulla mökillä voidaan myös käyttää sähköjä pitkälle syksyyn, jolloin aurinko ei enää paista kuten kesällä.

Järjestelmä pyritään mitoittamaan siten, että mökillä ollaan pääsääntöisesti vain viikonloppuisin. Sähköä kulutetaan siis kahtena vuorokautena, yhteensä siis 48 tuntia viikossa. Tänä aikana akkujen varaus ei saa laskea liian alhaiseksi. Tavoitteena on, että akusto kerkeää latautua viiden päivän aikana täyteen, joten mikäli viikonloppuna näinä kahden vuorokauden aikana ei paistaisikaan aurinko lainkaan, riittäisi akkujen kapasiteetti haluttuun sähköntarpeeseen.

Mökille olisi tarkoitus saada ainakin seuraavat laitteet: kunnon valaistus, pienenkö led-tv, pieni vesipumppu sekä kannettava tietokone. Näiden lisäksi olisi hyvä olla mahdollista ladata esimerkiksi kännykkää tai muuta vastaavaa laitetta. Mitoitus kannattaa siis tehdä reilusti yläkanttiin, jolloin akuston kapasiteetti ei ainakaan loppuisi kesken.

Järjestelmästä on tarkoitus tehdä 12-volttinen, jolloin valaistus ja vesipumppu on helppo toteuttaa suoraan. Lisäksi laitteille jotka tarvitsevat verkkovirtaa, pitää hommata invertteri, joka muuntaa akulta tulevan 12 VDC:n 230 VAC:ksi.

5.1 Akuston mitoitus

Ensin lasketaan päivittäinen tehonkulutus (wattitunteina). Käytetään tässä apuna taulukkoa 5.1, johon merkitään kaikki sähköä kuluttavat laitteet mökillä ja kuinka

kauan niitä keskimäärin käytetään vuorokaudessa. Näistä saadaan sitten laskettua energiankulutus wattitunteina. Esimerkiksi mikäli led-tv on vuorokauden aikana 3 tuntia päällä ja sen tehonkulutus on 30 W, niin saadaan energiankulutus laskettua seuraavasti: $30 \text{ W} \times 3 \text{ h} = 105 \text{ Wh}$.

Taulukko 5.1 Energiakulutuksen laskeminen

Lukumäärä	Tuote	Teho(W)	Käyttöaika (h)	Energiankulutus (Wh)
3	led-nauha 5m	24	2	144
2	led-spottivalo	9	2	36
1	led-tv	35	3	105
1	pieni vesipumppu	50	0,5	25
1	kannettava tietokone	30	2,5	75
Päivittäinen tehonkulutus yhteensä				385

Koska akkujen virtakapasiteetti ilmoitetaan yleensä ampeeritunteina (Ah), muunnetaan edellä laskettu energiankulutus ampeeritunneiksi. Se onnistuu yksinkertaisesti jakamalla laskettu energiankulutus 12 V:lla. 12 V koska tässä järjestelmässä käytettävät akut ovat 12-voltteja. Siis laskennallisesti: $385 \text{ Wh} : 12 \text{ V} = 32 \text{ Ah}$. Tämän jälkeen kerrotaan vielä saatu 32 Ah kahdella jolloin saadaan koko viikonlopun kulutus $32 \text{ Ah} \times 2 = 64 \text{ Ah}$.

Akustoa valittaessa pitää ottaa huomioon myös, että akkuja ei suositella päästämään aivan tyhjiksi missään vaiheessa. Akun tyypistä riippuen ne kestävät eri lailla niin sanottua syväpurkautumistilaa, jossa ne joutuvat tyhjiksi. Tästä lisää akuston valinta-osiossa. Yleisenä nyrkkisääntönä voidaan pitää että kesäisin akun kokonaiskapasiteetista ei kannattaisi käyttää yli 70 prosenttia, kun taas talvella vastaava luku on vain 50 prosenttia. Esimerkiksi tässä tapauksessa pienin

mahdollinen akku olisi pyöristetysti 90Ah:n akku, mikäli siis järjestelmää käytettäisiin vain kesäisin.

5.2 Paneelin mitoitus

Tarkoituksena on, että aurinkopaneelit pystyvät lataamaan akut täyteen ennen seuraavaa käyttökertaa. Tässä tapauksessa, kun mökkiä käytetään pääasiassa vain viikonloppuisin, pitää akkujen latautua noin viiden päivän aikana täyteen. Edellä on laskettu kuinka suuri akuston pitäisi olla, jotta viikonlopun sähköntarve riittää. Tämän jälkeen lasketaan tälle akustolle tarvittava aurinkokenno/kennosto, nimenomaan niin että aurinkokenno/kennosto pystyy lataamaan akun täyteen viiden vuorokauden aikana.

Koska erityisesti yli 100 W:n ja suurempien aurinkokennojen hinnat ovat laskeutuneet viime vuosina merkittävästi verrattuna pienempiin tehoisiin kennoihin, ei tähän tarkoitukseen kannata edes harkita alle 100 W:n kennoa. Lähdetään siis mitoittamaan systeemiä sillä periaatteella, että riittääkö yksi 100 W:n aurinkokenno vai tarvitaanko kennoja lisää. Kuvassa 5.1 ja taulukossa 5.2 on simuloitu karkeasti tämän yhden kennon tuottama energia wattitunteina päivässä, viikossa ja niin edelleen.[27]

The screenshot displays a web-based PV estimation tool. On the left, a map shows the location of Uusikaupunki, Finland, with a red pin. The right panel is titled 'Performance of Grid-connected PV' and contains the following settings:

- Radiation database:** Classic PVGIS
- PV technology:** Crystalline silicon
- Installed peak PV power:** 0.1 kWp (100 watin paneeli)
- Estimated system losses:** 14% (arvioitu hukka %)
- Fixed mounting options:**
 - Mounting position:** Free-standing (asennustapa)
 - Slope:** 41° (Optimize slope asennuskulma)
 - Azimuth:** 0° (Also optimize azimuth)
- Tracking options:**
 - Vertical axis: Slope 0° (Optimize)
 - Inclined axis: Slope 0° (Optimize)
 - 2-axis tracking:
- Horizon file:** No file selected
- Output options:**
 - Show graphs:
 - Show horizon:
 - Web page:
 - Text file:
 - PDF:

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

Kuva 5.2. Aurinkopaneelin mitoitusta. [27]

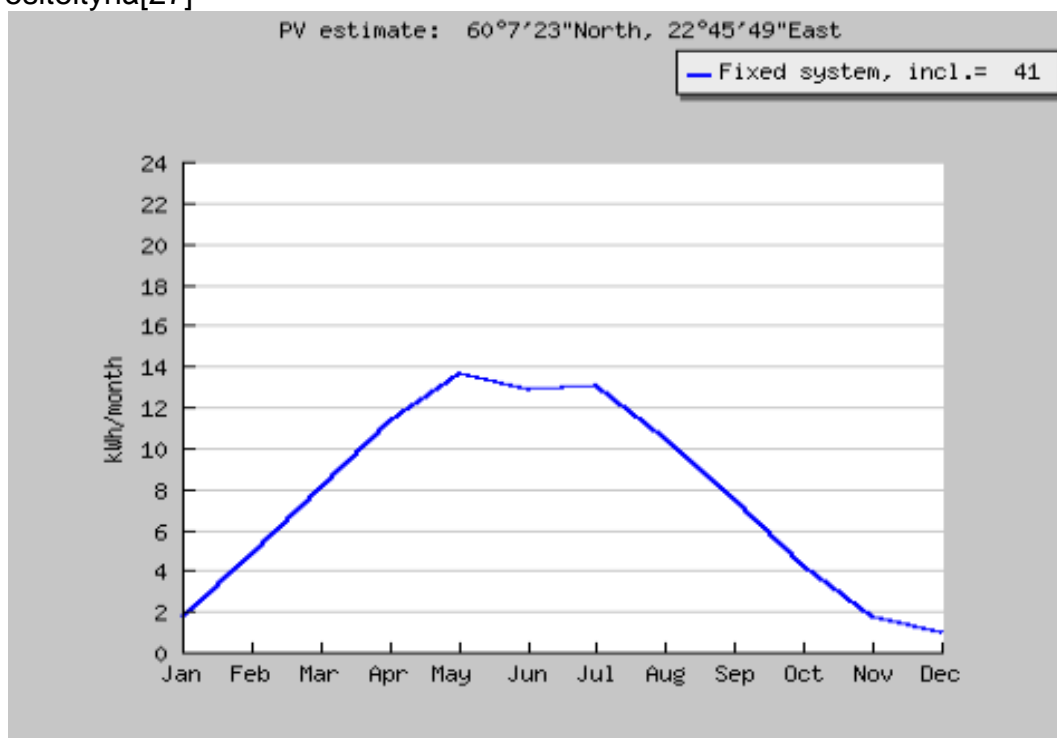
Kun kyseiset arvot on syötetty ohjelmaan saatiin seuraavat tulokset taulukoitua:

Taulukko 5.2. 100 W:n paneelin tuottama energia (kWh) eri kuukausina päivittäin ja kuukausittain. [27]

Fixed system: inclination=41°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.05	1.69	0.63	19.5
Feb	0.17	4.76	1.98	55.5
Mar	0.26	8.09	3.15	97.6
Apr	0.38	11.4	4.76	143
May	0.44	13.6	5.77	179
Jun	0.43	12.8	5.78	173
Jul	0.42	13.1	5.78	179
Aug	0.34	10.5	4.55	141
Sep	0.25	7.45	3.23	96.8
Oct	0.14	4.25	1.70	52.6
Nov	0.06	1.70	0.68	20.3
Dec	0.03	0.954	0.36	11.1
Yearly average	0.247	7.52	3.20	97.4
Total for year		90.3		1170

Taulukossa 5.3 on vielä esitelty sama graafisena:

Taulukko 5.3. 100 W:n paneelin tuottama energia (kWh) kuukausittain graafisesti esiteltynä[27]



Kyseisistä simulaatioista voidaan nähdä, että 100 W:n paneeli tuottaa keskimäärin 400 Wh päivässä kesäkuukausina. Kun tämä luku kerrotaan viidellä saadaan paneelin koko ”arkiviikon” tuottama teho: $400 \text{ Wh} \times 5 = 2\,000 \text{ Wh}$. Seuraavaksi pitää tarkistaa että riittääkö tuo 2 000 Wh täyttämään edellä lasketun 90 ampeeritunnin akun viidessä päivässä. Muunnetaan siis 90 ampeerituntia wattitunneiksi: $90 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1\,080 \text{ Wh}$. Näin laskemalla todettiin että yksi 100 watin paneeli riittää reilusti täyttämään 90 ampeeritunnin akun 5 päivän aikana. Itse asiassa tämä yksi paneeli riittäisi täyttämään kyseisen akun vaikka aurinko paistaisi vain puolet ajasta, koska se tuottaa 2 000 Wh ja akkuun voi varata vain 1 080 Wh. Mikäli viikonloppuisin paistaisi aurinko, olisi se vain hyvä lisä, sitä ei siis vaaditaisi.

6 JÄRJESTELMÄN OSIEN VALINTA JA ASENNUS

Järjestelmän eri moduulien mitoittamisen jälkeen valitaan järjestelmän osat. Toisin sanoen valitaanko järjestelmään esimerkiksi yksi- vai monikiteinen aurinkopaneeli tai pitääkö akun olla esimerkiksi vapaa-ajan akku vai normaali auton käynnistysakku. Tässä luvussa myös pohditaan, miten kaapelien pituudet, liittimet ja muut pienet yksityiskohdat vaikuttavat järjestelmän toimintaan. Aluksi käydään läpi jokainen systeemin moduuli yksilöllisesti ja lopuksi kytketään moduulit yhdeksi järjestelmäksi.

Lopuksi myös pyritään asentamaan järjestelmä mahdollisimman toimivaan kuntoon. Tässä kaikessa otetaan toki myös huomioon kustannustekniset seikat. Näin ollen ei välttämättä valita kaikkein suorituskykyisintä ja kalleinta laitetta, vaan lähinnä se laite, jolla on mahdollisimman hyvä hinta-laatusuhde.

6.1 Aurinkokennoston valinta ja asennus

Valitsin tähän projektiin kaksi 100 W:n paneelia. Mitoitusten perusteella toki yksi 100 wattinen olisi riittänyt. Kuitenkin koska aurinkopaneelijärjestelmissä on aina syytä ylimitoittaa varmuuden vuoksi lähes kaikki, päätin tuplata kennojen määrän. Paneelit asennetaan tietenkin rinnan, jolloin kennoston jännite pysyy akuston vaatimassa 12 V:a. Taulukossa 6.1 on paneelien tärkeimpiä ominaisuuksia.

Taulukko 6.1. Valitsemieni paneelien ominaisuuksia.

Related power	100W
Voc	21.6V
Vop	18V
Short circuit current (Isc)	6.11A
Working current (Iop)	5.55A
Output Tolerance	±3%
Temperate coefficient of Isc	(010+/- 0.01) %/°C
Temperate coefficient of Voc	- (0.38 +/-0.01) %/°C
Temperate coefficient of power Voc	-0.47%/< /span>°C
Temperature range	- 40°C to +80°C
Frame	Heavy duty aluminum
Kind of connection	waterproof junction box, can be customized
Guarantee of power	90% within 10 years 80% within 25 years
Kind of glass and its thickness	Low Iron, high transparency tempered glass of 3.2mm
SLA Battery Voltage	12V
Size	1000x665x36mm

Valitsin monikiteiset paneelit, koska niitä on tällä hetkellä paljon enemmän markkinoilla ja ne ovat siten halvempia. Koska paikka, jolle paneelit asennetaan on tilava pinta-alaltaan, on parempi valita monikiteinen. Monikiteisellä kennolla on siis hieman huonompi pinta-alan ja tehon suhde.

Paneelit asennettiin mökin katolle kuvan 6.1 mukaisesti. Asennusvaiheessa tulee huomioida katon kaltevuuskulma. Kuten jo edellä mainittiin, ideaalinen kulma, johon paneelit asennetaan, olisi 35–45°. Tässä tapauksessa katon kaltevuuskulma oli juuri sopiva, 41°. Täten paneeleille ei jouduttu rakentamaan erillistä telinettä, jotta kulma olisi saatu sopivaksi.



Kuva 6.1. Aurinkopaneelit asennettuna mökin katolle.

Paneeleja ei kuitenkaan ole hyvä asentaa aivan suoraan kattoa vasten, vaan on hyvä jättää muutaman senttimetrin rako katon ja paneelien väliin. Näin tuuli pääsisi jäähdyttämään kennoja, jotta ne eivät kuumentuisi liikaa. Mikäli kennot kuumentuvat liikaa, alkaa niiden hyötysuhde laskea. Niinpä rakensin paneeleille pienen telineen kyllästetystä puutavarasta (kuva 6.2). Koska kyseessä oli huopakatto, jolle paneelit asennettiin, oli telineen teko lähes pakollista. Näin piti toimia, koska huopakattoon ei mielellään tehdä minkäänlaisia reikiä, kuten esimerkiksi ruuvien reikiä, joista vesi pääsisi valumaan kattorakenteisiin. Siispä kiinnitin kehi-
kon ratkaisumassalla kattoon kiinni. Jotta kehikko varmasti pysyisi katolla, porasin myös muutaman ruuvien kehikosta räystäällä olevaan katon osaan kiinni. Näin vältetään ainakin edellä mainituilta vesivahingoilta



Kuva 6.2. Aurinkopaneelien teline.

6.2 Aurinkopaneelin lataussäätimen valinta sekä asennus

Tähän tarkoitukseen sopivia säädintyyppejä on valittavana 4 erilaista. Ne ovat keinokuormasäädin, PWM-säädin, MPPT-säädin sekä hybridisäädin. Näiden kaikkien edut ja haitat käytiin edellä läpi ja todettiin että parhaan mahdollisen lataustehon antaa MPPT-säädin. Toki myös hybridisäädin, joka on varusteltu MPPT-toiminolla, antaa saman lataustehon. Tällainen hybridisäädin on kuitenkin turhan kallis ja lisäksi sille ei ole suurta tarvetta, koska tuuligeneraattori toimii lähinnä vain varavoimalana, aurinkopaneelien hoitaessa suurimman tehontuoton. Näin ollen päädyin siis valitsemaan MPPT-säätimen.

Säädintä valittaessa pitää ottaa muutama asia huomioon. Taulukon 6.1 avulla säätimelle on helppo koota kriteerit, jotka sen täytyy täyttää. Ensinnäkin säätimen pitää kestää kennostolta tuleva yli 10 A:n virta. Toiseksi täytyy varmistaa että säätimeen saa kytkeä yhteensä 200 W:n edestä kennoja. Näiden lisäksi täytyy varmistaa, että säädin on tarkoitettu 12 V:n järjestelmiin eikä 24 V:n järjestelmiin. Näiden kriteerien perusteella päädyin valitsemaan tracerin 2210RN- mallisen

MPPT-säätimen (kuva 6.3). Kyseinen malli siis pystyy vastaanottamaan ja lataamaan akustoa 20 A:n virralla ja toimii automaattisesti sekä 12 V:n että 24 V:n järjestelmissä. Säätimen mukaan tulee myös pieni näyttötaulu, joka liitetään säätimeen kaapelin avulla. Näyttötaulusta näkee muun muassa akun varauksen tason, latausjännitteen sekä latausvirran. Taulukossa 6.2 on listattu säätimen tärkeimpiä tietoja ja ominaisuuksia.[28]



Kuva 6.3. Valitsemani Tracer 2210RN MPPT-säädin sekä näyttömoduuli.

Taulukko 6.2. Säätimen tärkeimpiä tietoja ja ominaisuuksia.

MODEL	Tracer-2210RN	Features:
Rated system voltage	12/24V auto work	- Peak conversion efficiency of 97%
Rated battery current	20A	- High Tracking efficiency of 99%
Rated load current	20A	- Temperature compensation
Max. battery voltage	32V	- automatically recognize day/night
Max. PV open circuit voltage	100VDC	Electronic Protections:
Max. PV input power	12V 260W, 24V 520W	- PV short circuit protection
Working temperature	-35°C ~ +55°C	- PV reverse polarity protection
		- PV overvoltage alarm protection
		- PV over current protection
		- Battery overcharge protection
		- Battery over discharge protection
		- Battery reverse polarity protection
		- Load short circuit protection
		- Load overload protection

Säätimen asennuksessa tulee ottaa huomioon, että se asennetaan mahdollisimman lähelle akustoa ja aurinkokennoja. Tämä siksi, että välttyään turhilta tehohäviöiltä, joita koituu liian pitkistä kaapelivedoista. Lisäksi säätimen jäähdytyksen kannalta pitää huolehtia että ilma pääsee kiertämään säätimen alta, jossa on jäähdytysiilit. Säädin asennettiin omaan sähkökeskukseen sisätiloihin. Tästä lisää vielä järjestelmän kokoonpanoluvussa (ks. luku 7).

6.3 Akuston valinta ja asennus.

Koska akusto on tärkein osa tätä järjestelmää, tulee sen valintaan kiinnittää erityistä huomiota. Valittavissa on karkeasti kaksi erilaista akkutyyppeä. On perinteinen autoissa käytettävä starttiakku, sekä nimenomaan vapaa-aikaan tarkoitettu uudemmalla teknologialla varustettu AGM-akku. Starttiakkua voidaan kyllä käyttää kyseisessä järjestelmässä, mutta se ei ole suotavaa. Starttiakku on kehitetty antamaan hetkellisesti suuria ampeerimääriä ja ei siksi kestä syväpurkausta eikä syklistä käyttöä, jollaista tämä järjestelmä saattaa aiheuttaa. AGM-akku taas on

suunniteltu kestämaan juuri tällaisia ilmiöitä. AGM-akut myöskin ottavat helpommin virtaa vastaan.

AGM-akun lyijyelektrodien välissä on lasikuitukudos. Tässä kudoksessa happi liikkuu yhdistyen vetyyn negatiivisen elektrodin pinnalla. Kyseinen kemiallinen reaktio synnyttää vettä ennen räjähdyskaasun muodostumista. Näin ollen AGM-akkuun ei tarvitse lisätä ikinä vettä ja sen kuori onkin täysin eristetty. Näin ollen AGM-akkuja kutsutaankin huoltovapaiksi. AGM-akun teknologia mahdollistaa akun uudelleenlataamisen jopa 800 kertaa. Hyvänä vertailukohteena tähän voidaan pitää normaaliakun 300 kertaa. AGM-akkujen hyvänä puolena voidaan pitää myös sitä, että ne eivät muodosta minkäänlaisia kaasuja. Näin ollen ne voidaan asentaa myös sisätiloihin. [29] [30] [31]

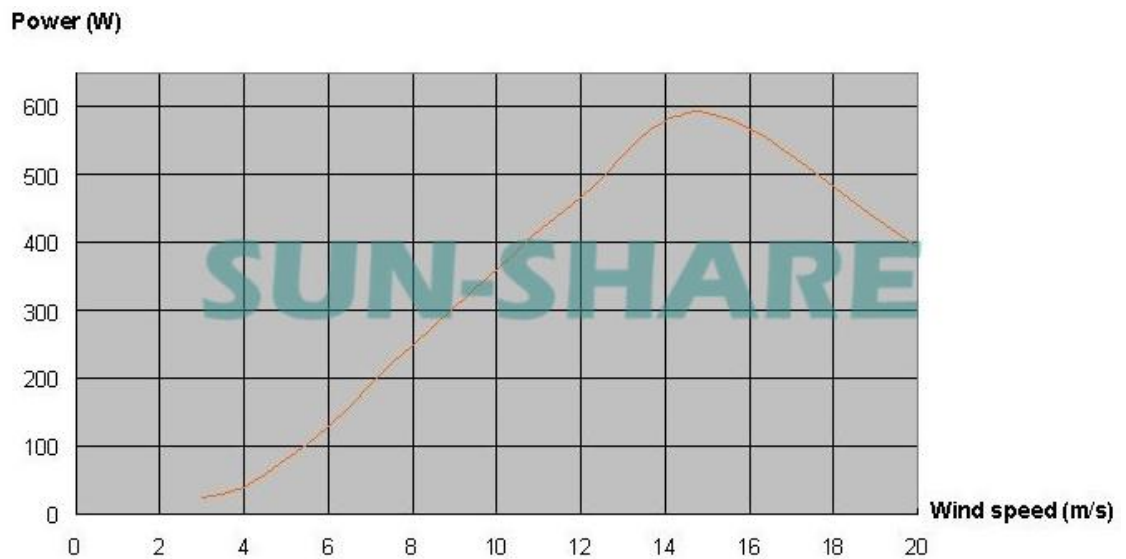
Edellä on mitoitettu, että tämän järjestelmän pienin mahdollinen akku olisi kooltaan 90 Ah. Kuitenkin koska monesti on jo mainittu, että aurinkopaneelijärjestelmät tulisi ylittää reilusti, valitsin projektiin 180 Ah:n AGM-akun. Akun valmistaja on Varta ja sillä on 4 vuoden takuu.

Akun asentamisessa piti ottaa huomioon, että kaapelien pituudet jäävät mahdollisimman pieniksi tehohäviöiden takia. Koska paneelit asennettiin mökin katolle, paras mahdollinen paikka akulle olisi ollut ullakolla. Mökissä ei kuitenkaan ollut minkäänlaista ullakko-tilaa, joten akku jouduttiin asentamaan mökin alle ulkotiloihin omaan koteloonsa.

6.4 Tuuligeneraattorin valinta sekä asennus.

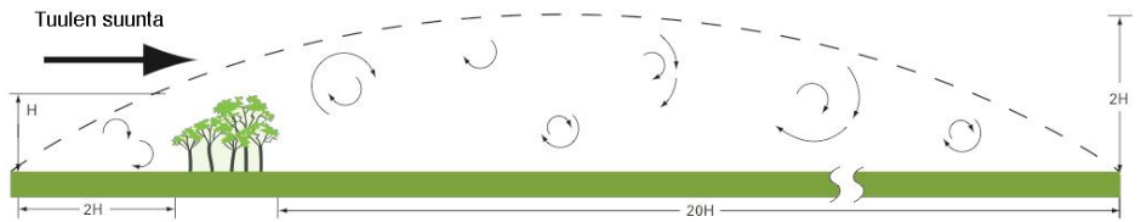
Kuten jo edellä on mainittu, pientuuligeneraattoreita on kahdenlaisia, on propellimallisia ja pystyroottorimallisia. Lähinnä paremman hyötysuhteen ja saatavuuden takia, valitsin tähän projektiin propellimallisen tuuligeneraattorin. Se on Sun Sharen valmistama SSF-400-mallinen, maksimissaan 600 W tuottava, viisilapainen tuuligeneraattori. Kuvaajassa 6.4 on kuvattu kyseisen generaattorin teho tuulen nopeuden suhteen. Kuvasta nähdään, että tehon tuotto alkaa tuulen nopeuden ylittäessä 3 m/s. Kun tuulen nopeus ylittää 16 m/s alkaa generaattori automaattisesti jarruttaa sähkömagneettisen jarrunsa avulla. Jarrituksen alkaessa, alkaa

myös tehontuotto laskea. Jarrutusmekanismi on kuitenkin pakko olla olemassa, jotta generaattori pysyisi ehjänä kovissakin tuulissa. Generaattorin mukana tuli myös lataussäädin, jonka avulla generaattorilta tuleva kolmivaihevaihtovirta saadaan muunnettua akulle sopivaksi 12 V:n tasajännitteeksi. Säädin myös suojaa akkua yllilatautumiselta.



Kuvaaja 6.4. tuuligeneraattorin teho tuulen nopeuden suhteen.

Tuuligeneraattorin asennuksessa tuli ottaa huomioon, että paikka johon se asennettiin olisi mahdollisimman avara, toisin sanoen paikka jossa tuulisi mahdollisimman paljon ja mahdollisimman lujaa. Tuuligeneraattorin teho voidaan laskea kaavasta $P = 0,5 \times \rho \times C_p \times A \times v^3$. Kaavasta nähdään, että tuulennopeuden kaksinkertaistessa kasvaa generaattorin tuottama teho kahdeksankertaiseksi. Mikäli voimala asennettaisiin 3 m:n korkeuteen, pitäisi sen edessä olla vähintään 30 m puutonta ja esteetöntä tilaa. Mikäli tuo ehto ei toteutuisi, syntyisi tuuligeneraattorin eteen sille haitallisia pyörteisiä ilmavirtauksia, jolloin teho pienentyisi. Pyörteisten virtausten syntyä on selvennetty kuvassa 6.5. [32]



Kuva 6.5. Mikäli tuuligeneraattori asennetaan korkeuteen $2H$, pitää sen edessä olla tyhjää tilaa vähintään $20H$:n verran. [32]

Tässä projektissa tuuligeneraattori asennettiin järven rannalle, aivan veden äärelle. Tällöin generaattorin edessä ei ainakaan ole mitään esteitä, jotka voisivat pienentää tehontuottoa. Miinuspuolena tässä asennuksessa voidaan pitää suhteellisen pitkää kaapelivetoa rannasta mökin alla sijaitsevaan akkuun.

6.5 Kaapelien mitoitus

Tärkein mitoitettava kaapeli on paneelilta säätimelle tuleva. Se pystytään laskemaan seuraavalla kaavalla:

$$\frac{\text{matka}(m) \cdot \text{virta}(A)}{30} = \text{kaapelinpaksuus} (mm^2)$$

Tässä tapauksessa siis $(10 \text{ m} \times 11 \text{ A}) / 30 = 3,67 \text{ mm}^2$. Lähin tulosta vastaava markkinoilla oleva kaapelinkoko on 4 mm^2 . Kuitenkin koska kaikki on hyvä ylimittotaa, valitaan kaapeliksi 6 mm^2 :n paksuinen.

Kaikkiin muihin kaapeleihin jotka ovat yhteydessä 12 V :n järjestelmään, voidaan käyttää seuraavaa kaavaa:

$$\frac{\text{matka}(m) \cdot \text{virta}(A)}{15} = \text{kaapelinpaksuus} (mm^2)$$

Lasketaan esimerkiksi led-nauhan ja akun välisen kaapelin paksuus. Led-nauha kuluttaa virtaa $24 \text{ W} / 12 \text{ V} = 2 \text{ A}$ jolloin kaapelinpaksuus on $(3 \text{ m} \times 2 \text{ A}) / 15 = 0,4 \text{ mm}^2$. Valitaan siis 1 mm^2 :n kaapeli.

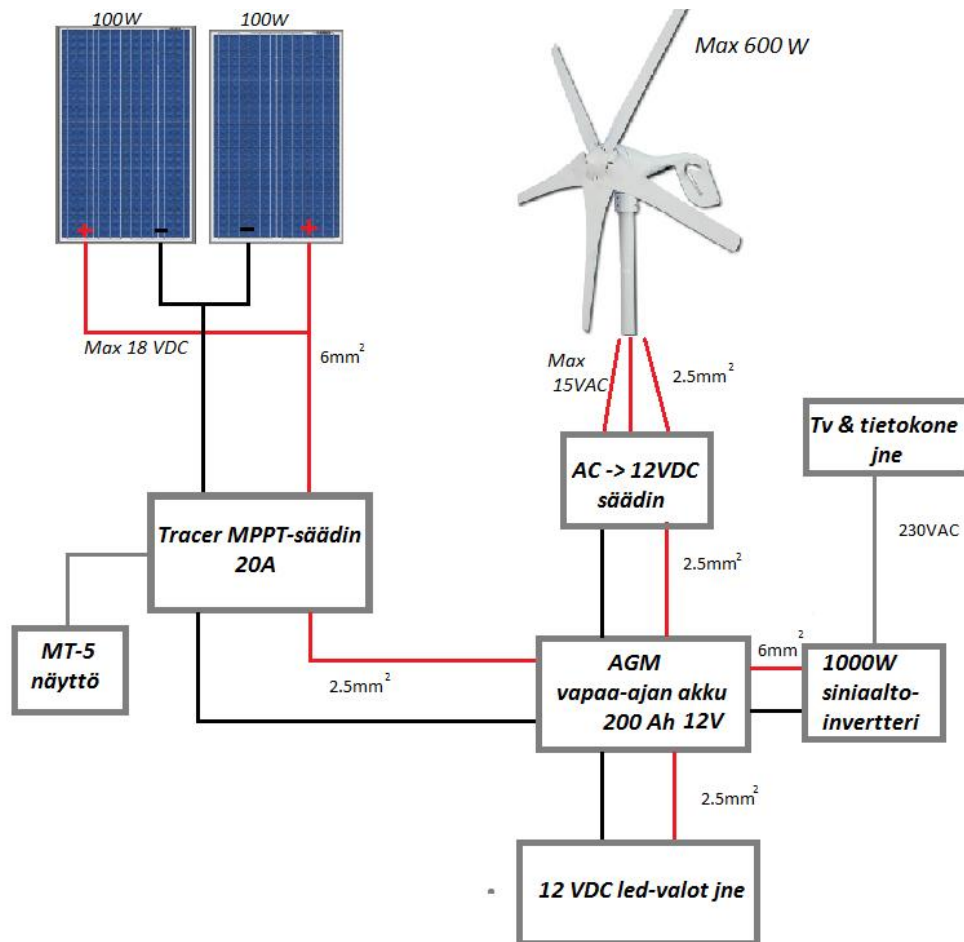
Edellisten esimerkkien kaavat ovat lähes samanlaisia. Ainoana erona niissä on luku, jolla jaetaan lauseke. Paneelin ja säätimen välisessä kaapelissa 30 ja muissa 15. Tämä ero johtuu siitä että paneelilta tulee normaalisti reilusti yli 12 V:n jännitettä, välillä jopa lähelle 20 V:n. Tästä voidaankin päätellä, että mikäli rakennettaisiin 24 V:n järjestelmää, pärjättäisiin pienemmillä kaapeleilla.

7 JÄRJESTELMÄN KOKOONPANO

Kun kaikki osat systeemiin on mitoitettu, valittu sekä asennettu paikoilleen, on aika yhdistää ne toimivaksi järjestelmäksi. Aurinkokennot kytketään rinnan, jotta järjestelmän jännite pysyy noin 12 V:ssa. Kennoilta vedetään kaapelit säätimen kautta akulle. Sama tehdään myös tuuliturbiinin kohdalla.

Akulta taas vedetään kaapelit 12 V:n valaistukselle kytkimien kautta. Jääkaappi liitetään myös akkuun oman kytkimensä kautta. Valoille ja jääkaapille asennetaan myös omat sulakkeensa. Lisäksi akulta johdetaan kaapelit 1 000 W:n sini-aaltoinvertterille. Myös tämä tehdään kytkimen kautta, jotta invertteri voidaan kytkeä pois käytöstä kun sitä ei tarvita. Tämä siksi, että invertterin tyhjäkäyntivirta on 0,5 A:n luokkaa, säästetään siis sähköä.

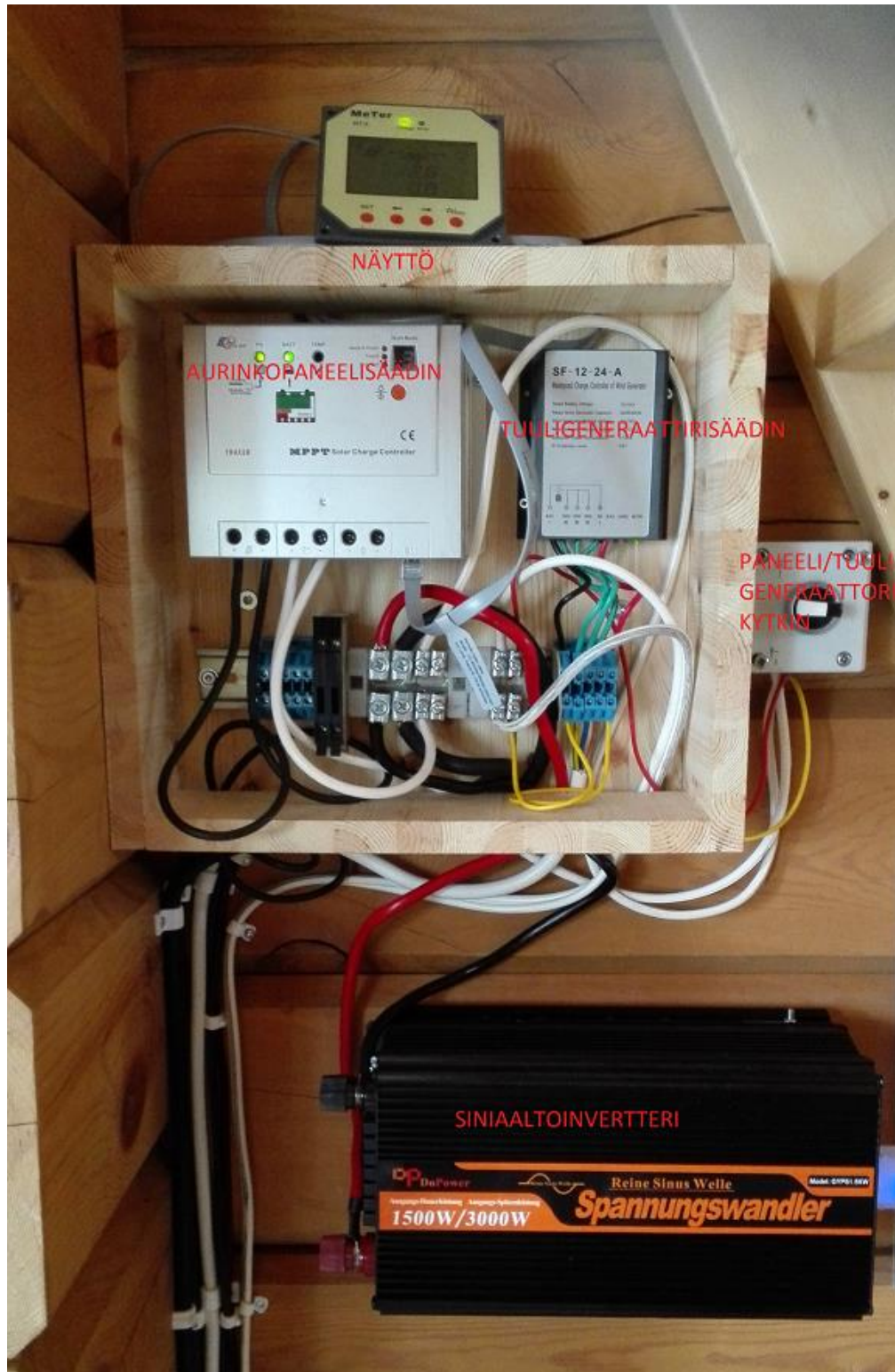
Aurinkokennosäätimen mukana tullut näyttö asennetaan seinälle, näin siitä on helppo tarkastella esimerkiksi akun varauksen tasoa. Kuvassa 7.1 on esitetty järjestelmän kytkentä sekä johtojen paksuudet.



Kuva 7.1 Järjestelmän kytkentä.

Kuvasta poiketen mökin sisätiloihin tehtiin pieni sähkökeskus (kuva 7.2), jonka kautta kaikki kaapeloinnit vedettiin. Tekemällä keskus säästyttiin ylimääräisiltä kaapelivedoilta mökin ulkopuolella olevan akun ja mökin sisäpuolella olevien säätimien välillä. Keskuksen avulla saatiin myös mökin sisätilat siistimmän oloiseksi, kun kaikki järjestelmän osat ovat samassa paikassa, siistissä kotelossa.

Keskuksen asennettiin myös aurinkopaneeleille sekä tuuliturbiinille omat kytkimensä, joiden avulla ne voidaan kytkeä pois järjestelmästä. Näin tehtiin, koska ei tiedetä aiheuttaako akun lataaminen kahden eri säätimen kautta jonkinlaisia ongelmia.



Kuva 7.2 Hieman keskeneräinen sähkökeskus.

8 JÄRJESTELMÄN TESTAUS JA MITTAUKSET

Järjestelmää lähdettiin testaamaan ensin kytkemällä pelkästään aurinkokennot säätimen kautta akkuun. Ensimmäiseksi mitattiin kennojen ja säätimen välisiä arvoja, jotka on listattu taulukkoon 8.1

Taulukko 8.1 Kennojen ja säätimen välisiä arvoja.

	Aurinkoinen sää	Pilvinen sää	Spekseissä luvattu arvo (ideaali tilanne)
Oikosulku jännite	20,2 V	19,5 V	21,6 V
Jännite kuormituksessa	15,5 V	13,8 V	18 V
Virta kuormituksessa (säätimen ladatessa akkua täydellä teholla)	9,3 A	1,2 A	$5,55 \text{ A} \times 2 = 11,1 \text{ A}$

Aurinkokennojen osalta kaikki näytti toimivan kuten pitikin. Kahden kennon yhteenlaskettu teho kuormitettuna on siis $15,5 \text{ V} \times 9,3 \text{ A} = 144,15 \text{ W}$. Luvattua 200 W ei kennoista saatu tulemaan. Suurin syy siihen varmastikin on kennojen lämpeneminen, jolloin niiden tehontuotto laskee.

Seuraavaksi suoritettiin mittaukset (taulukko 8.2) tapauksessa, jossa oli kytkettynä pelkästään tuuligeneraattori oman säätimensä kautta akkuun.

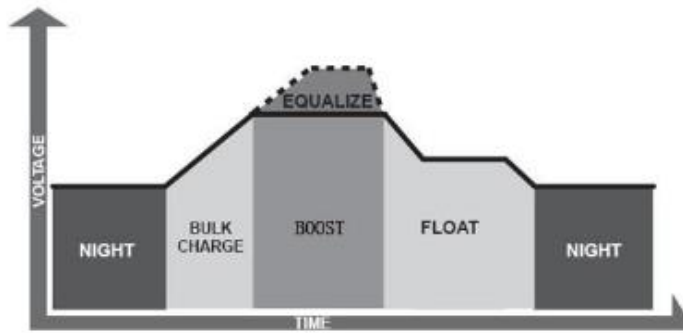
Taulukko 8.2 Tuuligeneraattorin ja säätimen välisiä arvoja.

	Tuulennopeus noin 6 m/s	Tuulennopeus noin 10 m/s
Openloop jännite	18 VAC	22 VAC
Jännite kuormituksessa	10,8 VAC	13,8 VAC

Tuuligeneraattorin toiminta perustuu kolmivaiheiseen kestopagneettigeneraattoriin. Kestomagneettigeneraattori tuottaa kolmivaihevirtaa, joka muunnetaan tasajännitteeksi säätimen avulla. Jokaisen vaiheen välinen jännite on siis sama ja muuttuu tuulen nopeuden vaihtuessa. 12 V:n järjestelmässä tuuligeneraattorin suurin teho on 300 W. Mikäli järjestelmä olisi 24-volttinen saataisiin generaattorista irti 600 W.

Aurinkopaneelisäätimen toiminta/mittaus

Säätimen toiminta perustuu neljään erilaiseen lataustilaan. Ensimmäinen on täysi lataustila, jolloin akun jännite on vielä boost-lataustilan alapuolella. Täydessä lataustilassa on käytössä kaikki kennoilta tuleva teho. Toinen lataustila on ns. ”boost-tila”, joka kytkeytyy päälle akun jännitteen ylittäessä säädetyt rajat. Tämä tila kestää 120 minuuttia. Kolmas lataustila on ns. kelluntatila, joka kytkeytyy päälle boost-tilan jälkeen. Kelluntatilassa latausvirta sekä latausjännite laskevat. Näin estetään akun yllilatautuminen ja vaurioituminen. Mikäli akun jännite laskee varauksen johdosta säätimen ollessa kelluntatilassa, kytkeytyy täysilataustila päälle. Neljäs tila on yö tila, jolloin säädin kytkeytyy virransäästö tilaan. Säädin oppii itsestään muutaman vuorokauden käytön jälkeen, milloin yö tilan kuuluu kytkeytyä. Kuvaajassa 8.3 on selvennetty neljän erilaisen tilan kiertokulkua. [35]



Kuvaaja 8.3 Säätimen eri lataustilat. [35]

Tuuligeneraattorin säätimen toiminta/mittaus

Säätimen toiminta perustuu jännitteen katkomiseen. Latausjännitteen ylittäessä noin 15 V alkaa säädin jarruttaa generaattoria. Hidastus tapahtuu sähkömagneettisen jarrun avulla. Kun akun jännite on alittanut noin 13 V:n, alkaa säädin taas ladata akkua, kunnes 15 V on saavutettu. Nämä arvot siis pitävät paikkansa kun järjestelmän jännite on 12 V. Mikäli järjestelmän jännite olisi 24 V olisivat arvot kaksinkertaiset.

Säätimien yhteistoiminta

Tuuligeneraattorin säätimen ”tyhmyydestä” sekä aurinkopaneelisäätimen ”viisaudesta” johtuen niitä ei kannata käyttää samanaikaisesti. Aurinkopaneelisäätimen eri lataustilat menevät sekaisin tilanteissa, joissa toinen säädin alkaa myös ladata akkua. Näin ollen joudutaan käyttämään kytkintä, jolla valitaan kumpaa säädintä käytetään akun latauksessa. Aurinkoisella säällä käytetään tietysti aurinkopaneelisäädintä ja tuulisella säällä taas tuuligeneraattorisäädintä.

9 POHDINTA

Työn tavoitteet täyttyivät mielestäni mittauksia lukuun ottamatta hyvin, erityisesti aurinkopaneelien osalta lopputulos oli erinomainen. Aurinkopaneelit tuottivat lähes sen tehon, joka spekseissä oli luvattu, ja säädin toimi kuten pitikin. Lisäksi sähkökeskuksen ansiosta lopputuloksesta saatiin hyvin toimiva ja helppokäyttöinen systeemi. Systeemiin on esimerkiksi helppo lisätä uusia laitteita ylimääräisten riviliittimien ansiosta. Aurinkopaneelisäätimen mukana tulleen näytön avulla on myös todella helppoa seurata sähkön kulutusta ja näin ollen vältetään tilannetta, jossa akun varaus pääsisi liian alhaiseksi.

Kuten jo mittauksissakin todettiin, aurinkokennojen säädintä sekä tuuligeneraattorin säädintä ei kannata käyttää yhtäaikaisesti. Systeemiä voitaisiin optimoida paremmaksi asentamalla kahden erillisen säätimen tilalle yksi niin sanottu hybridisäädin, johon sekä aurinkopaneeli että tuuligeneraattori kytkettäisiin. Hybridisäätimen korkean hinnan takia se kannattaisi suunnitella ja rakentaa itse. Suunnittelussa tulisi ottaa ainakin huomioon, että säätimen läpi saattaisi kulkea suuriakin virtoja. Esimerkiksi mikäli olisi samaan aikaan sekä tuulinen että aurinkoinen sää, kulkisi säätimen läpi yli 20 A:n virta. Näin ollen ainakin säätimen jäähdytyksen pitäisi olla kunnossa.

Mittausten osalta aika hieman loppui kesken. Varsinkin tuuligeneraattorin osalta oli mittauksia hankala saada tehtyä, koska tuulen nopeus oli aina hyvin alhainen päästessäni tekemään mittauksia. Myöskin varauksen osalta olisi ollut mukava päästä tekemään muutamat mittaukset. Toisaalta taas siitä tuskin olisi ollut mitään hyötyä lopputuloksen kanssa, koska lopputulos kuitenkin oli varsin hyvä.

10 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin, mitoitettiin sekä asennettiin aurinkopaneelijärjestelmä sekä tuuligeneraattori mökille Uudenkaupungin saaristoon. Lisäksi projektin alussa tutustuttiin uusiutuvan energian käyttöön Suomessa sekä perehdyttiin siihen käytettävien laitteiden ja menetelmien käyttöön. Lopuksi vielä suoritettiin mittaukset, joita verrattiin mitoitusten kanssa.

Kyseisen järjestelmän ansiosta mökillä on nyt mahdollista käyttää suunnittelu- vaiheessa vaadittuja laitteita, kuten led-valoja ja televisiota. Lisäksi muitakin laitteita, joita ei otettu huomioon mitoituksissa, on mahdollista käyttää järjestelmän ylimitoituksen ansiosta. Järjestelmän osat myös valittiin niin, että mikäli sähkön tarve mökillä tulevaisuudessa kasvaa, on sähkön tuotantoa helppo kasvattaa jatkossa.

Työn perusteella voidaan todeta, että tuuligeneraattorit ja varsinkin aurinkopaneelit ovat mainio vaihtoehto valtakunnalliselle sähköverkolle etenkin mökkiolosuhteissa. Monesti ne ovat myös valtakunnallista sähköverkkoa paljon halvempi vaihtoehto. Projektin yhteishinta on noin 1 000 €, johon siis kuuluvat kaikki muu paitsi työ.

LÄHTEET

- [1] Ilmasto-opas, Uusiutuva energia suomessa, [www-sivu]. Saatavilla: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/uusiutuva-energia.html>. (luettu 20.05.2015)
- [2] Motiva, Uusiutuva energia, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia. (luettu 20.05.2015)
- [3] Motiva, Uusiutuva energia suomessa, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa. (luettu 20.05.2015)
- [4] Wikipedia, Syöttötariffi, [www-sivu]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Sy%C3%B6tt%C3%B6tariffi>. (luettu 21.05.2015)
- [5] Wikipedia, Uusiutuva energia, [www-sivu]. Saatavilla: http://fi.wikipedia.org/wiki/Uusiutuva_energia. (luettu 21.05.2015)
- [6] Motiva, Aurinkosäteilyn määrä suomessa, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. (luettu 25.05.2015)
- [7] Aurinkovoima, Aurinkoenergia, [www-sivu]. Saatavilla <http://www.aurinkovoima.fi/fi/sivut/aurinkoenergia>. (luettu 25.05.2015)
- [8] Energia ja ympäristö, Aurinkoenergia, [www-sivu]. Saatavilla: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/aurinkoenergia>. (luettu 25.05.2015)
- [9] Motiva, Aurinkokeräimet, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet. (luettu 26.05.2015)
- [10] Wikipedia, Aurinkokeräin, [www-sivu]. Saatavilla: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkoker%C3%A4in>. (luettu 26.05.2015)
- [11] Motiva, Tyhjiöputkikeräin, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet. (luettu 26.05.2015)
- [12] Motiva, Aurinkosähköteknologiat, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat. (luettu 27.05.2015)
- [13] Wikipedia, Aurinkokenno, [www-sivu]. Saatavilla: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinkokenno>. (luettu 27.05.2015)
- [14] Ahjo-energia, Aurinkopaneelien toiminta, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/aurinkopaneelien-toiminta>. (luettu 27.05.2015)
- [15] Suntekno, Paneelit, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>. (luettu: 27.05.2015)
- [16] Motiva, Aurinkosähkö, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko. (luettu 20.05.2015)
- [17] Civicsolar, Monocrystalline vs polycrystalline solar panels, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.civicsolar.com/resource/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>. (luettu 01.8.2015)

- [18] Eco alternative energy, Monocrystalline and polycrystalline solar panels, [www-sivu]. Saatavilla: <https://ecoaltenergy.wordpress.com/2013/07/11/which-solar-panel-type-is-best-monocrystalline-or-polycrystalline/>. (luettu 01.08.2015)
- [19] Reps, Aurinkopaneelit, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.reps.fi/fi/frames-prod-panels-fi.htm>. (luettu 01.08.2015)
- [20] Ruuvvipenkki, Lataussäätimet, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.ruuvipenkki.fi/foorum/viewtopic.php?f=15&t=1169>. (luettu 10.08.2015)
- [21] Solarcraft, PWM vs MPPT solar charge controllers, [www-sivu]. Saatavilla: <http://solarcraft.net/articles/comparing-pwm-and-mppt-charge-controllers/>. (luettu: 10.08.2015)
- [22] Yle, Uutiset, [www-sivu]. Saatavilla: http://yle.fi/uutiset/maailman_suurin_tuuliturbiini_aloitti_toimintansa/7063335. (luettu 05.09.2015)
- [23] Wikipedia, Tuulivoima suomessa, [www-sivu]. Saatavilla: https://fi.wikipedia.org/wiki/Tuulivoima_Suomessa. (luettu 05.09.2015)
- [24] Tuulivoimayhdistys(STY), Tuulivoima suomessa, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>. (luettu 05.09.2015)
- [25] Motiva, Pientuulivoima, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/pientuulivoima. (luettu 05.09.2015)
- [26] Pellettipojat, Tuulienergia, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.pellettipojat.fi/page1.php>. (luettu 10.09.2015)
- [27] European commission, Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps, [www-sivu]. Saatavilla: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (luettu 10.02.2016)
- [28] Epsolar, Tracer series, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.epsolarpv.com/en/index.php/Product/pro_content/id/157/am_id/136 (luettu 23.02.2016)
- [29] Navimare, AGM akut, [www-sivu]. Saatavilla: [navimare.fi/product_catalog.php?c=91](http://www.navimare.fi/product_catalog.php?c=91) (luettu 24.02.2016)
- [30] Swenergia, Aurinkopaneelijärjestelmän AGM akut, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.swenergia.fi/mokkilaiset/energia-aurinkojarjestelmat/aurinkopaneelijarjestelman-akut.html> (luettu 24.02.2016)
- [31] Aurinkosähkö, Asentaminen, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.huoltodata.com/aurinko/asentaminen.html> (luettu 24.02.2016)
- [32] Tuulivoimayhdistys, Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka_miehen_opas_motiva.pdf (luettu:1.3.2016)
- [33] Eurosolar, hybridijärjestelmä, [www-sivu]. Saatavilla <http://www.eurosolar.fi/hybridijarjestelma> (luettu 13.03.2016)
- [34] Energiaa-auringosta, aurinkolämpöjärjestelmä, [www-sivu]. Saatavilla <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate> (luettu 26.05.2015)
- [35] Epsolar, Tracer-2210RN, Ohjekirja (luettu 20.05.2016)