

# AKKUKÄYTTÖINEN AURINKOVOIMALA MATKAILUAU- TOON

Kallionlähde Sofia

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Kallionlähde Sofia	Vuosi	2019
<b>Ohjaaja</b>	Ins. Seppo Penttinen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Tunturi-Lapin Sähkö Ky		
<b>Työn nimi</b>	Akkukäyttöinen aurinkovoimala matkailuautoon		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	49 + 6		

---

Opinnäytetyö tehtiin Tunturi-Lapin Sähkö Ky:lle ja sen tavoitteena oli tutkia aurinkoenergian kannattavuutta pohjoisessa, napapiirin pohjoispuolella. Työn tarkoituksena on perehtyä aurinkoenergian tuotantotapoihin ja tutkia kokonaissäteilymäärät kolmella paikkakunnalla: Utsjoella, Sodankylässä ja Helsingissä.

Luonnollisuus ja luonnon varojen säästäminen on yhä kasvava intressi ihmisten keskuudessa ja näin ollen luontoa kuormittamattoman energiantuotannon kehittäminen mahdollistaisi myös uudenlaisen energiatehokkaan teknologian kehittämisen.

Tavoitteena oli esittää käytännössä akkukäyttöisen aurinkovoimalan tarjoamat mahdollisuudet sähköttömiin kohteisiin pohjoisilla leveyspiireillä. Mittaustulokset saatiin ilmatieteenlaitoksen julkaisemalta datalta, ja niitä hyödyntämällä tehtiin havainnoivat diagrammit.

Työn keskeisistä tavoitteista onnistuttiin esittelemään kattavasti aurinkoenergiajärjestelmät ja niiden komponentit, etenkin akkukäyttöisen aurinkoenergiajärjestelmän osalta. Työssä onnistuttiin osoittamaan, että aurinkoenergia on kannattavaa myös pohjoisessa, etenkin kesäkuukausina.

Pohjoisessa on loputtomat mahdollisuudet uusiutuvan energian valjastamiseen hyötykäyttöön. Korkeilla tuntureilla tuulivoimalat menestyisivät ja kesien yöttömien öiden myötä aurinkoenergian käyttömahdollisuudet voivat olla uraa uurtavia.

Asiasanat aurinkoenergia, auringonsäteily, aurinkosähköjärjestelmä

Technology, Communication and Transport  
Electrical and Automation Engineering  
Bachelor of Engineering

---

---

<b>Author</b>	Kallionlähde Sofia	Year	2019
<b>Supervisor</b>	Penttinen Seppo, BEng		
<b>Commissioned by</b>	Tunturi-Lapin Sähkö Ky		
<b>Subject of thesis</b>	Off-grid solar power system to caravan		
<b>Number of pages</b>	49 + 6		

---

The thesis was made for Tunturi-Lapin Sähkö Ky and the objective was to investigate the profitability of solar energy in the north of the Arctic Circle. The purpose of this thesis was to get acquainted with the methods of solar energy production. The purpose of this thesis was also to study the total amount of solar radiation in three locations.

There is endless potential for harnessing renewable energy in the north. Wind power can be utilized in the fells of Lapland. Because the sun does not set at night during the summer, solar energy has many potential uses.

Nature and the conservation of nature resources are a growing interest among people. The development of energy saving solar energy production would also enable the development of new energy-efficient technologies.

The goal is to present in practice the potential of a battery-powered solar power plant for non-electric targets in the north. The used data is from the Finnish Meteorological Institute and based on the data is made descriptive diagrams.

The main objectives of the thesis were to introduce solar systems and their components, especially for battery-powered solar systems. The work was successful in demonstrating that solar energy is profitable in the north especially in the summer months.

Key words                      solar energy, solar radiation, photovoltaic system

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	AURINKOENERGIA.....	9
3	AURINGON SÄTEILY.....	10
3.1	Auringon säteily Helsingissä.....	12
3.2	Auringon säteily Sodankylässä.....	14
3.3	Auringon säteily Utsjoella.....	16
4	JÄRJESTELMIEN VERTAILU.....	19
4.1	Verkkoon liitetty aurinkovoimala.....	19
4.1.1	Energian myynti verkkoyhtiölle.....	19
4.2	Akkukäyttöinen aurinkovoimala.....	20
5	AKKUKÄYTTÖISEN SÄHKÖVOIMALAN HANKINTA.....	22
5.1	Tarvittavat komponentit.....	22
5.1.1	Paneelit.....	23
5.1.2	Monokiteiset aurinkopaneelit.....	23
5.1.3	Monikiteiset aurinkopaneelit.....	24
5.1.4	Ohutkalvo.....	25
5.1.5	Akku ja akusto.....	26
5.1.6	Lataussäädin.....	27
5.1.7	Inventteri.....	27
5.1.8	Kytkenä.....	28
5.2	Komponenttien vertaaminen.....	28
6	AURINKOVOIMALAN RAKENNUS MATKAILUAUTOON.....	30
6.1	Suunnittelu.....	30
6.2	Komponenttien hankinta matkailuautoon.....	31
6.3	Asennus.....	32
6.4	Kaapelointi.....	35
7	ULKOISET VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	38
7.1	Tuuli.....	38
7.2	Lumi.....	38
7.3	Pakkanen.....	40

---

7.4	Yöttömät yöt sekä kaamos.....	41
8	TULOKSET.....	42
8.1	Tulosten tutkiminen ja analysointi .....	43
9	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET .....	49

## ALKUSANAT

Haluan kiittää toimeksiantajaani Tunturi-Lapin Sähkö Ky:ta opinnäytetyöni aiheesta ja ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää Lapin ammattikorkeakoulun opettajaa insinööri Seppo Penttistä työni ohjaamisesta.

Enontekiöllä 25.11.2019

*Sofia Kallionlähde*

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

kWh	Kilowattitunti
kW	Kilowatti
V	Voltti
Ah	Ampeeritunti
DC	Tasavirta
AC	Vaihtovirta
Wh	Sähköenergia, wattitunti
A	Ampeeri
W/m <sup>2</sup>	Kokonaissäteily (teho per neliömetri)
PV	Photovoltaic
kWp	Kilowattipeak, huipputeho, joka saadaan kun parhaiten tuotetaan energiaa

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä tutkielma aurinkoenergian käytöstä napa-piirin pohjoispuolella. Tutkielmassa selvitetään, kuinka paljon auringon kokonais-säteilyä säteilee Helsinkiin, Sodankylään sekä Utsjoelle testikuukausina.

Koska aurinkosähkö on yksi luontoa hyödyntävistä ja kuormittamattomista ener-gian lähteistä, on mielenkiintoista tutkia sen kattavuutta tehon- ja energianläh-teenä pohjoisissa olosuhteissa. Aurinkoenergia on uusiutuvaa ja puhtaspääs-töistä kaikille vapaasti käytettävää energiaa ja se sopii oikeilla valjastusmenetel-millä laajaan energiantuotantoon.

Työssä esitellään sekä verkkoon liitetyn aurinkovoimalan, että myös akkukäyttöi-sen aurinkopaneelijärjestelmän sähköttömiin kohteisiin. Työn pääasiallinen aihe on kuitenkin akkukäyttöisen aurinkovoimalan rakennus matkailuautoon, minkä vuoksi käydään yksityiskohtaisesti läpi komponenttien energiatehokasta valintaa ja asennusta.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on esittää eri aurinkoenergianjärjestelmät sellai-sesta näkökulmasta, että se hyödyttäisi kaikkia aurinkoenergiasta kiinnostuneita oikeanlaisen järjestelmän valinnassa juuri omien tarpeiden ja käyttökohteiden mukaan. Opinnäytetyössä kerätään lukijoille tietoutta vielä suhteellisen vähän valjastetusta aurinkoenergiasta ja sen tuotantomahdollisuuksista eri tilanteisiin.



## 2 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergia on puhdasta hiilidioksidivapaata energiaa kaikille vapaasti saatavilla. Aurinkoenergia pystyy tuottamaan suoraan lämpöä lämmönkerääjillä ja tuottamaan energiaa, eli sähköä aurinkokennoista muodostuvien paneelien avulla.

Aurinkoenergian kokonaismäärä maapallolla on huima ja se ylittää huomattavasti maailman nykyiset energiantarpeet. Aurinkoenergian odotetaan kasvattavan suosiotaan lähitulevaisuudessa sen puhtauden ja päästöttömyyden vuoksi. Uusiutuvana energialähteenä aurinko tarjoaa ehtymättömän energiantuotannon toisin kuin uusiutumattomat fossiiliset polttoaineet, kuten kivihiili ja öljy. (Ashok 2019.)

Aurinko on todella voimakas energianlähde, ja auringonsäteily puolestaan on maapallon suurin vastaanottama energialähde. Auringonsäteilyn voimakkuus maan pinnalla on kuitenkin melko pieni, sillä auringonsäteillä on laaja säteittäislevitys kaukana sijaitsevasta auringosta.

Maahan säteilevä auringonvalo koostuu 50 % näkyvästä valosta, 45 % infrapunasäteilystä ja pienemmistä määristä ultraviolettisäteilyä sekä muita sähkömagneettisia säteilylajeja. (Ashok 2019.)

### 3 AURINGON SÄTEILY

Koska maapallo on pyöreä, säteilee aurinko vaihtelevilla kulmilla maapallon eri osiin. Aurinko voi säteillä täsmälleen horisontin yläpuolelta 0 asteen ( $0^\circ$ ) kulmasta aina 90 asteen ( $90^\circ$ ) kulmaan. Auringonsäteiden tullessa maahan pystysuorassa maan pinta saa kaiken auringosta säteilevän energian haltuunsa. Kun päiväntasaajalta kuljetaan kauemmaksi, auringonsäteet tulevat maahan sitä vinompina, mitä kauempana ollaan täydellisestä 90 kulman ( $90^\circ$ ) asteesta. Auringonsäteiden tullessa maahan vinossa kulmassa ne ilmakehän läpi kulkeutuessaan muuttuvat hajanaisemmiksi. Auringonsäteet voivat hajaantua laajallekin alueelle ennen päätymistään maan pinnalle.

Maan ollessa pyöreä napa-alueet eivät koskaan saa korkean auringon säteilyä, eivätkä ne kallistetun pyörimisakselin vuoksi saa suoraa auringonsäteilyä lainkaan. (Energy.gov 2013.)

Maapallon kierto vaikuttaa merkittävästi myös auringon korkeuteen tuntitasolla. Varhain aamulla ja myöhään illalla, aurinko on matalalla lähellä taivaanranta, jolloin sen säteet kulkeutuvat pitemmälle ilmakehän läpi kuin keskipäivällä, jolloin aurinko on korkeimmassa pisteessä taivaalla. Selkeänä päivänä aurinkoenergiaa saadaan kerättyä talteen juuri keskipäivän tienoilla. (Energy.gov 2013.)

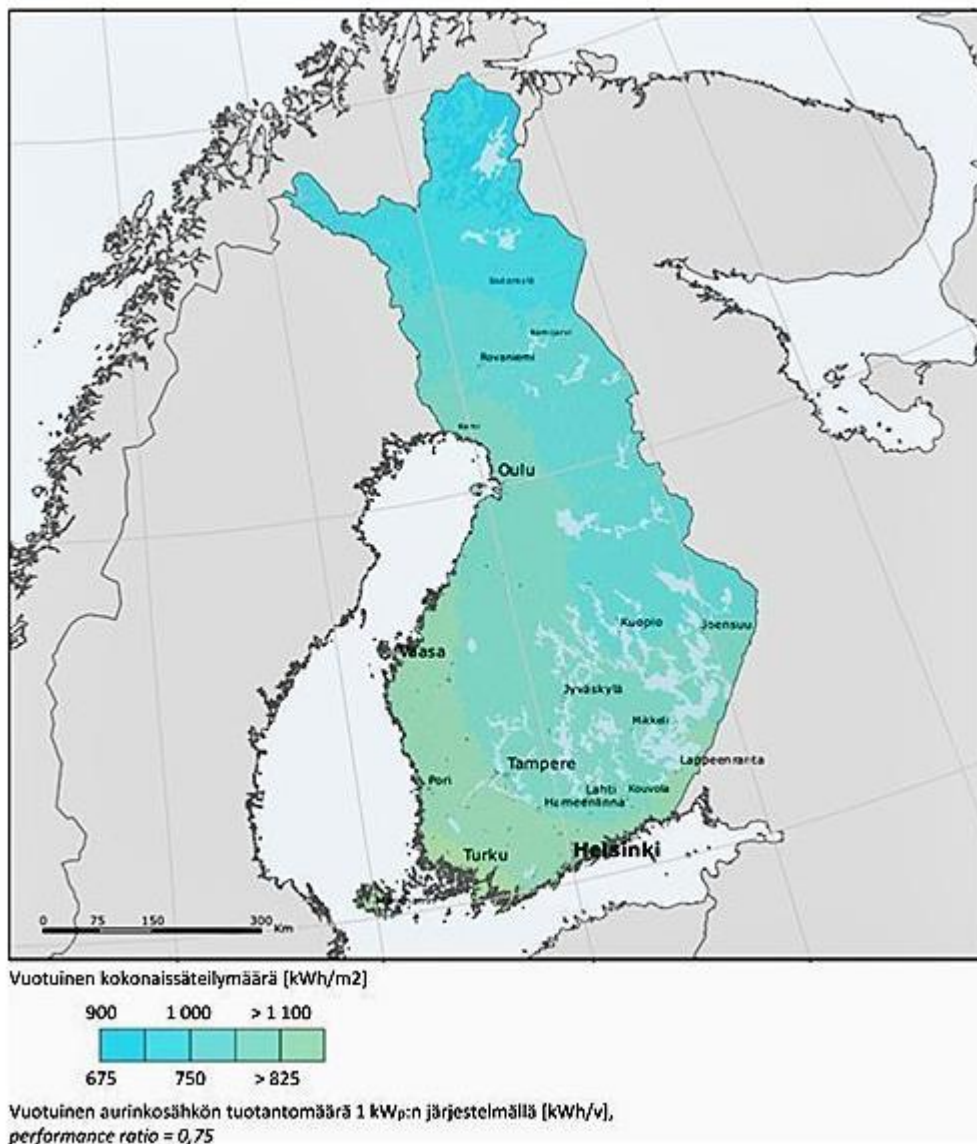
Työssä tarkastellaan pääasiassa auringon globaalisäteilyä eli kokonaissäteilyä. Auringon lyhytaaltainen säteily pyritään kohdistamaan vaakasuoralle pinnalle eli tässä tapauksessa aurinkopaneelille.

Auringon kokonaissäteily koostuu kahdesta säteilylajista; hajasäteilystä sekä auringosta suoraan säteilevästä säteilystä. Hajasäteilyä syntyy, kun ilmakehä ja pilvet heijastavat säteilyä, mutta myös maasta heijastuu sitä jonkin verran. Vesialueilla ja lumella hajasäteily on suurempaa. (Motiva 2019.)

Suomessa ilmenee hajasäteilyä merkittävä määrä ja se kattaakin kokonaissäteilystä suuren osan. Energiantuotannon kannalta säteilylajilla ei kuitenkaan ole merkitystä, joskin hajasäteilyn suuri määrä voi Suomessa vaikuttaa niin, että aurinkoa seuraavat järjestelmät sekä keskittävät aurinkoenergiajärjestelmät eivät

välttämättä ole tehokkaimpia vaihtoehtoja energiantuotantoon, sillä niiden toiminta perustuu pääasiassa auringon suoran säteilyn hyödyntämiseen. (Motiva 2019.)

Kuvio 1 havainnoidaan vuotuista kokonaissäteilymäärää Suomessa. Kuvan mukaan suurimmat kokonaissäteilymäärät keskittyvät pääasiassa etelärannikolle.

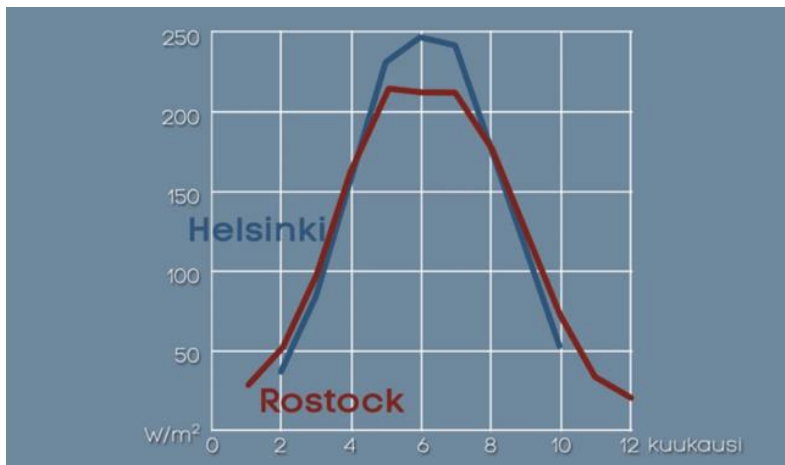


Kuvio 1. Vuotuisen kokonaissäteilyn määrä Suomessa. (EU Science Hub 2019.)

Auringonvalon kulkeutuessa ilmakehän läpi osa siitä absorboituu, hajoaa ja heijastuu. Syitä tähän ovat ilmamolekyylit, vesihöyry, pilvet, pöly, ilman epäpuhtaudet, metsäpalot ja tulivuoret. Kun auringonsäteily kulkeutuu hajaannuttavien tekijöiden läpi, kutsutaan säteilylajia hajotetuksi auringonsäteilyksi. Auringonsäteilyä, joka pääsee maan pinnalle hajaantumatta, kutsutaan suoraksi auringonsäteilyksi. Ilmakehän olosuhteet voivat vähentää suoran säteilyn määrää 10 % selkeinä kuivina päivinä ja jopa 100 % paksuina, pilvisinä päivinä. (Energy.gov 2013.)

### 3.1 Auringon säteily Helsingissä

Ilmatieteen laitos on tehnyt aurinkosähkötutkimuksessaan vertailun Helsingin ja Saksan Rostockin välillä. Etelä-Suomessa vuodessa kertynyt kokonaissäteily määrä onkin lähellä Pohjois-Saksan vuotuista kokonaissäteilyn määrää. (Motiva 2019.)



Kuvio 2. Helsingin ja Rostockin välinen ero (Ilmatieteen laitos 2015.)

Saksa on nyky maailman johtavia aurinkoenergian valjastajia maan aurinkoenergian tuotantoon tarjoamien valtiontukien vuoksi. Saksassa vuonna 2011 aurinkoenergia tuotti jopa kolme prosenttia maan kokonaisenergiantuotannosta. (Sciensenorway 2019.)

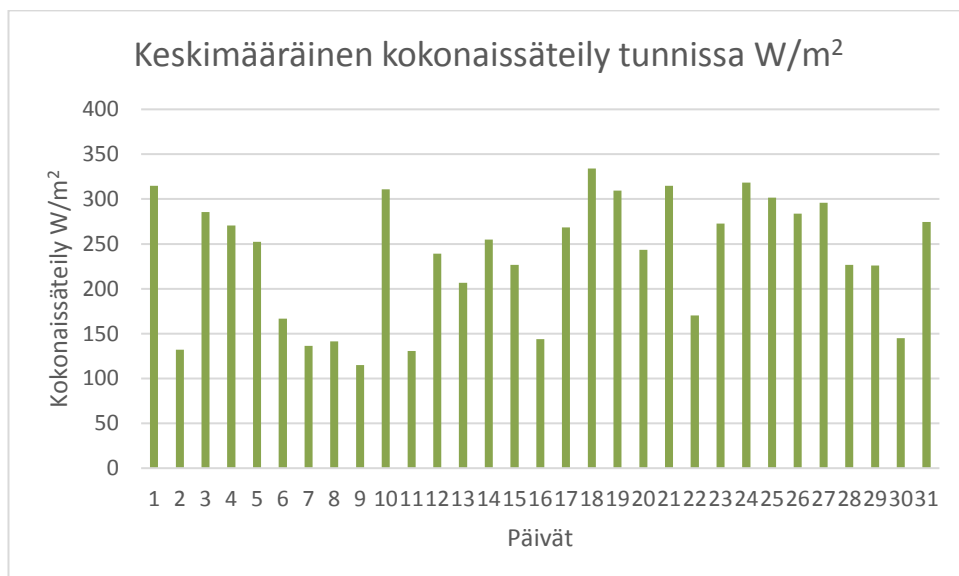
Suomessa on hyvät edellytykset päästä samoihin arvoihin Saksan kanssa, mutta vain kirkkaimpina kesäkuukausina. Korkeat leveysasteet asettavat kuitenkin pohjoisessa suurempia haasteita.

Aurinkopaneelit suositellaan kiinnitettäväksi sellaisiin pintoihin, joissa on optimaalinen kulma tai sellaisiin järjestelmiin, jotka seuraavat aurinkoa, sillä mitä pohjoisemmassa aurinkovoimala sijaitsee, sitä leveämpi aurinkokaari on. Aurinko kulkee pohjoisessa taivaalla koillisesta etelän kautta luoteeseen. Auringolla on näin ollen Suomessa huomattavasti laajempi kulkureitti kuin esimerkiksi Saksassa. Tämän vuoksi aurinkopaneelien olisi hyvä olla aurinkoa seuraavia, jolloin paneeli pystyy pyörimään telineellään ja kääntyä kohti aurinkoa jopa 90°:n kulmassa. (Sciensenorway 2019.)

Yksi haaste on se, että aurinkoa seuraavan paneelin on omattava tietty pinta-ala, jotta se olisi tarpeeksi kustannustehokas. Lisäksi paneelin kennot on koottava parhaimmista ja kalleimmista saatavilla olevista piisoluista. (Sciensenorway 2019.)

Helsingin Kumpulassa heinäkuussa mitatut kokonaissäteilyn keskimääräiset määrät tunneittain (Liite 1) on esitetty Kuvio 3.

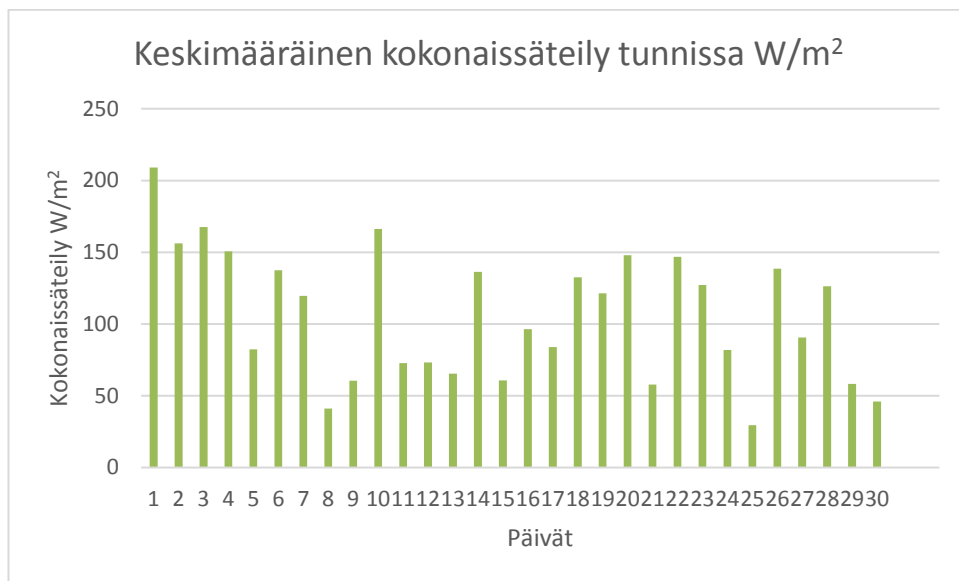
Säteilymäärät muuttuvat päivittäin, sillä esimerkiksi pilviverhon paksuus vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. Diagrammi (Kuvio 3) kertoo keskimääräisen kokonaissäteilyn tunnissa kuukauden jokaisena päivänä.



Kuvio 3. Päivän keskimääräinen kokonaissäteilyn määrä heinäkuussa Helsingissä vuonna 2019. (Ilmatieteen laitoksen data 2019.)

Heinäkuussa kokonaissäteilymäärät vaihtelevat päivittäin vähän. Alkukuusta esiintyy pientä vaihtelua, mutta kuun puolivälin jälkeen säteilymäärät ovat tasaisempia.

Helsingin Kumpulassa syyskuussa mitatut kokonaissäteilyn keskimääräiset määrät tunnissa (Liite 4) on merkattu kuvioon (Kuvio 4)



Kuvio 4. Päivän keskimääräinen kokonaissäteilyn määrä syyskuussa Helsingissä vuonna 2019. (Ilmatieteen laitoksen data 2019.)

Alkukuukaudessa säteilymäärät ovat suhteellisen korkeat. Loppukuukautta kohti mennessä säteilymäärät vaihtelevasti pienenevät. Loppukuussa säteilymäärät ovat enää suhteellisen pienet.

### 3.2 Auringon säteily Sodankylässä

Sodankylä on jonkin verran alempana kuin Utsjoki. Sodankylän voimala koostuu kahdesta erisuuntaisesta paneelista, joista toinen on pystysuora. Tavoitteena voimalassa on kartoittaa lumen heijastavaa vaikutusta auringonsäteilyn kokonaistuottoon. (Lindfors 2019.)

Sodankylän Tähtelässä heinäkuussa mitatut kokonaissäteilyn keskimääräiset määrät tunnissa (Liite 2) on merkattu Kuvio 5.



Kuvio 5. Päivän keskimääräinen kokonaissäteilyn määrä heinäkuussa Sodankylässä vuonna 2019. (Ilmatieteen laitoksen data 2019.)

Alkukuukaudessa tuloksissa on enemmän vaihtelua kuin loppukuukaudesta. Loppukuussa on todennäköisesti ollut tasaisemmin aurinkoisia päiviä kuin alkukuukaudesta, jolloin säteilymäärät päivittäin vaihtelevat merkittävästi.

Sodankylän Tähtelässä syyskuussa mitatut kokonaissäteilyn keskimääräiset määrät tunneittain (Liite 5) on merkitty Kuvio 6.



Kuvio 6. Päivän keskimääräinen kokonaissäteilyn määrä syyskuussa Sodankylässä vuonna 2019. (Ilmatieteen laitoksen data 2019.)

Syyskuun kokonaissäteilymäärät ovat jo melko vähäiset. Päivänä 7 on jonkinlainen säteilypiikki, mutta muuten säteilymäärät ovat tasaisessa laskussa kuun loppua kohden.

### 3.3 Auringon säteily Utsjoella

Auringon säteily vähenee, mitä korkeammalle leveyspiireissä mennään. Utsjoen korkeudella auringon säteet säteilevät maahan huomattavasti pienemmässä kulmassa kuin esimerkiksi Helsingissä tai edes Sodankylässä.

Utsjoen Kevolla heinäkuun mitatut kokonaissäteilyn keskimääräiset määrät tunneittain (Liite 3) on merkitty Kuvio 7.

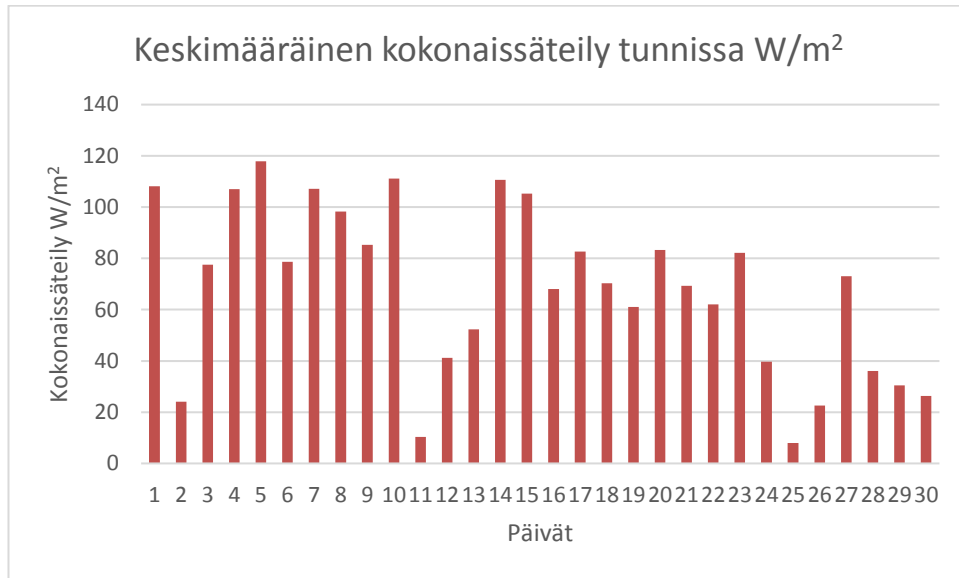


Kuvio 7. Päivän keskimääräinen kokonaissäteilyn määrä heinäkuussa Utsjoella vuonna 2019. (Ilmatieteen laitoksen data 2019.)

Heinäkuussa kokonaissäteily määrä Utsjoella kohoaa keskimäärin tunnissa jopa  $335 \text{ W/m}^2$  asti, joka vastaa Helsingin kokonaissäteily määrää. Helsingissä kokonaissäteilyn määrä päivässä per tunti ei kohoaa niin korkeaksi kuin Utsjoella tai Sodankylässä, mutta Helsingissä on useampina päivinä keskimäärin enemmän kokonaissäteilyä kuin muissa koekunnissa.

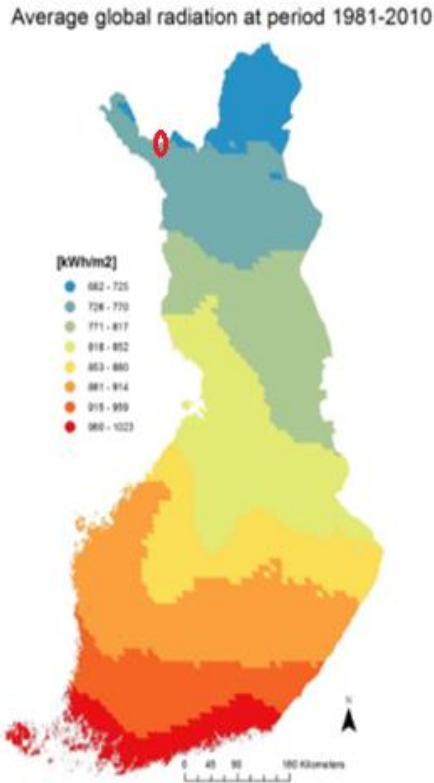


Utsjoen Kevolla heinäkuun mitatut kokonaissäteilyn keskimääräiset määrät tunteittain (Liite 6) on merkattu Kuvio 8.



Kuvio 8. Päivän keskimääräinen kokonaissäteilyn määrä syyskuussa Utsjoella vuonna 2019. (Ilmatieteen laitoksen data 2019.)

Syyskuussa säteilymäärät vaihtelevat aika paljon. Diagrammin (Kuvio 8) mukaan alkukuukaudesta on päiviä, jolloin säteilymäärät kohoavat syyskuun tasolla korkeimmaksi mahdolliseksi. Loppukuuta mentäessä säteilymäärät laskevat vaihtelevasti.



Kuvio 9. Vuotuinen säteilykertymä (Ilmatieteen laitos 2019)

Ilmatieteen laitoksen kartta kertoo vuotuisen säteilykertymän. Kuvio 9 esittää, että aurinkoisimmat ja siten parhaat alueet aurinkoenergian tuottamiseen on etelässä sekä länsirannikolla. Enontekiön korkeudella on kartan mukaan huonoimpia vyöhykkeitä kerätä aurinkoenergiaa. (Teirikko 2015.)

Kartan mukaan Utsjoen korkeudella on huonoin vyöhyke kerätä aurinkoenergiaa, vaikka Diagrammin Kuvio 7 mukaan Utsjoen kokonaissäteily määrä tunnissa heinäkuussa on kuitenkin hyvällä tasolla. Tämän vuoksi on odotettavissa, että aurinkovoimalasta saadaan varsinkin kesäkuukausina hyvin energiaa.

Diagrammin (Kuvio 8) mukaan syyskuussakin keskimääräiset kokonaissäteilymäärät ovat kohtuullisella tasolla energiantuotannon kannalta.

## 4 JÄRJESTELMIEN VERTAILU

Akkukäyttöisen- sekä verkkoon liitetyn aurinkovoimalan välillä on eroavaisuuksia. Suurin eroavaisuus on siinä, että akkukäyttöisessä aurinkovoimalaratkaisussa energian varastointi on helppoa, ja se on oikeastaan koko järjestelmän ydinasia. Aurinkoenergian varastoiminen verkkoon liitetyssä järjestelmässä on todella paljon kalliimpaa ja vaikeampaa toteuttaa. Tämän vuoksi helpoin ja edullisin vaihtoehto on, että verkkoon liitetyn aurinkovoimalan ylituottama sähkö siirtyy suoraan sähköverkkoon. (Ranta-Aho 2016.)

### 4.1 Verkkoon liitetty aurinkovoimala

Sähköverkkoon liitetty järjestelmä asennetaan verkon rinnalle, jolloin aurinkosähköjärjestelmä syöttää sähköverkkoon liitettyä laitteistoa. Akustoa harvemmin käytetään verkkoon liitetyssä aurinkovoimalassa, joten voidaan kuvitella, että sähköverkko toimii tässä tapauksessa energian varastojana.

Pääkomponentit verkkoon liitetyssä aurinkovoimalassa ovat aurinkopaneelit ja telineet sekä ryhmäkeskukseen liitettävä vaihtosuuntaaja lisälaitteineen. Paneelit tuottavat DC-jännitettä, jolloin vaihtosuuntaaja muuttaa sen sinimuotoiseksi jakeluverkon laatustandardien mukaiseksi vaihtovirraksi. (St-käsikirja 40 2017, 50.)

#### 4.1.1 Energian myynti verkkoyhtiölle

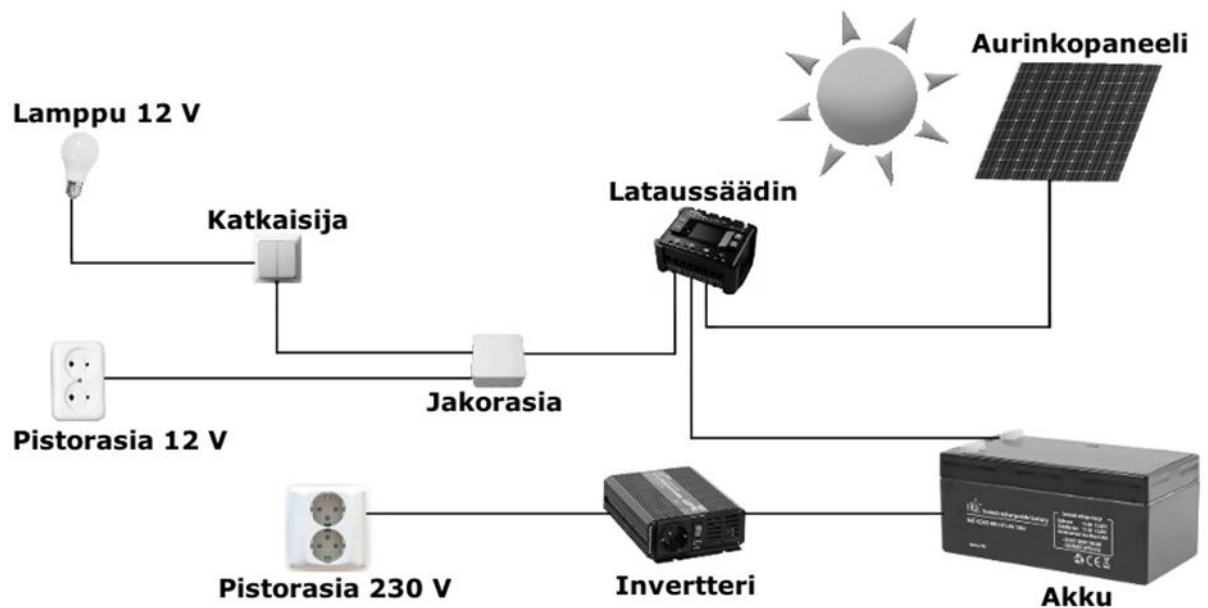
Myynnin voitoista voi olla montaa mieltä, mutta oma aurinkovoimala pitäisi olla todella ylimitoitettu omalle kulutukselle, ennen kuin myynnistä saa mitään järkevää voittoa. Ylimitoitus taas investointivaiheessa on kallista ja turhaa siinäkin mielessä, että ylimääräisen sähkön myysi verkkoyhtiöille, sillä verkkoyhtiöiden maksamat hinnat ovat todella pieniä. (Ranta-Aho 2016.)

Kun aurinkoenergiavoimala yhdistetään verkkoon, tulee verkkoyhtiön kanssa kirjoittaa sopimus, jossa mahdollistetaan oman ylijäämätuotannon myynti verkkoyhtiölle.

Sopimuksen ollessa voimassa yksi kWh ylituotettua sähköä siirtyy talosta verkkoon, josta sähköyhtiö maksaa noin 0,03 euroa. Summa on Pohjoismaisen sähköpörssin niin sanotun spot-hinta. Spot-hinta tarkoittaa sitä, että se on sähkön niin kutsuttu tukkuhinta. Sähköverkkoyhtiöt voivat myös kieltäytyä maksamasta ylimääräisesti tuotetusta sähköstä yhtään mitään. Jos ylijäämäenergian tuotantoa ei myy verkkoyhtiölle, katoaa ylituotantoa verkkoyhtiön jakeluverkkoon muun sähköntuotannon sekaan asiakkaiden käytettäväksi. (Ranta-aho 2016.)

#### 4.2 Akkukäyttöinen aurinkovoimala

Aurinkopaneeli on tärkein komponentti aurinkovoimalassa. Paneeli koostuu yksittäisistä aurinkokennoista sähkövirran tuottamiseksi. Sähkövirta poistuu aurinkopaneelistä ja kulkeutuu lataussäätimen läpi akkuun ja sieltä inventterin kautta käytettäväksi 240 VAC jännitteellä.



Kuvio 10. Periaatekuva akkukäyttöisestä aurinkovoimalasta (Nettimyynti 2019.)

Periaatekuva (Kuvio 10) kertoo virran kulkeutumisen paneelista lataussäätimen kautta 12 VDC laitteille ja akulle, josta inventterin kautta syötetään 240 VAC laitteistoa.

Akkulaturia käytetään akkujen lataamiseen ja laturi lataa kun 240 VAC on saatavilla. Latureissa monivaiheinen laturi on tehokkain, sillä mitä suurempi laturin ampeeri-lähtö on, sitä nopeammin se lataa. Auringon paistaessa, aurinkopaneelit

syöttävät virran aurinkosäätimeen, josta säädin yrittää ensin syöttää virtaa kaikille siihen suoraan kytketyille 12 VDC laitteille. Aurinkopaneelien ylimääräinen virta johdetaan ladattaviin akkuihin. Akut voivat ladata akkulaturista tai akkusäätimestä samanaikaisesti. Käytännössä 12 VDC valot ja laitteet voidaan kytkeä suoraan akkuihin, mutta tietyt aurinkosäätimet estävät akkujen ylikuormituksen, jos 12 VDC laitteet liitetään säätimen 12 VDC napoihin. Aurinkovoimalaan asennetaan usein lisäksi myös inventteri, joka kytketään suoraan akkuihin. Inventteri muuntaa jännitteen 240 VAC, jolloin siihen voidaan kytkeä mikä tahansa 240 VAC jännitettä tarvitseva laite. (Smith 2019.)

## 5 AKKUKÄYTTÖISEN SÄHKÖVOIMALAN HANKINTA

Aurinkosähköjärjestelmää hankittaessa ja sen koon määrittelyssä on tärkeintä mitoittaa oma sähkön kulutus. Akkukäyttöisessä aurinkovoimalassa tämä ei ole yhtä tärkeä toimenpide kuin verkkoon liitetyssä, sillä akut varastoivat ylimääräisen energian myöhempää käyttöä varten.

Ennen aurinkovoimalan hankintaa on mietittävä omat tarpeet saadun energian käyttöön ja kohteisiin. Monet tavarantoimittajat myyvät valmiita paketteja niin pienille kuin isoillekin käyttökohteille.

Akkukäyttöisen aurinkosähköjärjestelmän hankinnan suunnittelussa käydään kaikki sähköä tarvitsevat laitteet läpi käyttötarpeiden sekä sähkönkulutuksen näkökulmasta. Tällöin saadaan selville, mikä on kunkin laitteen tarvitsema teho ja kuinka usein laitetta päivän aikana käytetään. Kun lasketaan laitteiden teho  $W$  ja laitteiden käyttötuntimäärät  $h$ , saadaan näiden avulla laskettua päivälle sähköenergian  $Wh$  tarve. (Motiva 2019.)

Eri jälleenmyyjillä on vaihteleva tarjonta takuiden suhteen ja ne vaihtelevat paljon. Takuun avulla pystytään ennakoimaan elinkaaren ajan kustannuksia, sillä esimerkiksi vaihtosuuntaajien takuuajat ovat 2 vuodesta jopa 20 vuoteen. Pitkän ajan laskelmiin ja loppukustannuksiin vaikuttaakin se, miten usein komponenttia pitää vaihtaa uuteen. (St-käsikirja 40, 62.)

Parhaan lopputuloksen saamiseksi suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon mitoituksen lisäksi myös paneelien oletetut asennuspaikat ja niiden suuntaukset aurinkoon nähden. Asennuspaikka on hyvä olla tiedossa suunnitteluvaiheessa, sillä myös varjostukset heikentävät energiantuotantoa merkittävästi.

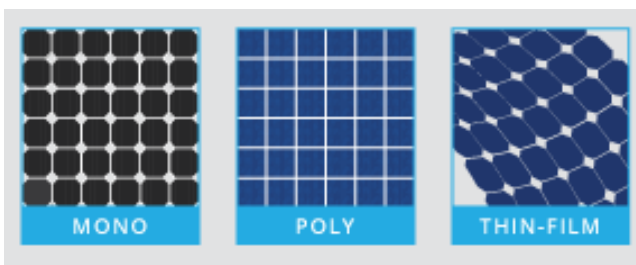
### 5.1 Tarvittavat komponentit

Akkukäyttöisessä aurinkojärjestelmässä olennaisessa osassa ovat paneelit ja akusto. Ne ovat tärkeimmät komponentit, jotka täytyy mitoittaa oikein jo suunnitteluvaiheessa. Vaihtosuuntaaja, lataussäädin sekä sääolosuhteet kestävä kaapelointi ovat myös tärkeä osa aurinkojärjestelmän pitkää käyttöikää sekä tuotantoa suunniteltaessa.

### 5.1.1 Paneelit

Paneelityyppejä on todella paljon ja vallinnanvaikeus onkin yksi syy, jonka vuoksi paneelien valitsemiseen on syytä käyttää aikaa suunnitteluvaiheessa. Nykyään löytyy myös taipuvaa paneelia pinnoille, jotka sitä vaativat. Esimerkiksi veneen pinta on yleensä kaarevaa, joten taipuva paneeli on siihen paras vaihtoehto.

Suurin osa saatavilla olevista aurinkopaneeleista kuuluu kolmeen pääryhmään, joita ovat yksi- eli monokiteinen, monikiteinen ja ohutkalvo. Englanniksi nämä ryhmät ovat monocrytalline, poly-cristalline ja thin-film. Omaan tarpeeseen parhaiten soveltuva aurinkopaneelityyppi riippuu käyttötarkoituksesta- ja kohteesta. (Energysage 2019.)



Kuva 1. Aurinkopaneelityyppien kuvaus. (Energysage 2019.)

Sekä monokiteisessä että monikiteisessä aurinkopaneelissa on piikiekoista valmistetut solut. Yksikiteisen tai monikiteisen paneelin rakentamiseksi kiekot koostetaan riveiksi ja sarakkeiksi suorakulmion muotoon, peitetään lasilevyllä ja kehystetään yhdeksi kokonaisuudeksi. (Energysage 2017.)

### 5.1.2 Monokiteiset aurinkopaneelit

Monokiteiset aurinkokennot on valmistettu pihharkoista, jotka ovat muodoltaan lieeriömäisiä. Jotta monikiteisen aurinkokennon suorituskyky optimoituu ja kustannukset pienenisivät, lieeriömäisistä malleista leikataan neljä puolta piikiekkojen valmistamiseksi, mikä osaltaan antaa monokiteisille aurinkopaneeleille sen tyyppillisen ilmeen. Yksikiteisillä aurinkopaneeleilla on korkeat hyötysuhteet, sillä ne valmistetaan korkealaatuisesta piistä. Tällaisten paneelien hyötysuhteet ovat yleensä 15-20 %. (Energyinformative 2019.)

Yksikiteiset aurinkopaneelit ovat tila-tehokkaita. Vaikka paneelit tuottavat suuren tehon, vievät ne vähiten tilaa muihin paneelityyppeihin verrattua. Monokiteiset aurinkopaneelit tuottavat jopa neljä kertaa enemmän sähköä kuin ohutkalvoiset aurinkopaneelit. Yksikiteiset aurinkopaneelit ovat pitkäikäisimpiä paneelityyppejä ja sen vuoksi aurinkopaneelien valmistajat tarjoavatkin pitkän takuuajan. (Energyinformative 2019.)

Monokiteiset aurinkopaneelit ovat tehokkaimmillaan lämpimällä säällä. Niiden suorituskky kärsii lämpötilan noustessa, mutta huomattavasti vähemmän kuin monikiteisillä aurinkopaneeleilla. (Energyinformative 2019.)

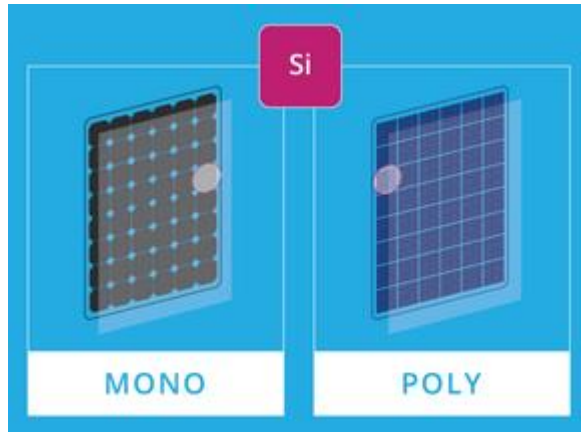
### 5.1.3 Monikiteiset aurinkopaneelit

Monikiteisillä aurinkopaneeleilla on yleensä hieman alahaisempi lämmönkestävyys kuin monokiteisillä aurinkopaneeleilla. Tämä tarkoittaa sitä, että niiden suorituskky on korkeamassa lämpötiloissa hieman huonompi kuin monokiteisten paneelien. Lämpö voi joissain tapauksissa vaikuttaa aurinkopaneelien toimintaan ja lyhentää niiden käyttöikää. (Energyinformative 2019.)

Monikiteisten aurinkopaneelien hyötysuhde on tyypillisesti 13-16 %. Hyötysuhde ei aivan yllä monokiteisten aurinkopaneelien hyötysuhteen tasolle, siksi monikiteisillä aurinkopaneeleilla on peitettävä suurempi ala kuin monokiteisillä paneeleilla, jotta saadaan saman verran energiaa.

Yksikiteiset ja ohutkalvoiset aurinkopaneelit ovat ulkonäöltään miellyttävämpiä, sillä niiden ulkoasu on yhtenäisempi kuin monikiteisen paneelin siniseen taittava väri. (Energyinformative 2019.)





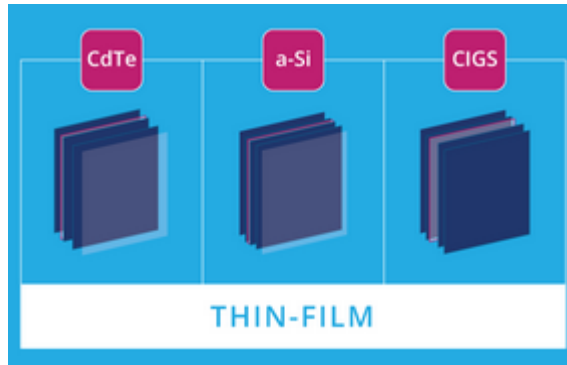
Kuva 2. Mono- ja monikidepaneelin poikkileikkaus (Energysage 2019.)

#### 5.1.4 Ohutkalvo

Toisin kuin monokiteiset ja monikiteiset aurinkopaneelit, ohutkalvopaneelit valmistetaan useista materiaaleista. Yleisin ohutkalvoinen aurinkopaneeli on valmistettu kadmiumtelluridista (CdTe). (Energysage 2019.)

Ohutkalvoiset aurinkopaneelit voidaan valmistaa myös amforisesta piistä (a-Si), jota käytetään myös mono- ja monikiteisissä paneeleissa. Ohutkalvopaneeleissa pii ei kuitenkaan ole kiinteiden piikiekkujen muodossa, kuten mono- ja monikiteisten paneelien rakenteessa. Ohutkalvoisessa paneelissa pii on yleensä kiteetöntä piitä, joka on aseteltu lasin, muovin tai metallin päälle. (Energysage 2019.)

Ohutkalvoiset aurinkopaneelit voidaan valmistaa myös kuparindiumgalliumselestistä (CIGS), joka on kasvattanut suosiotaan ohutkalvotekniikassa. CIGS-paneeleissa kaikki elementit on sijoitettu kahden johtavan kerroksen väliin ja elektrodit sijoitetaan materiaalin etu- ja takapuolelle sähkövirtojen sieppaamiseksi. (Energysage 2019.)



Kuva 3. Ohutkalvopaneelin eri tyypit. (Energysage 2019.)

### 5.1.5 Akku ja akusto

Akusto kuuluu pääsääntöisesti mökkijärjestelmiin ja onkin olennaisimpia komponentteja kyseisessä järjestelmässä. Akun toimivuus määrittelee koko paneelijärjestelmän toimivuuden, ja siksi sen mitoituksen suunnitteluun kannattaa käyttää aikaa ja pohdintaa. (Vattenfall 2018.)

Akusto varastoi ylituotetun energian ja on valmiina käytettäväksi silloin, kun paneelit eivät tuota energiaa. Näin turvataan tasainen sähkönsaanti myös pimeinä ja pilvisinä aikoina.

Akusto on tärkeintä ottaa huomioon heti suunnitteluvaiheessa, jolloin voidaan lisätä käyttöikää akustolle mitoittamalla järjestelmän tuotanto etukäteen. Akuston mitoitus sekä muut laitteiston komponenttivalinnat ovat suoraan vaikuttavia tekijöitä akuston elinikään. Akuston ylimitoittaminen lisää elinikää huomattavasti, sillä akuston varausta ei saa päästää liian matalalle, jotta akku ei kärsi tyhjetessään varauksesta. (Swenergia 2018.)

Pienissä järjestelmissä usein käytettävät akkutyypit ovat lyijyakkuja, johtuen niiden huokeasta hinnasta sekä helposta ylläpidosta. Tästä syystä niitä kutsutaankin huoltovapaiksi akuiksi. Akkujen kunto on syytä kuitenkin tarkistaa vuosittain esimerkiksi akuston kuntoa tarkkailevalla akkumittarilla ja testaamalla sitä raskaalla kuormituksella. (ST-käsikirja 40, 55.)

Aurinkoenergian varastointiin tarkoitettu akusto on aurinkojärjestelmän pisimpään kestäviä komponentteja, jos akuston koko on mitoitettu jo suunnitteluvaiheessa tarpeeksi kattavaksi omalle tarpeelle. Suunnitteluvaiheessa onkin tärkeää mitoittaa akut niin, että ne kattavat myös tulevaisuuden mahdollisesti kohonneet sähkönvaraustarpeet.

Suosittelavaa olisi, ettei aurinkovoimalaan lisätä enää pitempi aikaisen käytön jälkeen akkuja, vaan jos akusto osoittautuu liian pieneksi ajan kuluessa, tulee akusto vaihtaa kerralla suurempaan. (Swenergia 2018.)

#### 5.1.6 Lataussäädin

Lataussäädin on akuston energiansiirtoa hallitseva ja tarkkaileva komponentti. Tällä laitteella hallitaan akuston latausta ja estetään olennaisesti akustojen liiallinen purkautuminen eli syväpurkautuminen. Jos akun varaustila on liian alhainen, katkaisee säädin sähkönsyötön kuormilta. Säädin voi tässä tilanteessa antaa myös pelkän hälytyksen syväpurkautumisen tapahtumisesta, jolloin koko jakelu sammutetaan käsikäyttöisesti. Aurinkopaneelin maksimivirta kertoo sen, millainen lataussäädin järjestelmään sopii.

#### 5.1.7 Inventteri

Inventteri on vaihtosuuntaaja, joka muuttaa aurinkopaneeleista saadun DC-jännitteen siniaaltoiseksi 230 V AC-jännitteeksi. Vaihtosuuntaaja onkin yksi tärkeimmistä elementeistä aurinkoenergian kokonaisvaltaisen hyödyntämisen kannalta. Inventteri on välttämätön, jos käytetään samoja laitteita kuin tavallisissa kotitalouksissa. Sähkö, jota ei lataushetkellä tarvita, syötetään akkuihin odottamaan käyttöä. Uudet hybridi-inventterit sisältävät integroidun akunhallintajärjestelmän. Jotta aurinkovoimalajärjestelmä saadaan kestäväksi, vaatii se laadukkaan inventterin, jossa on konvektiojäähdytysjärjestelmä. Heikkolaatuiset vaihtosuuntaajat ovat turha investointi, sillä ne kestävät huomattavasti vähemmän kuormitusta ja ikää kuin parempi laaduiset vaihtosuuntaajat. (LGenergy 2019.)

Inventterin mitoituksessa otetaan huomioon sähkölaitteiden yhteenlaskettu teho, sillä vaihtosuuntaajan pitää olla ainakin yhtä suuri kuin laitteiden kokonaisteho. Vaihtosuuntaajia saakin eri tehoille ja jännitteille mitoitettuna. (JN-Solar 2019.)

### 5.1.8 KytKentä

KytKettäessä useita aurinkopaneeleita akkukäyttöisen aurinkovoimalajärjestelmään on vaihtoehtoina erilaisia kytKentätapoja. Vaihtoehtoja ovat rinnankytkentä, sarjankytkentä sekä näiden yhdistelmä.

Rinnankytketyillä paneeleilla muodostuu useita polkuja virran kulkeutumiseksi eteenpäin. Jos piirissä on rikkinäinen komponentti, jatkaa virta etenemistä muita polkuja pitkin huomioimatta katkennutta polkua. Rinnankytkentä menetelmää käytetään muun muassa kotitalouksien sähköistämässä. Kun aurinkopaneelit kytketään rinnan, jännite pysyy samana, mutta virta lisääntyy komponenttien mukaan. Esimerkiksi jos katolla on 2 aurinkopaneelia samanaikaisesti rinnan kytkettynä, on jokaisen nimellisarvo erikseen 12 V sekä 5 A, mutta koko ryhmän jännite olisi 12 V ja 10 A. (Hespv 2019.)

Sarjaan kytketyllä piirillä on vain yksi polku, jota virta pystyy kulkea. Tämän vuoksi kaiken piirissä kulkevan virran on kuljettava kaikkien komponenttien läpi. Sarjaan kytketty virtapiiri on jatkuva suljettu piiri, jonka toiminta lakkaa välittömästi, kun joku piirin komponenteista hajoaa ja estää siten koko sarjan toiminnan. Sarjaan kytketyistä piireistä esimerkkinä toimii osa jouluvaloista, jotka lakkaavat toimimasta kokonaan, kun yksi hehku rikkoontuu. Kun aurinkopaneelit kytketään sarjaan, jännite kasvaa, mutta virta pysyy samana. Esimerkiksi, jos katolla on 2 aurinkopaneelia, on jokaisen nimellisarvo erikseen 12 V ja 5 A, mutta ryhmässä niiden yhteinen jännite on 24 V ja virta 5 A. (Hespv 2019.)

### 5.2 Komponenttien vertaaminen

Akkukäyttöistä varavoimalaa hankittaessa, tärkeimpiä prioriteetteja on hinta-laatusuhteen kohtaaminen. Hinta-laatusuhde on tärkeä huomioonotettava seikka, sillä jo suunnitteluvaiheessa lasketaan koko järjestelmän kannattavuutta. Käyttöään laskennalliseen määrittämiseen vaikuttaa suoraan paneelien teho sekä kestävyys.

Asiaa kannattaa lähestyä myös kunnossapidon näkökulmasta, sillä jotkut akut vaativat tiheämmän huoltovälin. Joissakin tapauksissa aurinkosähköjärjestel-

mälle vaaditaan laadittavaksi kattava kunnossapito-ohjelma. Aurinkosähköjärjestelmät tulee tarkastaa mahdollisten vikojen vuoksi. Kunnossapito-ohjelmaan tulee lisätä myös kattava järjestelmän puhtaanapitosuunnitelma.

## 6 AURINKOVOIMALAN RAKENNUS MATKAILUAUTOON

Aurinkovoimalan rakennus alkaa aina suunnittelusta. Suunnitteluun kannattaa käyttää aikaa ja harkintaa, jotta saavutetaan juuri oikeanlainen lopputulos. Lopputuloksen onnistumiseen on pyrittävä jokaisella aurinkovoimalan komponentin valinnalla, sillä jokaisella laitteella ja kaapeloinnilla on oma merkitys optimaaliseen lopputulokseen.

### 6.1 Suunnittelu

Tärkeintä on suunnitella kokonaisuuden tehontarve tarkkaan, jotta paneelin tuottama teho kattaa komponenttien tehontarpeen. Matkailuautossa tila on yleensä rajallinen, joten yksittäisen paneelin on hyvä olla teholtaan (W) suurempi.

Suunnitellessa on tärkeää ottaa huomioon vaihtojännitettä tarvitsevat laitteet sekä tasajännitettä käyttävät laitteet. Jos DCV-laitteita on huomattavan paljon, pitää panostaa laadukkaaseen lataussäätimeen, jossa on valmiiksi 12 VDC ulostuloja.

Jos ACV-laitteita on vähän, voidaan inventteri mitoittaa niiden mukaan. Hinta nousee tehon mukaan, joten alkuvaiheen investoinneissa on hyvä ottaa huomioon, miten tehokkaita laitteita 240 VAC jännitteellä tarvitaan.

Paneelit ja akku on hyvä mitoittaa laskemalla, sillä silloin on pakko mitoittaa oma tehonkulutuksensa mahdollisimman tarkkaan.

Paneelien mitoituskaava

$$P_{PV} = \frac{E_{pvä}}{TK \times IK \times KK} \quad (1)$$

Missä

*TK<sub>min</sub>*      pienin paneelin tuottokerroin silloin, kun matkailuautossa ollaan vähiten

*KK*            Paneelien kaltevuuskerroin

*IK*            Paneelien suunta (100%)

$E_{pvä}$	tarvittava päiväenergia Wh/vrk
$P_{pv}$	tarvittava paneeliteho Wp

Kun vuorokauden energian kokonaiskulutus on laskemalla arvioitu, on vuorossa seuraavaksi akun mitoittaminen. Akun mitoituksessa on tärkeää muistaa, että akun varauksesta ja kapasiteetista käytetään vain noin 50 %, jotta akun varausta ei purettaisi liikaa.

Akuston mitoituskaava

$$Q = \frac{S \times A \times E_{pvä}}{U} \quad (2)$$

Missä

$S$	Syväpurkauksen estokerroin
$A$	Asumiskerroin: viikonloppu=2 vrk, jatkuva käyttö=4vrk
$E_{pvä}$	Tarvittava päiväenergia Wh/vrk
$U$	Akuston jännite, esim. 12V
$Q$	Akuston kapasiteetti Ah

(ST-käsikirja 40 2019, 86.)

## 6.2 Komponenttien hankinta matkailuautoon

Matkailuautoon hankittu paneeli on paneelityypiltään monikidepaneeli joka on teholtaan 80W. Matkailuauton sähkökalustus kokonaisuuteen kuuluu valot, jotka ovat pääasiassa Led-valoja, pistorasiat niin 12 VDC sekä 230 VAC ja vesipumppu.

Paneeli kattaa laskennallisesti hyvin komponenttien vaatiman tehontarpeen ja siksi isompi tehoiseen paneeliin on turha panostaa tässä vaiheessa.

Matkailuautossa on kaksi vapaa-ajan akkua, jotka molemmat ovat virraltaan 100 A suuruisia. Kohteessa on käytetty PV lataussäädintä malliltaan LCD PWM 12V/2V/10A



Kuva 4. Lataussäädin (Onninen)

Matkailuautoon asennettu lataussäädin (Kuva 4), joka vastaanottaa energiaa aurinkopaneeleilta ja vie virran eteenpäin akulle. Säätimen nimellisvirta on 10A ja USB-ulostulo 5V/3A. Laitteen käyttölämpötila on -35C -60C välillä. Maksimi tulo paneeleilta on enintään 50 V. Matkailuautoon hankittu inventteri eli vaihtosuuntaaja on teholtaan 3500 W.

### 6.3 Asennus

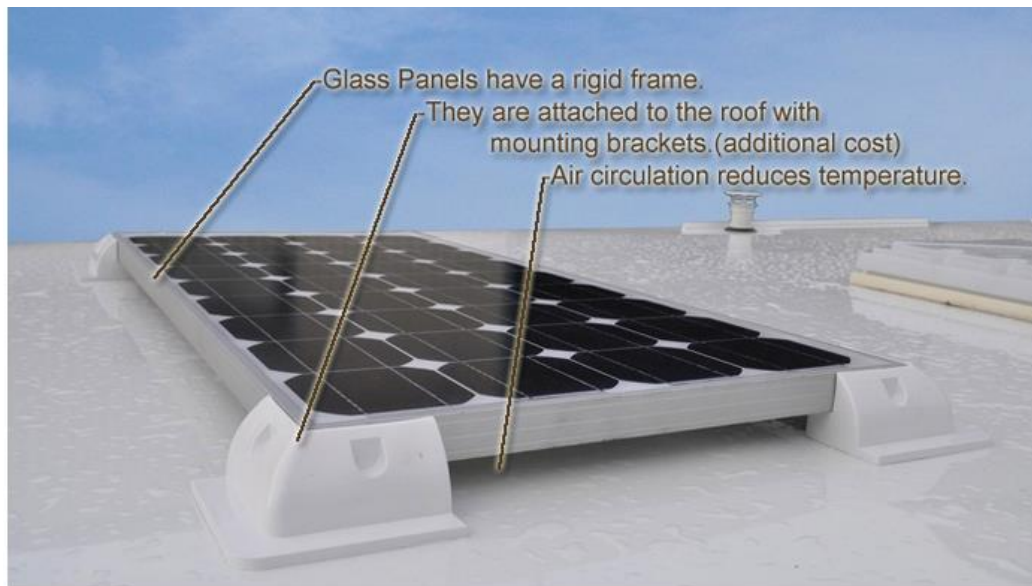
Akullisen aurinkovoimalan asennus on helppoa, eikä ammattilaista välttämättä tarvita. Ennen aurinkopaneelin asennusta on hahmoteltava paneelin paikka ja puhdistettava pinta huolellisesti. Johdon sisääntulo on mitattava tarkkaan, sillä reikä porataan auton sisäpuolelta katon läpi oikean kokoisella terällä. Jotta kaapeli ei vioittuisi, on reikää vielä hiottava tasaiseksi, jotta terävät kulmat eivät leikkaa kaapelin vaippaa ja vahingoittaisi kaapelia.

Seuraavaksi kaapeli viedään kattoaukon läpivientirasian läpi. Koteloon kulkevan kaapelin ympärillä olevat ruuviitännät kiristetään tarkoin, jotta löysyyden vuoksi kaapeli ei pääsisi karkaamaan. Kaapelin toinen pää viedään katon reiän läpi ulos ja jätetään ympärille tarpeeksi tilaa, jotta koteloa on myöhemmässä vaiheessa helppo käsitellä ja käännellä. (Practical caravan 2019.)



Paneeliin kiinnitetään auton kattoon kiinnitettävät kulmapidikkeet ja saadaan paneelille niin kutsutut jalat. Ne asennetaan paneelin runkoon Torx-päisillä porausruuveilla. Aluksi merkitään tarkkaan kohdat, johon ruuvit kiinnitetään pois pyyhittävällä tussilla, jotta haittaavia jälkiä ei jää. Ennen ruuvien kiinnitystä voi runkoon porata muutaman millin syvyiset tukireiät ruuveille, joilla helpotetaan ruuvien kiinnittämistä. (Practical caravan 2019.)

Katolla kiinnitetään vedenpitävät liittimet aurinkopaneelien kaapeleiden ja autosta tulevien kaapelien yhdistämiseksi. Viimeiseksi kiinnitetään kaikki jäljelle jääneet johdot paneelin alle tähän tarkoitetuilla pidikkeillä. Jotta saadaan tarpeeksi kattava vesitiivistys, puristetaan silikonია vielä läpivientireikiin ja tilkitään kunnolla mahdolliset raot.



Kuva 5. Paneelin kiinnitys auton kattoon. (Smith 2019.)

Kun paneeli on kulmapidikkeissään paikallaan, tarkistetaan, että paneeli on varmasti asennettu suoraan jalkojen päälle, sillä jokainen väärä kallistuskulma heikentää aurinkoenergian kattavaa talteenottoa. Jalkojen alle levitetään liimaa ja painetaan kokonaisuus paikoilleen katolle. Paneelia on hyvä painaa kattoa vasten jonkun aikaa, jotta muodostuu varma ja pitävä liimasidos. Jos mahdollista, olisi liimasidoksen hyvä kuivua rauhassa noin vuorokauden varman pitävyyden takaamiseksi. (Practical caravan 2019.)

Kun katolla paneeli on kiinnitetty ja kaapelointi suoritettu, tulisi asuntoauton sisälle seuraavaksi asentaa lataussäädin vapaasti määriteltävään paikkaan. Matkailuauton tapauksessa lataussäädin päätettiin asentaa kaapin takaseinään lähelle ulosvientiä, jotta kaapelin pituutta ei tarvitse kasvattaa ja laite jää sopivasti piiloon. Paneelilta tuleva kaapeli leikataan sopivan mittaiseksi ja sovitetaan säätimeen. (Practical caravan 2019.)

Latausyksikkö kiinnitetään seinään tarpeeksi lyhyillä ruuveilla, jotta ruuvien päät eivät ilmesty auton ulkoseinän läpi näkyville. Aurinkopaneelin sekä akun kaapelit kiinnitetään säätimessä niihin merkattuihin kohtiin.



Kuva 6. Lataussäädin. (Onninen 2019.)

Akkuun johtava kaapeli kiinnitetään siististi muihin johtoihin pidikkeillä, ja viedään se huomaamattomasti akkukoteloon esimerkiksi listojen takaa. Akkukoteloon voidaan asentaa lämpötila-anturi mittaamaan akun lämpötilaa, mutta, koska akkukotelot on yleensä mitoitettu juuri akun koolle sopivaksi, lämpöanturi ei useinkaan mahdu mukaan. Jos lämpötila-anturi asennetaan, asennetaan se akun sivulle mahdollisimman lähelle positiivista napaa ja johdetaan johdot takaisin latausyksikköön. Tämä vähentää varausta aurinkopaneelilta akun kuumetuessa liikaa. (Practical caravan 2019.)

Jos paneelien tehontuotannon tarve kasvaa, voi voimalaa päivittää isommaksi helposti, jos tilaa riittää. Jo kaksi aurinkopaneelia vaatii todella paljon tilaa, joten

jo alun perin olisi hyvä mitoittaa tarpeeksi suuritehoinen paneeli omalle käyttöku-  
lutukselle sopivaksi.

Useampi paneeli voidaan kytkeä rinnakkain, jolloin samalla jännitteellä (V) saa-  
daan kaksinkertainen teho (W). Vastaavasti useampia akkuja voidaan myös kyt-  
keä toisiinsa samanaikaisesti moninkertaistamaan säilytyskapasiteettia. Useam-  
man akun ansiosta voidaan tuottaa inventterin kautta tasaisempaa 240 VAC jän-  
nitettä käytettäväksi esimerkiksi mikroaaltouunille. (Smith 2019.)

Esimerkiksi neljä 100 W paneelia tuottaa (4x5,5 A), jolloin saadaan 22 A ja tällöin  
30 A säädin on tarpeeksi kattava ja saatava lataus on sopiva akulle. (Smith 2019.)

#### 6.4 Kaapelointi

Aurinkosäädintä ostaessa mukana tulevat ohjeet kertovat ja yksilöivät tarvittavan  
johdon paksuuden, mutta yleensä matkailuautosovituksissa käytetään 6 mm<sup>2</sup>  
UV-pinnoitettua johtoa, joka yhdistää aurinkopaneelin lataussäätimeen. Saman-  
paksuisella johdolla säätimen voi kytkeä myös ensimmäiseen akkuun. Kytettä-  
essä akkuja toisiinsa on suositeltavaa käyttää esivalmistettuja akkujohtimia, joita  
on saatavilla autojen varaosia myyviltä tahoilta. Jos vaihtosuuntaaja on suuri, esi-  
merkiksi yli 2000W, voi sen kytkeä akkujohtojen kanssa akkuihin. (Smith 2019.)

Aurinkoenergiajärjestelmään soveltuvia johtoja ovat aurinkopaneeli- ja pv-johdot.  
Näitä johtotyyppäjä käytetään yhdistämään aurinkopaneelit muun aurinkosähkö-  
järjestelmän kanssa. Oikean johdon valinta on tärkeää, jotta aurinkovoimalan  
komponentit toimivat parhaalla mahdollisella tavalla ja laitteet pysyvät ehjinä. Jos  
valitaan väärän kokoinen PV-johdin, esimerkiksi liian pieni, ei akut välttämättä  
lataudu optimaalisesti täyteen. Tällöin niihin kytketyt laitteet eivät toimi yhtä hyvin  
ja täydellä teholla.

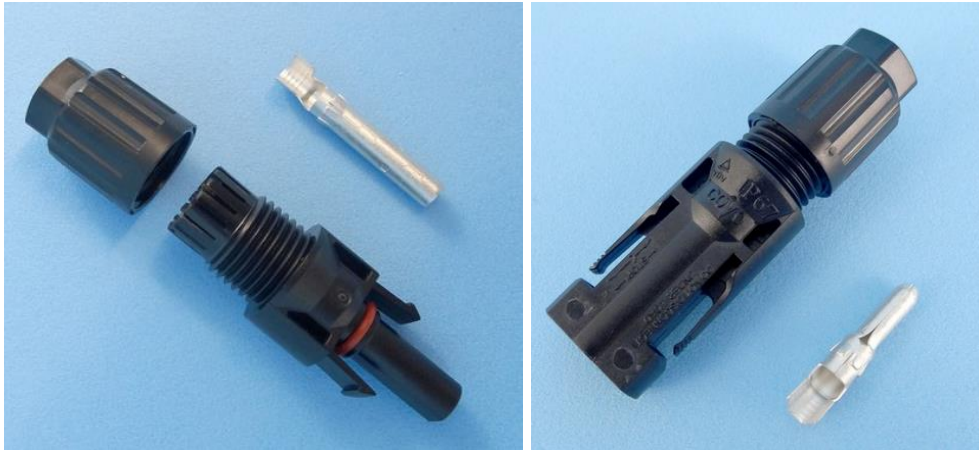
Aurinkovoimalajärjestelmissä käytetyt kaapelit ovat rakenteeltaan vastaavia kiin-  
teistosähköistyksissä käytettävien kaapeleiden kanssa. Johtotyypit luokitellaan  
pääasiassa johdon ominaisuuksien perusteella. Jos johdossa on vain yksi metal-  
lilangan ydin, on se silloin yksisäikeinen johto ja jos johdossa on useita lankayti-  
miä, on kyseessä tällöin monisäikeinen johdin.

Ero yksisäikeisen ja monisäikeisen johdon välillä on se, että monisäikeinen johto toimii paremmin jatkuvassa värähtely-ympäristössä, kuten autoissa ja veneissä. Yksisäikeistä johtoa käytetään enemmän kiinteistöjen johdotuksissa. Kuitenkin jos kiinteistö sijaitsee esimerkiksi tuulisella paikalla, on monisäikeinen johtotyyppi parempi valinta joustavuutensa vuoksi. Yksisäikeinen johto vaatii toimiakseen tasan värähtelemättömän aseman.



Kuva 7. Läpivientirasia. (Smith 2019.)

Läpivientirasiaa käytetään silloin, kun kaapelit viedään matkailuauton katolle. Tämän avulla saadaan aikaiseksi puhdas vedenpitävä sisääntulo. Kaapelin läpivienti saa kyseisen rasian avulla korkean IP-luokituksen IP67, mikä tarkoittaa sitä, että se on täydellisen suojauksen antava ja pölytiivis. Näiden ominaisuuksien lisäksi se kestää jopa hetkellisen upotuksen veteen. (Smith 2019.)



Kuva 8. Vedenpitävä aurinkovoiman MC4-liitin (Smith 2019.)

Pöly- ja vesitiiviit aurinkosähköliittimet soveltuvat erinomaisesti vaikeisiin asennuksiin vaikeissa olosuhteissa, sillä ne puristuvat tiukasti kaapelin ympärille. Aurinkosähköliittimen lukituspidikkeet estävät vahingossa tapahtuvan irtoamisen. (Smith 2019.)



Kuva 9. Aurinkokaapeli 6mm<sup>2</sup>, UV-stabiloitu (Smith 2019.)

Kaapeli on valittava niin, että se pystyy häiriöttömään yhteyteen ulkoisten aurinkopaneelien ja aurinkosäätimen välillä. Paneelista kaapeloidaan kumijohdolla lataussäätimelle, josta kaapelointi jatkuu lataussäätimeltä akulle.

## 7 ULKOISET VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Pohjoisesta sijainnista johtuen, aurinkovoimala joutuu monen eri sääolosuhteen armoille. Kesällä siitepöly leviää voimakkaasti ja talvella lumipeite peittää paneelit alleen. Aurinkoa on kesällä saatavilla vuorokauden ympäri yöttömien öiden vuoksi, kun taas talvella vallitsee kaamos. Kaamoskuukausina aurinkoenergiaa ei saada talteen juuri ollenkaan, kun taas kesällä aurinkoenergiaa on tarjolla runsaasti. Tämä tuo omat haasteensa aurinkoenergiajärjestelmän kattaviin käyttömahdollisuuksiin.

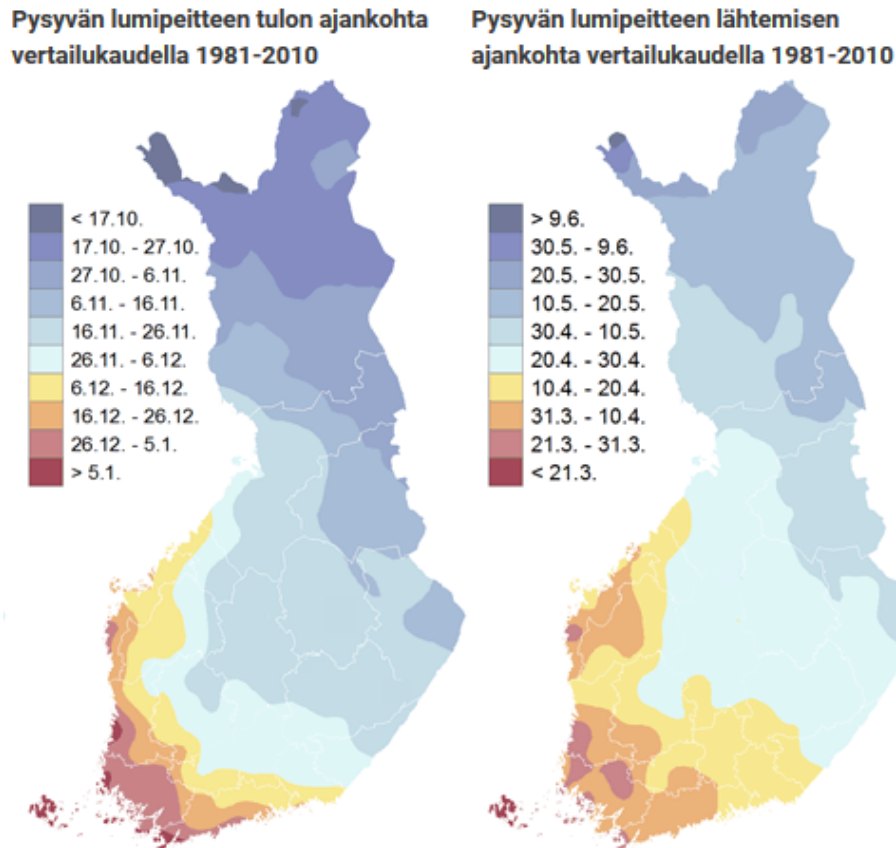
### 7.1 Tuuli

Tuuliolosuhteet eivät ole merkittävä haitta, sillä ne eivät vaikuta suoraan aurinkopaneelien toimintaan. On kuitenkin pari tekijää, joiden kautta tuuli vaikuttaa paneelien käytettävyyteen: tuiskulumen kertyminen paneelin pinnalle sekä myrskyvauriot. Tuuli voi osaltaan myös puhdistaa paneeleita lumesta, vaikka lumen kertyttäminen onkin todennäköisempää. Kesällä tuuli on paneeleiden kannalta positiivinen tekijä, sillä lämpimällä säällä tuuli viilentää paneeleita ja puhaltaa pois mahdolliset roskat, kuten lehdet. Paneeleiden viilentyminen on tärkeää kesällä, jolloin paneelien pintalämpötila kohoaa helposti korkeaksi. Tuulen aiheuttama viilentyminen parantaa niiden hyötysuhdetta. (Rintala & Joutsenvaara 2016.)

Aurinkosähköjärjestelmiin kohdistuvat myrskyvauriot ovat harvinaisempia, mutta tämä vaihtoehto ei silti ole täysin pois suljettu. Myrskyvaurioiden ennaltaehkäisemisessä varmin tapa on noudattaa tarkasti laitevalmistajien ohjeita asennusvaiheessa, sekä panostaa paneelijärjestelmän huolelliseen kiinnitykseen. Tuulisilla alueilla on jo suunnitteluvaiheessa tärkeää ottaa huomioon vallitseviin olosuhteisiin soveltuvat kiinnitysratkaisut sekä materiaalit. (Rintala & Joutsenvaara 2016.)

### 7.2 Lumi

Arktisilla alueilla suurin uhka paneelien toimivuuteen on lumi. Lumipeite on pohjoisessa suuren osan vuodesta, jopa yhdeksän kuukautta, aina lokakuun alusta jopa kesäkuun alkuun. (Ilmatieteenlaitos 2019.)

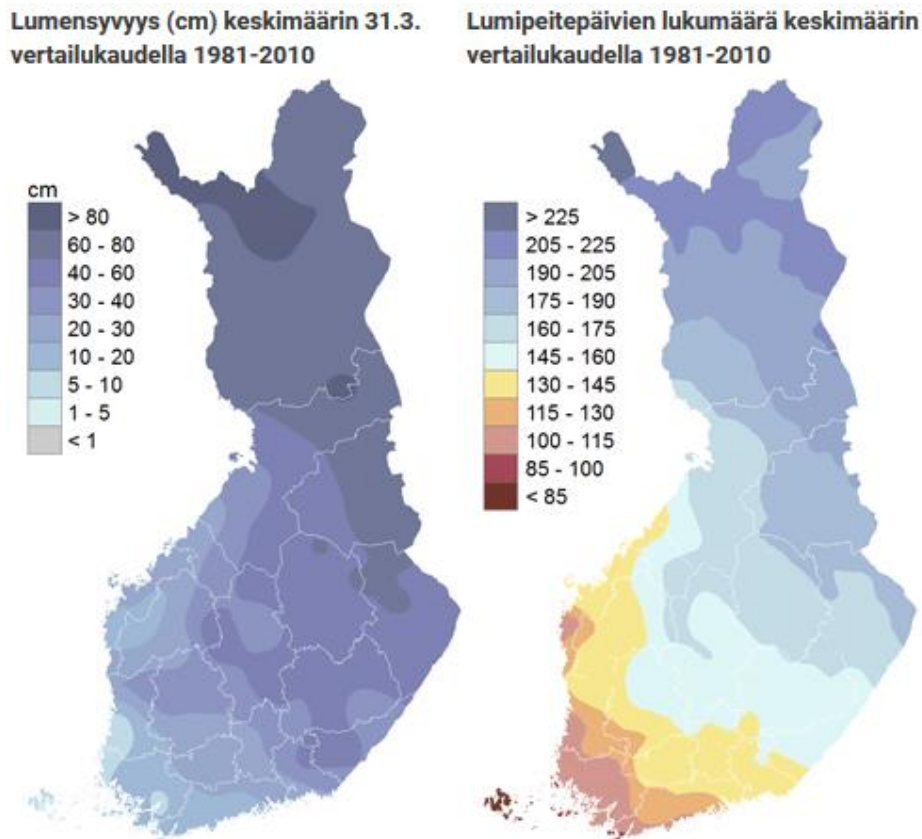


Kuva 10. Vasemmanpuoleinen kartta esittää pysyvän lumipeitteen alkamisen ajankohdan ja oikeanpuoleinen kartta esittää pysyvän lumipeitteen päättymisen keskimääräisen ajankohdan vertailukaudella 1982-2010. (Ilmatieteenlaitos 2019.)

Lumen kertyminen aiheuttaakin suurimmat haasteet paneelien energiantuotantoon, sillä lunta voi kertyä lyhyessäkin ajassa jopa kymmenen senttiä. Lumi estää auringonsäteilyn pääsyn paneelin pintaan. Ohutkin lumikerros heikentää paneelien energiantuotannon tehokkuutta. Paksumpi lumikerros paneelilla voi johtaa siihen, että tuotantoa ei ole ollenkaan.

Yksi merkittävämmistä kysymyksistä on se, miten lumikuorman puhdistaminen tapahtuu niin, että vaurioita ei syntyisi. Teoriassa voidaan olettaa, että syöttämällä paneeliin sähköä, paneeli saadaan kuumentamaan. Ei kuitenkaan voida tietää toimitko se käytännössä niin, että katto ja paneelit puhdistuisivat lumesta. (Virtanen 2019.)

Lumen normaali puhdistus paneelilta ei ole kannattavaa, mutta pohjoisessa lumitilanne sen vaatii. Esimerkiksi Miasolen Cigs paneelin pintakalvon naarmuuntuminen ei itsessään riko paneelia, mutta todennäköisesti se lyhentäisi sen käyttöikä. Puhdistus lapiolla ja pinnanläheisyydessä harjalla on siis suoritettava erityistä varovaisuutta noudattaen. (Virtanen 2019.) Lumen kertyttämä paino on myös yksi paneeleita vaurioittava tekijä.



Kuva 11. Vasemman puolimmaisessa kuvassa on esitetty keskimääräinen lumensyvyys 31.3. sekä oikealla keskimääräinen lumipeitepäivien määrä vertailukaudella 1981-2010. (Ilmatieteenlaitos 2019.)

### 7.3 Pakkanen

Pohjoisen kylmän ilmaston vuoksi on löydettävä tehokkaita ratkaisuja lumen ja jään aiheuttamiin ongelmiin. Yksi mahdollinen ratkaisu voisi olla lämmityskaapelit, joilla sulatetaan katon pintaa lumesta ja jäädästä. Kaapelia ei kuitenkaan voida varauksettomasti vetää paneelien päälle, joten tulokset jäävät vähäisiksi.



Toisaalta kylmä pohjoismainen ilmasto voi olla etuna aurinkoenergian tuotannossa, koska aurinkopaneelien hyötysuhde kasvaa alhaisissa lämpötiloissa. (Nordic Energy 2019.)

#### 7.4 Yöttömät yöt sekä kaamos

Vaikka pohjoisessa aurinkoisia tunteja riittää, korkeat leveysasteet aiheuttavat joitakin haasteita aurinkovoimalalle. Talvella yöt ovat pitkiä ja kesällä yöttömien öiden aikaan auringon polku taivaan yli vaihtelee paljon. Ratkaisuja näihin ongelmiin on kehitetty, vaikkakin ne ovat vielä testausvaiheessa. Yksi ratkaisu on kaksiakselinen aurinkoenergiajärjestelmä, joka kallistaa paneeleja niin, että ne ovat aina suoraan aurinkoa kohti 90 asteen kulmassa. Tämä aurinkoseurantateknologia on osaltaan mahdollistanut pohjoisille voimaloille energian tuottamisen korkeista leveysasteista huolimatta. Seurantajärjestelmät toimivat sitä paremmin, mitä suuremmilla leveysasteilla ollaan. (Nordic Energy 2019.)

## 8 TULOKSET

Tutkimustuloksia on vain vähän saatavilla pohjoisen alueen aurinkoenergian tuotavuudesta. Toisaalta kylmä ilmasto ja kesällä pitkät päivät luovat aurinkovoimalan tehokkuuden kannalta olosuhteet luontoystävällisen energian tuottamiseen. Kuitenkin pitkät talvet ja paneelien pakkasen kestävyys ovat osaltaan tuomassa epävarmuutta paneelien mutkattomaan käyttöön ja kestävyyteen.

Tulosten analysointiosiossa käydään läpi eri paikkakunnilla säteilyn määrää keskimäärin tunnissa valittuina koekuukausina. Odotettavaa olisi, että Utsjoen säteilymäärä voisi heinäkuussa kohota jopa lähelle Helsingin säteilymäärää.

Koekuukaudet ovat heinäkuu ja syyskuu, jotka valikoituivat valon määrään vuoksi. Heinäkuussa pohjoisessa, eli Sodankylässä ja Utsjoella aurinko paistaa läpi vuorokauden kirkkaina päivinä. Koska Helsingissä yöt kuitenkin laskeutuvat, on mielenkiintoista seurata, mitä vaikutuksia sillä on Helsingin kokonaissäteilymäärään.

Syyskuu valikoitui koekuukaudeksi sen vuoksi, että sääolosuhteet ovat pohjoisessa jo paikoin kylmät ja aurinko ei enää näyttäydy niin kauaa. Syyskuussa on kuitenkin oletettavaa saada vielä jonkinlaista tuottoa aurinkovoimalalla ja on mielenkiintoista nähdä, kuinka paljon.

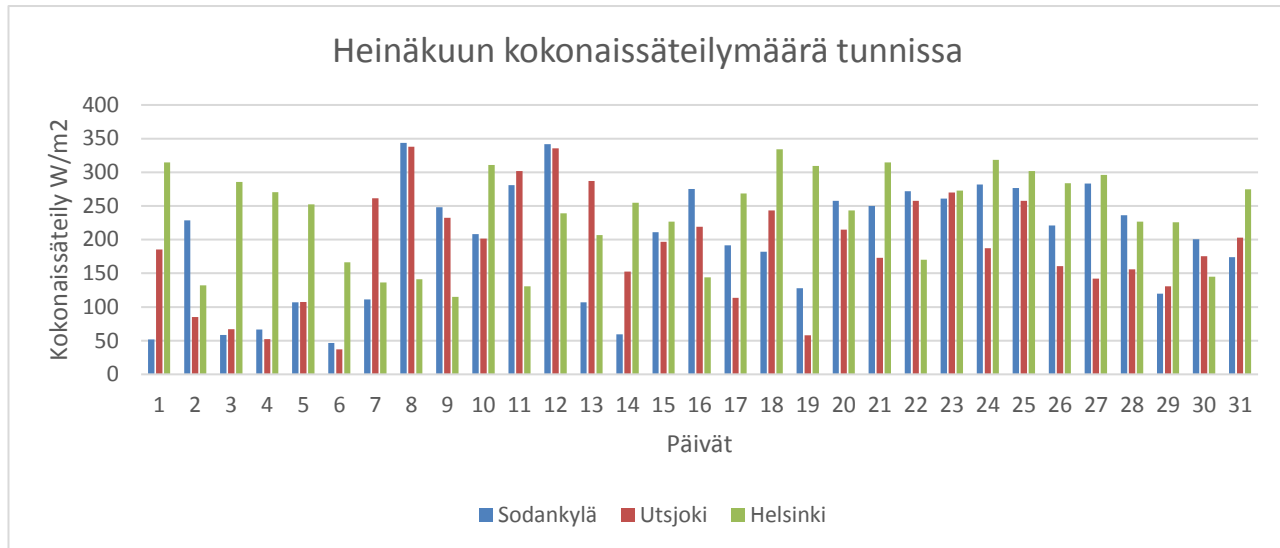
Kokonaissäteilymäärät kuukauden jokaiselle päivälle, on saatu laskemalla tunnin välein saadut säteilytiedot yhteen 24 tunnin ajalta ja jaettu summa 24, eli vuorokauden tuntien määrällä. Tulokset vastaavat siis keskimääräistä kokonaissäteilymäärää, joka on säteilyt tunnissa kohdepaikkakunnalle.

## 8.1 Tulosten tutkiminen ja analysointi

Diagrammin (Kuvio 11) tulosten mukaan Utsjoella ja Sodankylässä on jopa paremmat kokonaissäteilyn määrät heinäkuussa kuin Helsingissä. On otettava huomioon, että alkukuukaudesta on mahdollisesti pohjoisessa ollut pilvisempiä päiviä, jolloin säteily määrät pysyvät alhaisena. Päivien pilvisuus vaikuttaa todella paljon siihen, paljon säteilyä pääsee läpi maahan asti.

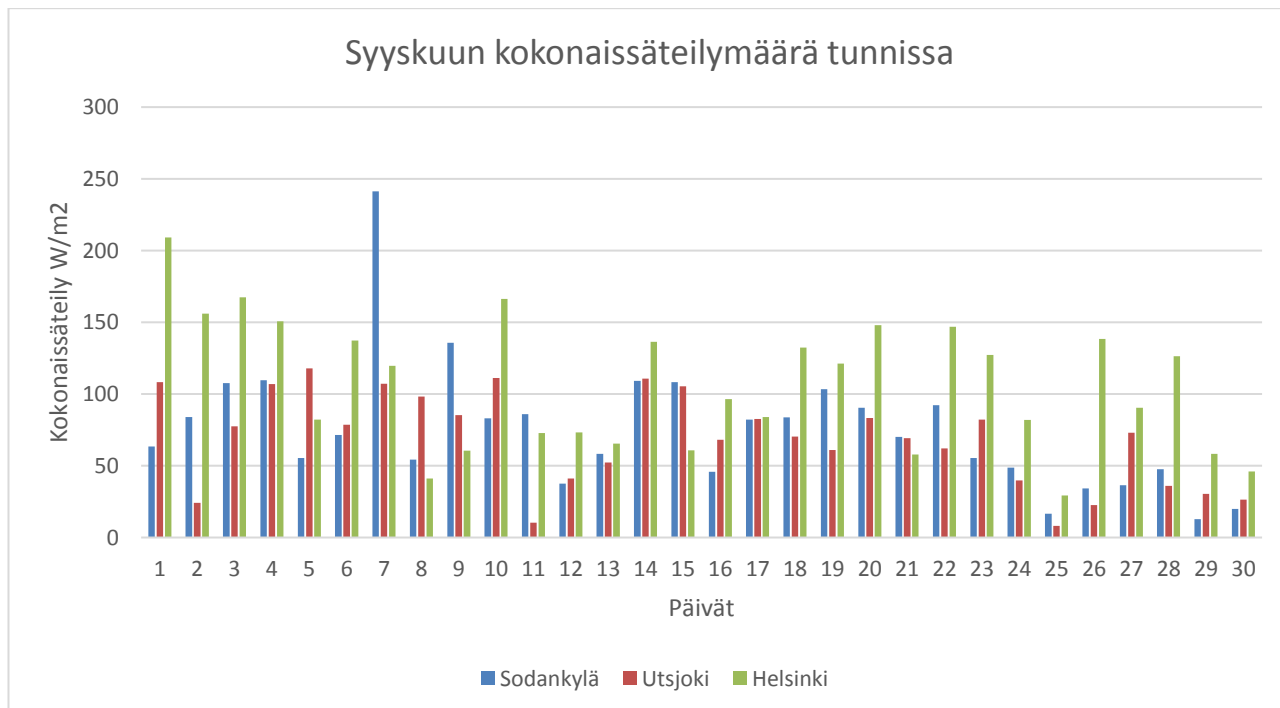
Heinäkuussa kokonaissäteily määrä Utsjoella kohoaa keskimäärin tunnissa jopa  $335 \text{ W/m}^2$  asti, joka vastaa Helsingin kokonaissäteily määrää. Helsingissä kokonaissäteilyn määrä päivässä per tunti ei kohoaa niin korkeaksi kuin Utsjoella tai Sodankylässä, mutta Helsingissä on useampina päivinä keskimäärin enemmän kokonaissäteilyä kuin muissa koekunnissa. Tutkimustulosten perusteella kokonaissäteily määrät päivässä ovat suuremmat silloin, kun pohjoisessa aurinko pysyy horisontin yläpuolella, jolloin säteilyä saadaan vuorokauden jokaisena tunnina. Vaikka Helsingissä päivien aikana sama säteily määrä on suurempaa kuin pohjoisessa, ei siellä yöllä saada ollenkaan säteilyä auringon laskiessa horisontin alapuolelle.

Kesäkuukausina pohjoisessa on selkeällä ilmalla vuorokauden ympäri saatavilla energiaa. Akkukäyttöisellä aurinkovoimalalla tämä on etu, sillä paneeli kerää energiaa myös yöllä talteen joko suoraan käyttöön tai akkupankkiin talteen myöhemmää käyttöä varten.



Kuvio 11. Heinäkuun auringonsäteilyn mittaukset (Käytetty data ilmatieteenlaitos 2019.)

Diagrammia (Kuvio 12) tarkasteltaessa huomataan Helsingin Kumpulan voittavan säteily määrässä Sekä Sodankylän Tähtelän ja Utsjoen Kevolla. Utsjoen säteily määrä on kuitenkin syyskuun puoliväliin saakka tarkasteltuna Sodankylän säteily määrää keskimäärin suurempi.



Kuvio 12. Syyskuun auringonsäteilyn mittaukset (Käytetty data ilmatieteenlaitos 2019.)

Syyskuussa kokonaissäteily määrä Helsingissä tai Utsjoella ei yllä Sodankylän kokonaissäteily määrän tasolle. Helsingissä ja Utsjoella on pienemmät säteily määrät vuorokaudessa per tunti. Helsingissä on kuitenkin useampina päivinä keskimäärin enemmän kokonaissäteilyä kuin muissa koekunnissa.

Tutkimustulosten perusteella kokonaissäteily määrät päivässä ovat suuremmat Helsingissä, jossa aurinko näyttäytyy kauemmin kuin pohjoisessa. Syyskuussa päivä on lyhentynyt jo huomattavasti pohjoisessa siitä, mitä se kesäkuukausien aikana on. Syyskuun loppupuolen tuloksista huomataan, että Utsjoen korkeudella auringosta saatavan säteilyn määrä on heikkoa, jolloin aurinkopaneeli ei saa kerättyä tarpeeksi energiaa käyttöön tai akkupankkiin.

## 9 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä esitettyjen tutkimustulosten perusteella aurinkoenergia on varteenotettava vaihtoehto myös napapiirin pohjoispuolella. Erilaisia paneelityyppejä on vertailtava parhaan lopputuloksen saamiseksi, mutta aurinkoa seuraava aurinkoenergiajärjestelmä on tähän mennessä osoittautunut parhaaksi menetelmäksi kerätä energiaa.

Aurinkoenergia on loistava ratkaisu nimenomaan sähköttömiin mökkeihin ja asumuksiin. Mökki- sekä matkailuautososonki keskittyy yleensä kevästä syksyyn, jolloin napapiirin pohjoisosissa on valoisaa ympäri vuorokauden. Paneeli tulee asentaa sellaiseen kulmaan, joka mahdollistaa mahdollisimman tehokkaan säteiden keräämisen. Matkailuauton katolla ei voi liikkeen aikana pitää koholla olevia, aurinkoa seuraavia paneeleja, mutta niille voisi kehitellä esimerkiksi säädettävän telineen, joka nostetaan oikeaan kulmaan auton ollessa paikoillaan.

Akkuvoimalaratkaisu on tänne pohjoiseen toimiva vaihtoehto, sillä täällä on paljon täysin sähköttömiä asuinrakennuksia, mikä tarkoittaa, että taloutta ei ole liitetty valtakunnalliseen sähköverkkoon. Rakennukset voivat olla pitkänkin matkan päässä lähimmästä sähköliittymästä, jolloin halutessaan sähköä mökilleen, on saatava liittymisjohto mökille. Aurinkovoimalla tuotettavaa sähköä voitaisiin markkinoida vapaana sähköntuotannon muotona ilman, että tarvitsisi investoida omaan sähköliittymään, jonka hinta voi kohota korkeallekin, etäisyyksien ollessa suuria.

Tutkimuksessa osoitetut säteilymäärät pohjoisessa kesäkuukausista aina syksyyn saakka puoltavat aurinkoenergian kannattavuutta sähköttömissä talouksissa.

## LÄHTEET

Ashok S. 2019. Solar Energy. Encyclopedia Britannica. Viitattu 14.10.2019  
<https://www.britannica.com/science/solar-energy>

EU Science Hub. 2019. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)  
– Joint Research Centre. Viitattu 29.9.2019 <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

Energy.gov 2013. Solar Radiation Basics. Viitattu 16.10.2019 <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>

Energy informative 2019. Which solar panel type is best? Mono- vs. polycrystalline vs. Thin film. Viitattu 9.11.2019 <https://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>

Energysage 2019. Types of solar panels. Viitattu 16.11.2019 <https://www.energysage.com/solar/101/types-solar-panels/>.

Hespv 2019. How to wire solar panels parallel or circuit. Viitattu 18.11.2019  
<https://hespv.ca/blog/wire-solar-panels-parallel-vs-series/>

JN-Solar 2019. Viitattu 02.10.2019 <https://www.jn-solar.fi/fi/>

LGenergy 2019. Viitattu 17.11.2019 <https://www.lgenergy.com.au/>

Motiva 2019. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Viitattu 30.9.2019  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa).

Nordic Energy 2019. Solar power at the Arctic Circle. Viitattu 16.11.2019  
<https://www.nordicenergy.org/article/solar-power-at-the-arctic-circle/>

Onninen 2019. PV charge controller LCD PWM 12V 24V 10A. Viitattu 12.11.2019  
<https://onnshop.onninen.fi/steca-pv-lataus-steca-pr2020-12-24-20a-lcd/p/CCE472>

Practical caravan 2019. How to fit solar panels to your caravan. Viitattu 17.11.2019  
<https://www.practicalcaravan.com/advice/40412-how-to-fit-solar-panels-to-your-caravan>.

Ranta-aho, I. 2016. Aurinkopaneelit tuottavat halpaa sähköä omaan käyttöön. Viitattu 11.9.2019 <https://www.meillakotona.fi/artikkelit/aurinkopaneelit-tuottavat-halpaa-sahkoa-omaan-kayttoon>.

Rintala, M. & Joutsenvaara, J. 2016. Arktisen aurinkosähkön hyödyntämisen opas. Rovaniemi: Lapin ammattikorkeakoulu.

Sciencenorway 2019. Bright future for solar energy in the north. Viitattu 16.11.2019 <https://sciencenorway.no/forskningno-norway-solar-cells/bright-future-for-solar-energy-in-the-north/1379048>

Smith P. 2019. Caravanplus. Complete guide to installing solar panels. Viitattu 1.11.2019 <https://www.caravansplus.com.au/guides/complete-guide-to-installing-solar-panels-a-49.html#1>.

St-käsikirja 40. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Swenergia 2018. Aurinkopaneelijärjestelmät. Viitattu 9.9.2019. <http://www.swenergia.fi/mokkilaiset/energia-aurinkojarjestelmat/aurinkopaneelijaarjestelman-akut.html>.

Vattenfall 2018. Aurinkopaneelit. Viitattu 28.9.2019 <https://www.vattenfall.fi/aurinkopaneeli/>

Virtanen, J. Toimitusjohtaja. 2019. Miasolen GICS opinnäytetyö. Email jaakko.virtanen@virtesolar.fi. Tulostettu 7.9.2019



## LIITTEET

Liite 1. Keskimääräisen kokonaissäteilyn määrä heinäkuussa Helsingissä

Liite 2. Keskimääräisen kokonaissäteilyn määrä heinäkuussa Sodankylässä

Liite 3. Keskimääräisen kokonaissäteilyn määrä heinäkuussa Utsjoella

Liite 4. Keskimääräisen kokonaissäteilyn määrä syyskuussa Helsingissä

Liite 5. Keskimääräisen kokonaissäteilyn määrä syyskuussa Sodankylässä

Liite 6. Keskimääräisen kokonaissäteilyn määrä syyskuussa Utsjoella

Helsinki Kumpula		Heinäkuu	
Kk päivät	Kokonaissäteily W/m2	Kk päivät	Keskimääräinen kokonaissäteily tunneittain W/m2/24
1	7553,2	1	314,7
2	3170,8	2	132,1
3	6855,2	3	285,6
4	6493	4	270,5
5	6056,2	5	252,3
6	3996,3	6	166,5
7	3275,1	7	136,5
8	3391,5	8	141,3
9	2761,1	9	115
10	7463,8	10	311
11	3137,1	11	130,7
12	5741,9	12	239,2
13	4960,1	13	206,7
14	6114,7	14	254,8
15	5439,9	15	226,7
16	3454	16	144
17	6441,5	17	268,4
18	8013,7	18	334
19	7426,8	19	309,5
20	5839,2	20	243,3
21	7555,2	21	314,8
22	4083,1	22	170,1
23	6458	23	272,8
24	7642,9	24	318,5
25	7241,4	25	301,7
26	6811,1	26	283,8
27	7105,1	27	296
28	5439,7	28	226,7
29	5422,2	29	225,9
30	3481	30	145
31	6587,2	31	274,5

	Sodankylä Tähtelä	Heinäkuu							
Kk päivät	Kokonaissäteily W/m2		Kk päivät	Keskimääräinen kokonaissäteily tunneittain W/m2/24					
1	1243,8		1	51,8					
2	5489,9		2	228,7					
3	1402,4		3	58,4					
4	1593,9		4	66,4					
5	2564,1		5	106,8					
6	1116,5		6	46,5					
7	2673,7		7	111,4					
8	8244,5		8	343,5					
9	5956,4		9	248,2					
10	5001,8		10	208,4					
11	6736,2		11	280,7					
12	8207,3		12	341,9					
13	2570,8		13	107,1					
14	4128,1		14	59,5					
15	5069		15	211,2					
16	6603,7		16	275,2					
17	4598,4		17	191,6					
18	4372,5		18	182,2					
19	3072,5		19	128					
20	6179,8		20	257,5					
21	5998,9		21	249,9					
22	6528,3		22	272					
23	6262,9		23	260,9					
24	6762,5		24	281,8					
25	6638,8		25	276,6					
26	5305,4		26	221,1					
27	6803,8		27	283,5					
28	5670,6		28	236,3					
29	2874,7		29	119,8					
30	4812,6		30	200,5					
31	4180		31	174,2					

		Utsjoki Kevo	Heinäkuu						
Kk päivät	Kokonaissäteily W/m2			Kk päivät	Keskimääräinen kokonaissäteily tunneittain W/m2/24				
1	4448,2			1	185,3				
2	2042			2	85,1				
3	1607,9			3	67				
4	1260,8			4	52,5				
5	2576,8			5	107,4				
6	893,7			6	37,2				
7	6268,5			7	261,2				
8	8113,1			8	338				
9	5581			9	232,5				
10	4839,6			10	201,7				
11	7240,2			11	301,7				
12	8060,1			12	335,8				
13	6888,3			13	287				
14	3666,2			14	152,8				
15	4729			15	197				
16	5258,3			16	219,1				
17	2726,9			17	113,6				
18	5837,3			18	243,2				
19	1392,9			19	58				
20	5153,8			20	214,7				
21	4149,5			21	172,9				
22	6186,8			22	257,8				
23	6484,5			23	270,2				
24	4497			24	187,4				
25	6183,5			25	257,6				
26	3854,8			26	160,6				
27	3414,4			27	142,3				
28	3736,5			28	155,7				
29	3140,5			29	130,9				
30	4204,7			30	175,2				
31	4866,7			31	202,8				

## Liite 4

		Helsinki Kumpula			Syyskuu					
Kk päivät	Kokonaissäteily W/m2				Kk päivät	Keskimääräinen kokonaissäteily tunneittain W/m2/24				
1	5018				1	209,1				
2	3747				2	156,1				
3	4019,7				3	167,5				
4	3615,8				4	150,7				
5	1974				5	82,25				
6	3296,4				6	137,35				
7	2873,6				7	119,7				
8	988,8				8	41,2				
9	1450,8				9	60,45				
10	3991,6				10	166,3				
11	1743,8				11	72,7				
12	1755,8				12	73,2				
13	1569,3				13	65,4				
14	3274,5				14	136,4				
15	1458,2				15	60,8				
16	2316,4				16	96,5				
17	2015,7				17	84				
18	3180,8				18	132,5				
19	2911,4				19	121,3				
20	3548,6				20	147,9				
21	1387,1				21	57,8				
22	3525,4				22	146,9				
23	3052,1				23	127,2				
24	1966,8				24	82				
25	706,4				25	29,4				
26	3322,8				26	138,5				
27	2171,8				27	90,5				
28	3031,3				28	126,3				
29	1396,6				29	58,2				
30	1105,3				30	46,1				

## Liite 5

	Sodankylä Tähtelä	Syyskuu			
Kk päivät	Kokonaissäteily W/m2		Kk päivät	Keskimääräinen kokonaissäteily tunneittain W/m2/24	
1	1520,7		1	63,4	
2	2014,3		2	83,9	
3	2584,5		3	107,7	
4	2633		4	109,7	
5	1328		5	55,3	
6	1715,7		6	71,49	
7	5789,5		7	241,2	
8	1305,8		8	54,4	
9	3261,2		9	135,8	
10	1995,3		10	83,13	
11	2062,1		11	85,9	
12	899,3		12	37,5	
13	1401,2		13	58,4	
14	2620,6		14	109,2	
15	2601,5		15	108,4	
16	1099		16	45,8	
17	1973		17	82,2	
18	2010,9		18	83,8	
19	2480		19	103,3	
20	2168,5		20	90,4	
21	1681,8		21	70,1	
22	2212,5		22	92,2	
23	1333		23	55,5	
24	1167,1		24	48,6	
25	396,1		25	16,5	
26	821,7		26	34,2	
27	873		27	36,4	
28	1144,3		28	47,7	
29	307,6		29	12,8	
30	479,1		30	19,9	

		Utsjoki Kevo	Syyskuu			
Kk päivät	Kokonaissäteily W/m2			Kk päivät	Keskimääräinen kokonaissäteily tunneittain W/m2/24	
1	2595,9			1	108,2	
2	578,7			2	24,1	
3	1861,7			3	77,6	
4	2566,9			4	107	
5	2830,7			5	117,9	
6	1889,5			6	78,7	
7	2573,3			7	107,2	
8	2358,5			8	98,3	
9	2041,6			9	85,3	
10	2666,7			10	111,1	
11	429,9			11	10,4	
12	989,4			12	41,2	
13	1255			13	52,3	
14	2655,9			14	110,7	
15	2526,8			15	105,3	
16	1633,8			16	68,1	
17	1981,3			17	82,6	
18	1686,5			18	70,3	
19	1464,6			19	61	
20	1999,2			20	83,3	
21	1662,9			21	69,3	
22	1490			22	62,1	
23	1969,5			23	82,1	
24	951,7			24	39,7	
25	192			25	8	
26	543,4			26	22,6	
27	1752,3			27	73	
28	865,8			28	36,1	
29	729,9			29	30,4	
30	631,3			30	26,3	