

Juho Patrakka

# Aurinkosähköjärjestelmä ja sähkövaraston käyttö pienissä asuinrakennuksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

25.5.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Juho Patrakka Aurinkosähköjärjestelmä ja sähkövaraston käyttö pienissä asuinrakennuksissa 31 sivua + 3 liitettä 25.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	toimitusjohtaja Juha Kiviniemi lehtori Jarno Nurmio
<p>Insinööriyön tavoitteena oli perehtyä verkkoon liitetyn omavaraisen sähköntuotannon menetelmiin, antaa tietoa aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanosta ja suunnittelun pääpiirteistä sekä tarkastella sähkövaraston käyttötarkoituksia pienkiinteistöissä.</p> <p>Työssä selvitettiin pienkiinteistön omavaraisen sähköntuotannon eri menetelmät, joista keskityttiin verkkoon kytkettyyn sähkövarastolliseen aurinkosähköjärjestelmään, sen sisältämiin osiin ja niiden suunnittelun pääpiirteisiin. Työ sisältää esimerkkilaskut annetun malliakuston ja kohteen tiedoilla.</p> <p>Tätä työtä voidaan käyttää pohjana aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun aloituksessa. Järjestelmän komponentteja ja mitoitusta täytyy tarkastella kuitenkin kohdekohtaisesti, vaikka yleisesti suunnittelusta ja mitoituksesta vastaa rakennuskohtaisesti valtuutettu aurinkosähköjärjestelmän toimittaja.</p>	
Avainsanat	aurinkosähköjärjestelmä, sähkösuunnittelu, sähkövarasto

Author Title Number of Pages Date	Juho Patrakka Photovoltaic System and Energy Storage in Small Residential Buildings 31 pages + 3 appendices 25 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Juha Kiviniemi, Managing director Jarno Nurmio, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to study various methods of energy production in small residential buildings, as well as the basic parts of grid connected photovoltaic systems, and their functions. The necessary calculations for planning a photovoltaic system with electrical storage were done and the possibilities of having energy storage systems in small residential buildings were discussed.</p> <p>The thesis focused on the grid connected photovoltaic system with energy storage. Calculations that were based on a given energy storage product were done, and a sample building was discussed. The thesis was done by studying current standards, internet sources and interviewing photovoltaic system suppliers.</p> <p>The thesis can be used as a source of basic knowledge about photovoltaic system planning. It also presents sample calculations necessary in the planning which can be used in planning a small photovoltaic system, and discusses the applications of given electrical energy storage system in small residential buildings.</p>	
Keywords	photovoltaic system, electrical design, electrical energy storage,

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
3	Älykäs sähköverkko	4
4	Pientalojen sähköntuotantojärjestelmät	5
4.1	Tuulivoimala	5
4.2	Vesivoimala	5
4.3	Aurinkosähköjärjestelmä	6
5	Aurinkosähköjärjestelmän komponentit ja niiden toiminta	6
5.1	Aurinkopaneelit ja niiden tekniset ominaisuudet	7
5.1.1	Ohutkalvopaneelit	9
5.1.2	Yksikidepaneeli	9
5.1.3	Monikidepaneelit	10
5.2	Invertterit	11
6	Aurinkosähkön varastointiteknologiat	12
6.1	Akustot	12
6.1.1	Lyijyakku	12
6.1.2	Litiumioniakku	14
6.1.3	Akustot ja niiden vertailuperusteet	14
6.2	Superkondensaattorit	15
6.3	Muut energianvarastointimenetelmät	16
7	Sähköautot ja niiden käyttö osana järjestelmää	16
8	Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu	17
8.1	Standardit	19
8.2	Luvat	19
8.2.1	Lupa verkkoon kytkeytymisestä	19
8.2.2	Toimenpidelupa	20
8.3	Paneeliston mitoitus	20
8.4	Paneeliston asennus ja suuntaus	21

8.5	Vaihtosuuntaaja eli invertteri	22
8.6	Kaapelointi	23
8.6.1	Tasasähkö	23
8.6.2	Vaihtosähkö	24
8.7	Suojaukset	24
8.7.1	Maadoitukset	25
8.7.2	Erotuskytkimet	25
8.7.3	Tasasähkösuojaus	25
8.7.4	Vaihtosähkösuojaus	26
8.8	Liitännäisasiat	28
8.9	Akusto	28
9	Sähkövaraston hyödyt ja käyttö kiinteistöissä	29
10	Yhteenveto	30
	<b>Lähteet</b>	32

#### Liitteet

Liite 1. ELDORA VSP.60.AAA.03.04 POLYCRYSTALINE SOLAR PV MODULES 60 CELLS 260-285 WATT, tekniset tiedot

Liite 2. Invertteri sekä sähkövarasto sonnenBatterie Hybrid 8.1 ja akuston kytkentäkaavio talon sähköverkkoon

Liite 3. Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake

## Lyhenteet

AC	Alternating Current. Sähkövirta, joka vaihtaa ajan funktiona suuntaa virtapiirissä
C-arvo	C-rate. Akuston purkunopeus.
DC	Direct Current. Sähkövirta, joka kulkee yhteen suuntaan virtapiirissä.
DOD	Depth Of Discharge. Akuston jäljellä oleva maksimi kapasiteetti uuteen akkuun verrattuna.
IEC	International Electrotechnical Commission. Maailmanlaajuinen standardisoimisjärjestö, jonka muodostavat kaikki kansalliset sähkötekniset komiteat.
PV	Photovoltaic. Aurinkosähkö
W	watti. Sähkötehon yksikkö, tuhat wattia on yksi kilowatti (kW).
Wp	Watt-peak. Aurinkopaneelien nimellisteho. Laboratoriossa määritelty arvo +25 °C:n lämpötilassa, 1 000:n $W/m^2$ auringon säteilyssä sekä paneelien ollessa 35°:n kulmassa. 1 000 Wp on yksi kWp (kilowatt-peak).

## 1 Johdanto

Uusiutuvan energian sähköntuotannot ovat viime vuosien aikana lisääntyneet huimaa vauhtia Suomessa ja muualla maailmalla. Tähän ovat vaikuttaneet EU:n päätökset, energian hinnan nousut sekä monien ihmisten mielipiteet uusiutuvan energian sähköntuotannosta ilmastonmuutoksen estämiseksi. Aurinkosähköjärjestelmien esteenä on ollut pitkään niiden paneelien korkea hinta, mutta tämä on viime vuosina muuttunut maailmanlaajuisen kilpailun ansiosta. Paneelien alentuneet hinnat ovat mahdollistaneet yhä useampien kannattavien omavaraisten aurinkosähköjärjestelmien rakentamisen yksityiseen käyttöön.

Insinööriyö tehtiin insinööritoimisto Yhtyneet Insinöörit Oy:n toimitusjohtajalle, joka on harkinnut aurinkosähköjärjestelmän hankkimista omistamaansa kiinteistöön. Lähtötiedoiksi annettiin rakennuksen vuotuiset kulutukset sekä akustoksi valittavan sonnen-Batterie Hybrit 8.1 10 kWh -akuston käyttö.

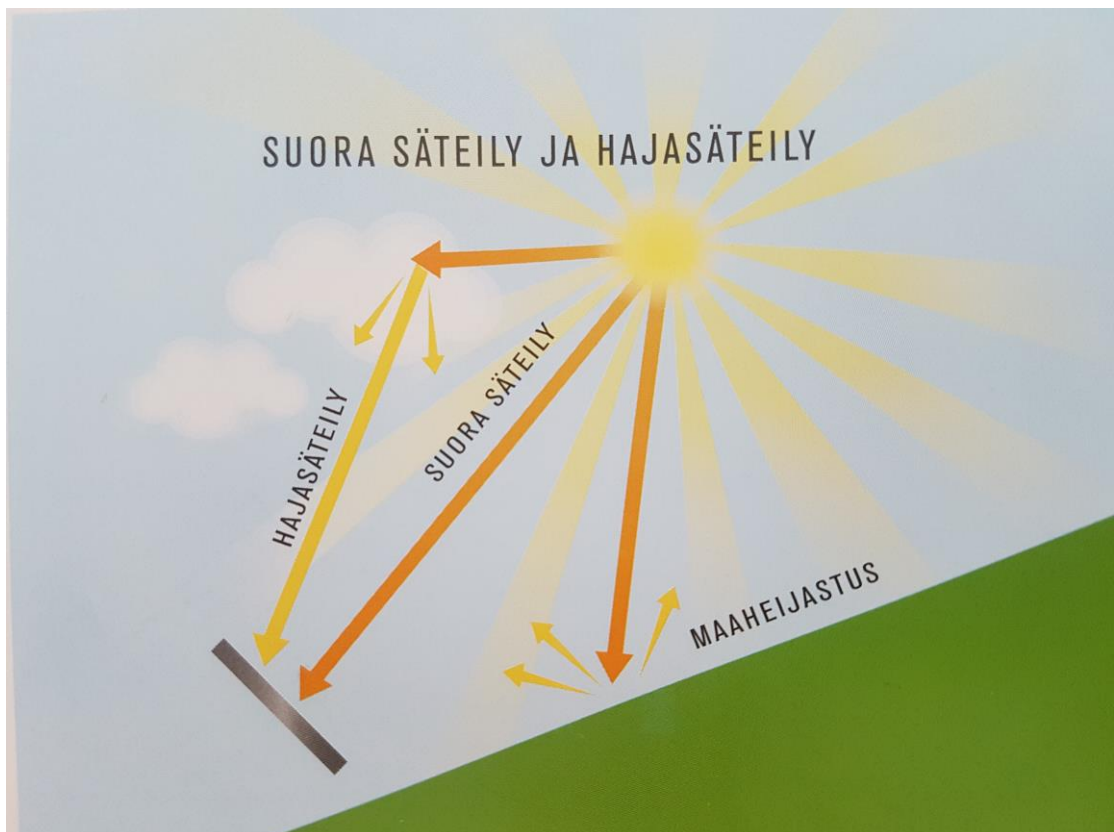
Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää, millaisia erilaisia omavaraista sähköntuotantomenetelmiä pienikiinteistöissä voidaan käyttää, mutta keskityttiin kuitenkin aurinkosähköjärjestelmään. Työssä tutustuttiin akkupohjaisen aurinkosähkön periaatteisiin ja järjestelmän osiin ja niiden toimintaan järjestelmässä. Tämän jälkeen paneuduttiin myös aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun pääpiirteisiin, tarkasteltiin sitä varten tarvittavia lupia ja standardeja sekä selvittiin sähkövaraston käytön mahdollisuuksia verkkoon liitetyssä järjestelmässä.

Lopputuloksena saatiin yleiskattava selvitys aurinkosähköjärjestelmästä, sen suunnittelusta ja siinä käytettävän sähkövaraston käyttömahdollisuuksista.

## 2 Aurinkoenergia

Nykytietämyksen mukaan aurinko on pääosin vedystä (75 %) ja heliumista (23 %) koostuva kaasupallo, jonka fuusioreaktioista peräisin olevan vapautuvan energian teho antaa auringolle  $3.8 \times 10^{23}$  kilowatin kokonaistehon, josta maapallolle tulee noin  $1,7 \times 10^{14}$  kilowattia. Tämä vastaa noin 10 000 -kertaista kulutusta vuoden 2008 maailman kulutustietojen laskennan kannalta. [2, s. 12–13.]

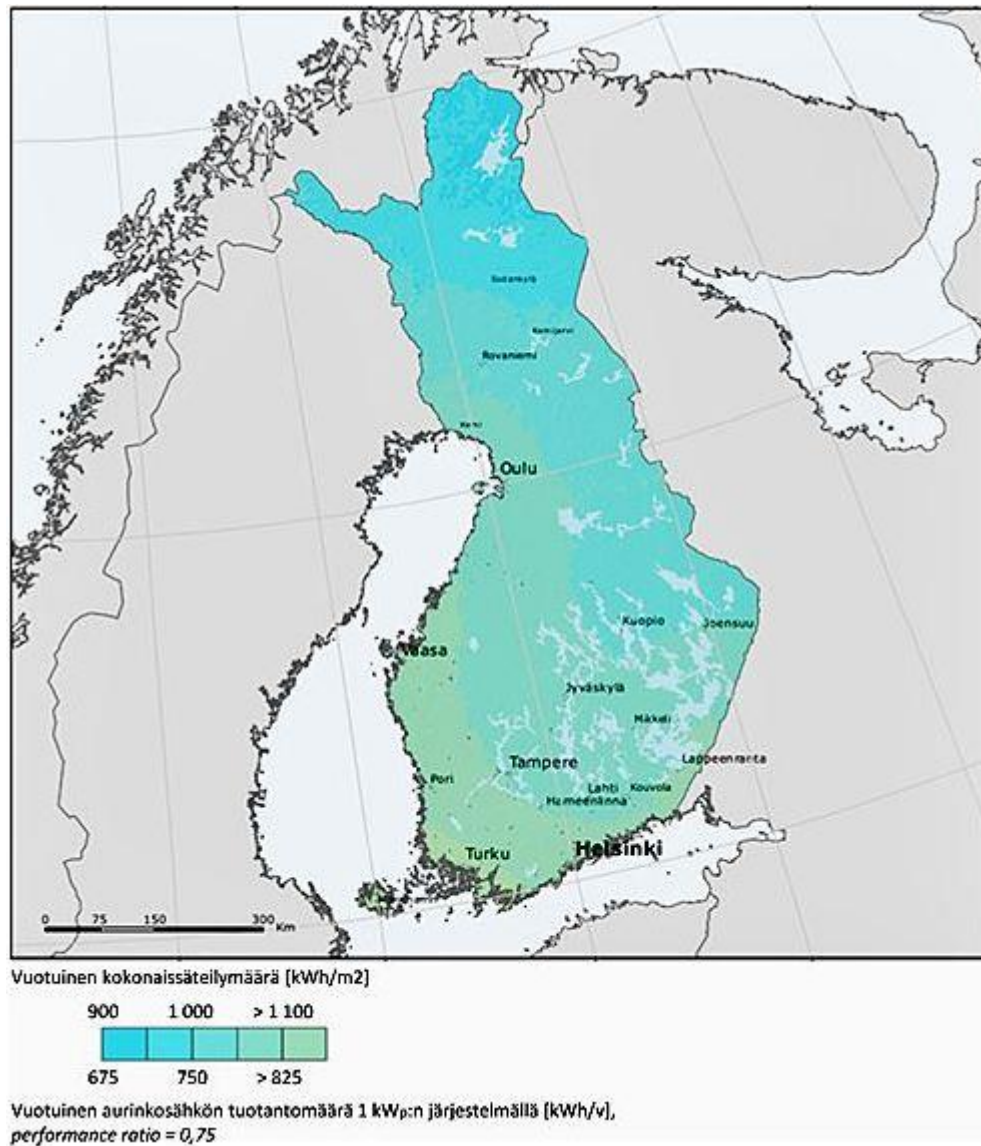
Ilmakehän ulkopuolella olevan säteilyn teho on neliömetrin kokoisella, kohtisuoraan säteilyä vastaan olevalla pinnalla keskimäärin noin 1,37 kW. Tätä kutsutaan aurinkovakioksi. Johtuen auringon ja maan etäisyyksien vaihtelusta aurinkovakion arvo vaihtelee keskimäärin 3,5 %. Auringon säteilyn kulkiessa maan ilmakehän läpi maanpinnalle (kuva 1) siitä häviää mahdollisesti jopa 40 % ilmakehässä olevien vesihöyryjen, kaasumolekyylien sekä epäpuhtauksien vuoksi. Nämä yhdessä heikentävät auringon säteilyn pääsyä maahan. [2, s. 13.]



Kuva 1. Auringon säteilyn muodot maanpinnalle [2]



Suomessa on selvästi neljä eri vuodenaikaa maantieteellisestä sijainnin vuoksi. Kuten kuvassa 2 esitetty, vaikka Suomi sijaitseekin pohjoisessa, ovat eteläisessä osassa sen säteilymäärät hyvin lähellä muita Euroopan maita kuten Saksaa. Suomessa aurinkosähkön tuotanto painottuu keväästä syksyyn, jolloin päivät ovat pisimmillään. Talvella aurinko paistaa Helsingissä parhaimmillaan vain noin viisi tuntia päivässä, kun taas kesällä paiste on lähes 20 tuntia. [7, s. 5.]



Kuva 2. Kokonaissäteily Suomessa vuotuisesti [8].

### 3 Älykäs sähköverkko

Yksinkertaisimmillaan älykkäällä sähköverkolla tarkoitetaan verkkojen kannattavuutta ja luotettavuutta parantavaa automaatiota. Älykkäässä sähköverkossa sähkön pientuotanto, joka sijaitsee teollisuudessa, liike-elämässä sekä pienkuluttajilla, on mahdollistettu täydentämään sähkön keskitettyä tuotantoa. [3]

Mittaukset ja niiden tietoon perustuvat ohjaukset ovat älykkäässä sähköverkossa erittäin tärkeitä. Nykyisin etäluettavilla mittareilla pystytään jo monipuolisesti tarkastelemaan sähkön laatua sekä tekemään etäkomentoja, kuten verkon irtikytkennät sekä takaisin palautukset. Älykkään sähköverkon monien mittauspisteiden ohjaukset perustuvat verkon energiatehokkuuden optimointiin. [4]

Reagointi erilaisiin tilanteisiin sekä vikatilanteiden ennakointi ovat älykkään sähköverkon etuja tavalliseen yksisuuntaiseen verkkoon nähden, kun tarkastellaan energiatehokkuutta. Verkon toimintaa pystytään ohjaamaan aikaisempien mittaustietojen pohjalta tehtyjen laskelmien tai odotusten perusteella. Jos sääksi on ennustettu seuraavaksi päiväksi pilvetöntä auringonpaistetta ja kovaa tuulta, voidaan tämän perusteella päätellä, että tämän päivän aikana käytetyn sähkövaraston sähköenergian tilalle pystytään lataamaan sama määrä energiaa takaisin aurinkopaneeleista tai muista omavaraisen energian tuotannon menetelmistä kuten tuulivoimalan generaattorista. [4]

Kotitalouksissa voidaan sähkövaraston sähköä käyttää pörssisähkön mukaan, eli silloin kun sähkön hinta on alhaisimmillaan, ladataan sähköenergiaa sähkövarastoon ja käytetään silloin, kun hinta on korkeimmillaan. Yleisimmät kulutushuiput asunnoissa ovat arkisin klo 16–21. Tällöin sähkövarastoon varastoitu energia voidaan käyttää kyseisenä aikana tasaamaan kulutuspiikkejä ja näin ollen pienentämään sähkölaskua. [4]

Osalla sähköyhtiöistä 1.7.2017 voimaan tullut uusi sähkön tehomaksu määräytyy viimeisen 12 kuukauden ajanjakson aikana mitatun korkeimman tuntitehon mukaan. Sähkövarastolla voidaan kompensoida kyseisiä kulutushuippuja ja samalla myös helpottaa verkon rasiusta muualla. [5]

## 4 Pientalojen sähköntuotantojärjestelmät

### 4.1 Tuulivoimala

Yleinen tapa pienimuotoiseen sähkön tuottamiseen on tuulivoimala. Olosuhteet eivät kuitenkaan usein ole suotuisat tuulivoimalle verrattuna muihin sähköntuotantoihin, kuten aurinkovoimaan. Ennen tuulivoimalan perustamista on ympäristö tarkasteltava tarkasti, jolloin selvitetään, onko voimalan perustamiselle tarpeeksi edellytyksiä. Tuulivoimalan maston rakentaminen on usein luvanvaraista toimintaa. [9]

Kannattavaan tuulivoimalaan tarvittavat edellytykset eivät sisämaassa täyty johtuen yleisesti heikommasta tuulesta verrattuna rannikkoon. Sisämaassa turbiinit on usein mitoitettava huomattavasti suuremmaksi kuin rannikolla, mutta mikäli turbiinin paikka on suotuisa, voi tuulivoimaloiden hinta suhteessa tehoon olla aurinkovoimaloita halvempi. [9]

### 4.2 Vesivoimala

Yksi oman sähköenergian tuotantotapa on pienisvesivoimala. Vesivoimala on edullisimmasta päästä oleva sähköntuotantotapa, mutta syynä kuitenkin siihen, miksi niitä ei ole markkinoilla, johtuu paljolti vesivoimalan tarvitsemasta sijainnista. Pienisvesivoimalan perustaminen vaatii läpi vuoden virtaavaa, vesimäärältään riittävää jokea tai puroa. Pienisvesivoimalan etuus on sen tasaisessa sähköntuotannossa ympäri vuoden sekä tasaisen kuormituksen ansiosta olevasta osien kestävyyksistä. Pienisvesivoimaloita myydään valmispakettiratkaisuin, jotka vaativat vain padon rakentamisen jokeen. Padon rakentaminen on kuitenkin luvanvaraista toimintaa, joten siihen on hankittava ympäristökeskukselta lupa. [6]

### 4.3 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmän sähkön tuotanto perustuu auringosta tulevan säteilyn muuttamiseen sähköksi aurinkokennojen avulla. Aurinkosähköjärjestelmällä tuotetaan tasasähköä tai vaihtosähköä 12 V:n tai 230 V:n järjestelmiin. Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa kahteen erilaiseen pääryhmään:

1. Off-Grid-järjestelmät, jotka ovat täysin tai osittain omavaraisia sähköenergiavarastoja omaavia järjestelmiä
2. On-Grid-järjestelmät, jotka asennetaan sähköverkon rinnalle.

On-Grid-järjestelmiin ei aikaisemmin ole kuulunut yleisesti sähkövarastoja, mutta tämä on muuttumassa älykkäiden verkkojen yleistyessä yksityisissä kiinteistöissä sekä teollisuudessa.

## 5 Aurinkosähköjärjestelmän komponentit ja niiden toiminta

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu karkeasti kahdesta tai kolmesta pääosasta.

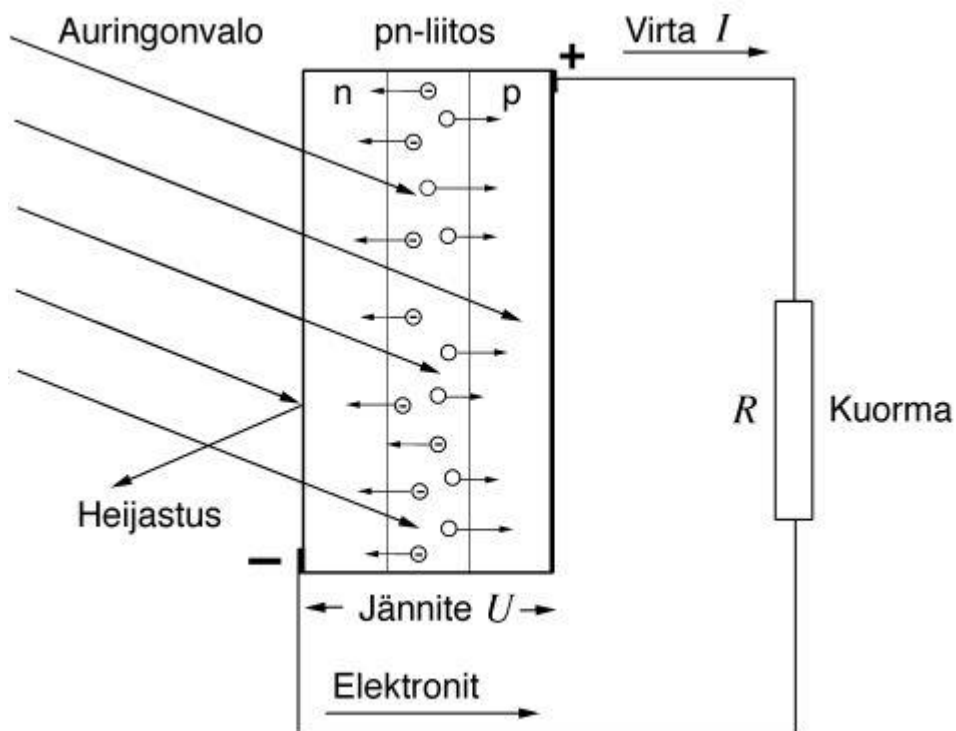
Nämä ovat seuraavat:

- Aurinkopaneelit
- Invertteri eli vaihtosuuntaaja järjestelmissä, jotka on kytketty verkkoon tai latausohjain tasavirtaan perustuvissa järjestelmissä, joita ei ole kytketty verkkoon.
- Sähkövarasto. Järjestelmät, joita eivät ole kytketty verkkoon ovat useimmiten varustettu akustolla, joka toimii sähkövarastona.

Eryisesti verkkoon kytketyissä järjestelmissä on käytetty varastoina aikaisemmin esimerkiksi lämminvesivaraajaa, mutta tällä hetkellä lisääntyvien älykkäiden verkkojen myötä akkupohjaiset sähkövarastot ovat yleistymässä nopeasti.

## 5.1 Aurinkopaneelit ja niiden tekniset ominaisuudet

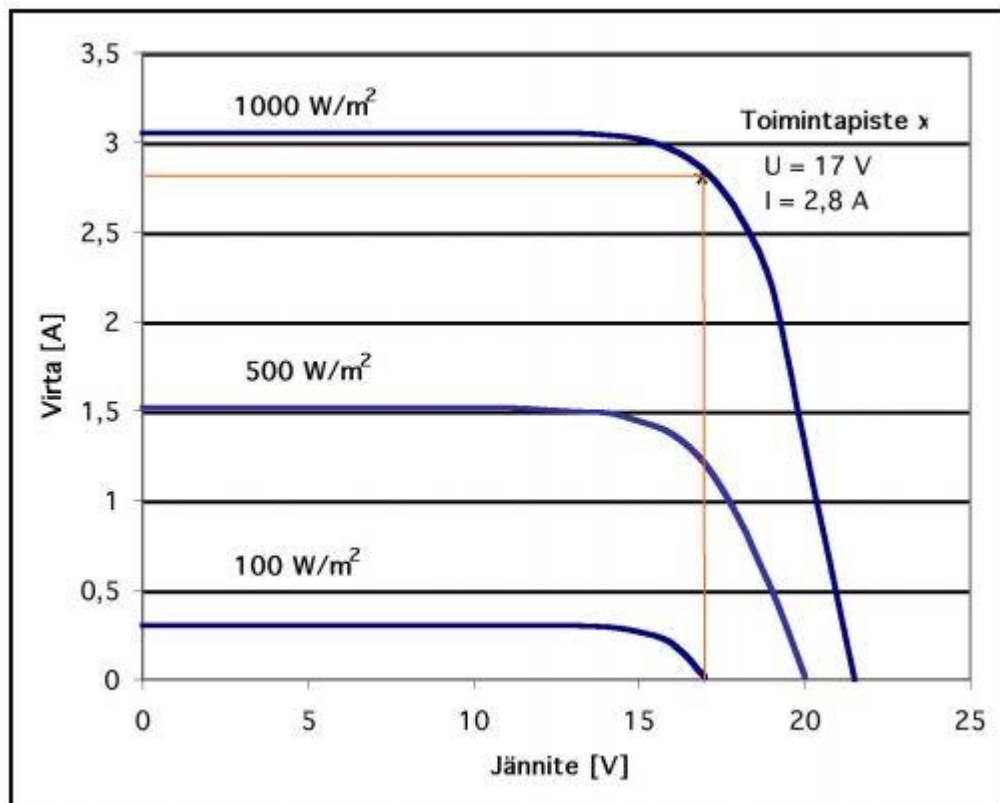
Aurinkopaneeli koostuu useasta sarjaan kytketystä kennosta, jotka ovat alumiinikehyksessä. Aurinkokennot voidaan jakaa yleisesti noin kolmeen erilaiseen tyyppiin kennotekniikan perusteella jaettuna. Yksi- ja monikiteisiin piin omaaviin paneeleihin sekä amorfisesta piistä valmistettuihin ohutkalvopaneeleihin. Kennot koostuvat tasaisista puolijohdekerroksista, joita on kaksi. Kerrokset ovat n-tyyppin ja p-tyyppin puolijohteita. Nämä kaksi kerrosta erotetaan toisistaan niin sanotulla rajapinnalla. Kuvassa 3 näkyy, kuinka sähkökenttä kennojen sisällä syntyy kerrosten yli elektronien kasaantuessa toiselle kerrokselle, jolloin vastakkaiselle kerrokselle syntyy niin sanottuja aukkoja. Tätä ilmiötä kutsutaan generaatioksi. Nämä puolijohdemateriaalissa syntyneet elektroniaukkoparit voidaan erottaa virraksi kennojen sisäisen kentän ansiosta. Tätä virtaa voidaan käyttää ulkoisen kuorman käyttöön tai varastointia varten akkujen lataamiseen. Yksi- ja monikiteistä piitä käytetään yleensä kiinteistöissä käytetyissä paneeleissa aurinkokennojen materiaalina.



Kuva 3. Aurinkopaneelin toimintaperiaate [10]

Paneelien hyötysuhteiden vuoksi yksi- ja monikidepaneelit ovat käytetympiä paneeleja kuin ohutkalvopaneelit. Aurinkopaneelien hyötysuhteella tarkoitetaan paneelin kykyä muuttaa auringonsäteilyä paneelin pinnalla sähköksi.

Aurinkopaneeleille on annettu valmistajan puolesta omat virtajännite- tai ominaiskäyrät, jotka ilmoittavat, minkälaisilla virran ja jännitteen arvoilla kyseiset paneelit voivat toimia. Ominaiskäyrään liittyviä kohtia ovat maksimitehopiste, tyhjäkäyntijännite sekä oikosulkuvirta. Erittäin tärkeä on ominaiskäyrällä toimipiste. Toimipisteellä tarkoitetaan niitä jännitteen ja virran arvoja, millä saavutetaan parhain ulostuloteho sen hetkissä käyttötilanteissa. Johtuen vaihtelevista sääolosuhteista ja aurinkopaneelien lämmön noususta paisteella tätä pistettä on erittäin vaikea saavuttaa. Lämpötilan nousu pienentää myös paneelin tuottamaa tehoa noin 0,4 % celsiusastetta kohden. Kuvassa 4 on esitetty 50 Wp:n paneelin ominaiskäyrä kolmella eri säteilyvoimakkuudella. [1, s. 37–38; 8.]



Kuva 4. Eri säteilyvoimakkuuksilla olevan 50 Wp:n paneelin ominaiskäyrä 25 °C:n lämpötilassa. [10]

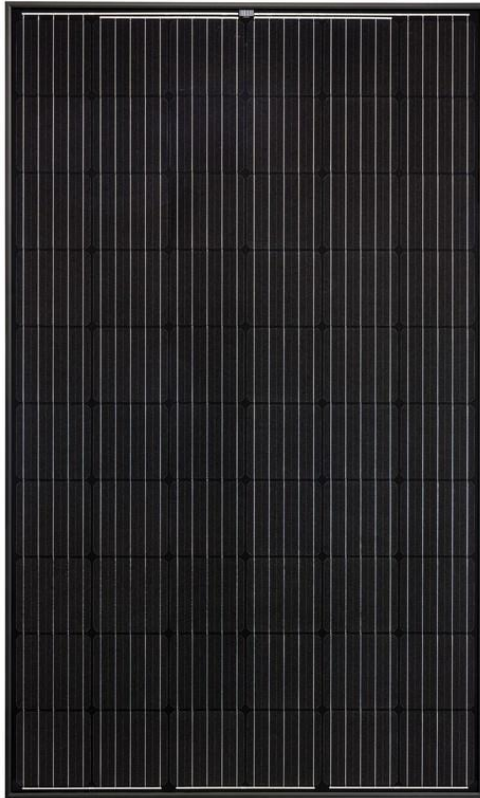
Tavallisessa aurinkopaneelissa on yleisesti 36 aurinkokennoa sarjaan kytkettynä, ja ne tuottavat 20 voltia jännitettä ja tällöin paneelin tehoarvo on 150 Wp. Paneeleihin voi myös olla järjestettynä 60 kennoa rivityksellä 6 x 10, jolloin paneelin jännitteeksi tulee noin 35 V ja paneelin maksimitehoarvo nousee 250 Wp:iin. [1, s. 44.]

#### 5.1.1 Ohutkalvopaneelit

Amorfisesta piistä valmistettu ohutkalvopaneeli eroaa yksi- ja monikiteisistä paneeleista sen ominaisuudella taipua rikkoutumatta. Nämä paneelit voidaan asentaa hankaliinkin kohteisiin, mutta niiden hyötysuhde on huomattavasti huonompi kuin yksi- tai monikidepaneelien, vain 9–13 %. Paneelien sähköntuotanto vähenee myös ajan kuluessa nopeammin. Ohutkalvopaneelien käyttö onkin tästä syystä rajoitettua. Ohutkalvopaneelien toimivat paremmin pimeässä ja lämpötilan vaikutus on pienempi kuin monikidepaneeleilla. [1, s. 42–43]

#### 5.1.2 Yksikidepaneeli

Yksikidepaneeli kuvassa 5 koostuu useasta sarjaan kytketystä yksikidekennosta. Yksikiteiset aurinkokennot ovat kooltaan normaalisti 156 mm x 156 mm. Hyvässä auringonpaisteessa jokaiselta neliömillimetriltä saadaan noin 35 mA. Normaalikokoinen 156 mm x 156 mm -kenno tuottaa keskimäärin noin 8,5 A virtaa ja 0,6 V jännitettä. Yksikiteinen aurinkokenno voi teoriassa saavuttaa jopa 31 %:n hyötysuhteen, mutta käytännössä hyötysuhde jää noin 17–21 %:iin. [1, s. 42–43.]



Kuva 5. Yksikiteinen musta aurinkopaneeli 275 W [16]

### 5.1.3 Monikidepaneelit

Monikidepaneelit kuvassa 6 koostuvat sarjaan kytketyistä monikidepaneeleista ja niiden rakenne on samanlainen kuin yksikidepaneelienkin. Monikiteiset paneelit tuottavat saman jännitemäärän kuin yksikiteiset paneelit, mutta niiden hyötysuhde on 16–19 %, joten ne jäävät hieman hyötysuhteeltaan alhaisemmaksi kuin yksikiteiset paneelit.

Monikiteisten paneelien etuna kuitenkin on niiden sähköntuotannon pienempi menetys osittaisessa varjossa sekä niiden edullisempi tuotantohinta. Tällöin hieman pienemmän hyötysuhteen voi korvata paneelimäärää kasvattamalla. [1, s. 43–44.]





Kuva 6. Monikiteinen aurinkopaneeli 270 W [16]

## 5.2 Invertterit

Aurinkosähköjärjestelmät tuottavat vain tasasähköä, joten mikäli paneeleilta halutaan sähköä käyttöön esimerkiksi liedelle tai muille 230 V:n laitteille, tarvitsee järjestelmä vaihtosuuntaajan eli invertterin. Invertterin tarkoituksena aurinkosähköjärjestelmässä on katkoa akkujännitettä, vaihtaa sen suuntaa sekä nostaa jännitettä moninkertaiseksi. Mikäli aurinkosähköjärjestelmä on verkkoon liitetty, täytyy järjestelmään hankkia verkkoinvertteri, joka pystyy syöttämään sähköverkkoon oikeanlaista sähköä. [1, s. 76–79.]

Verkkoinvertterin on täytettävä jakeluyhtiön määräämät vaatimukset. Vaatimukseen kuuluu yleisesti, että invertterin on tahdistuttava samaan taajuuteen kuin sähköverkko ja sen tulee olla samanlaista siniaaltoista vaihtojännitettä kuin verkossakin. Verkkoinvertterit ovat joko yksi- tai kolmivaiheisia. Kolmivaiheinen invertteri kytketään kiinteis-

tön jokaiseen vaiheeseen, ja näin ollen se voi korvata kulutusta jokaisessa vaiheessa. [1, s. 76–79.]

Nykyisin osassa verkkoon kytketyissä aurinkosähköjärjestelmissä on invertteri integroitu akustoon. Esimerkkejä ovat Teslan myymä Powerwall ja Helenin 2018 tuottajapakettin sisältämä Sonnen hybrid -akusto. [4]

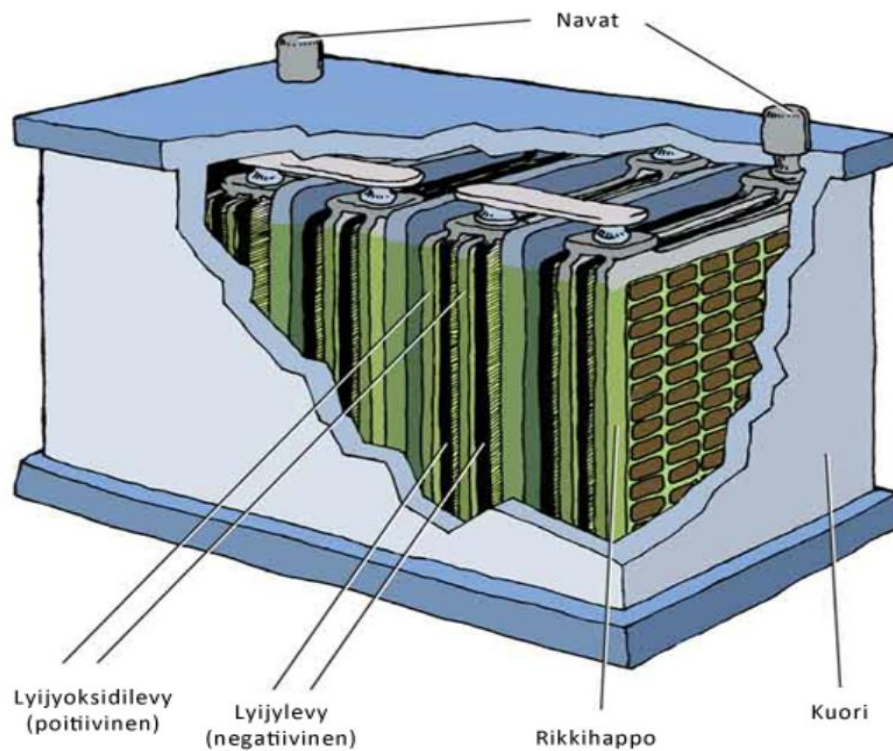
## **6 Aurinkosähkön varastointiteknologiat**

### 6.1 Akustot

Akku on sähköenergian varastointimenetelmistä vanhin, ja sen toiminta perustuu hapettumispelkistysreaktioon. Akku on uudelleen ladattava sähkökemiallinen varasto, joka muuttaa ja varastoi sähköä sähkökemialliseen muotoon, kun sitä ladataan ja purettaessa se muuttaa varastoidun kemiallisen energian takaisin sähköksi. Akun yksikön tunnus on ampeeritunti eli Ah, ja varaustaso eli kapasiteetti on C. Akut ja niiden nimitykset eroavat yleensä toisistaan niissä käytettyjen elektrodien ja elektrolyyttien mukaan.

#### 6.1.1 Lyijyakku

Lyijyakut, kuten kuvassa 7, koostuvat yleisesti useasta akkukennosta. Lyijyakkujen jokaisessa kennossa on yksi negatiivinen ja yksi positiivinen elektrodi, joita kutsutaan anodiksi (negatiivinen) ja katodiksi (positiivinen). Anodi on puhdasta lyijyä, kun taas katodi on lyijydioksidia. Elektrolyytinä lyijyakussa toimii rikkihappo, joka on veteen liuenneena. Akkua purettaessa anodi- ja katodilevyihin kertyy lyijysulfaattia, ja samalla neste laimenee, kun rikkihapon tilalle johtuen rikkihapon vähentymisestä elektrolyytinesteessä muodostuu vettä. Kun akkua ladataan, levyihin sitoutunut lyijysulfaatti hajoaa takaisin rikkihapoksi ja lyijyksi. [14; 12.]



Kuva 7. Lyijyakun rakenne [13]

Lyijyakkujen tyyppejä ovat neste- eli flood-akut, suljetut huoltovapaat akut (Maintenance-free Battery), VRLA-akut (Valve Regulated Lead Acid Battery), huoltovapaista akuista kehiteltyt AGM-akut (Absorbed Glass Mat Battery) sekä geeliakut (Gel Battery).

Nesteakut kestävät ylilataamista kohtalaisen hyvin. Mikäli akku on täynnä, alkaa latausvirta hajottaa elektrolyttinestettä happi- ja vetykaasuiksi. Kaasut purkaantuvat tarkistustulppien reikien kautta ulos, ja tästä syystä nesteakut on aina sijoitettava tuuletettuun tilaan. Suljetussa tilassa happi- ja vetykaasujen seos on herkästi räjähtävä. [1, s. 53–55.]

Suljetut huoltovapaat akut eivät päästä kaasuja purkautumaan ulos, ellei paine kasva liian korkeaksi. Paineen purkautuessa venttiileistä on suljettujen akkujen tapauksessa akkunesteen poistuminen lopullista, ja näin ollen kapasiteetti laskee jokaisen purkauksen jälkeen. [1, s. 53–55.]

Lyijyakkujen hyvinä puolina ovat edulliset hinnat, suurehkot tehotehiheydet, monipuolinen saatavuus ja korkea kennojännite. Huonoja puolia lyijyakuissa ovat kuitenkin pienet energiatehiheydet, itsepurkautumisen nopeus, lyhyt elinikä sekä huollon tarve. [14]

### 6.1.2 Litiumioniakku

Litiumioniakku yleisesti lyhennettynä Li-ion-akku on tämän hetken yleisin litiumpohjainen akku. Li-ion-akun toiminta perustuu sitä purettaessa litiumionien kulkuun elektrolyytissä anodista katodiin.

Li-ion-akku on yksi suosituimmista tämän hetken akuista johtuen sen suuresta energiatehiheydestä akun painoon nähden, kapasiteetin tason pysymisestä samana, vaikka lataukset eivät olisi vakioita, sekä lyhyestä latausajasta. Ongelmina ovat niiden hinta ja akkujen korkeampi mahdollisuus kuumentua latauksen aikana. [17]

Li-ion-akkujen jännitekestoisuus on tyypillisesti vakioitu 3,6 V:n tasolle ja niiden kestoikä on 5–10 vuotta. Li-ion-akku ei siedä ylilatausta, ja tästä syystä järjestelmät, missä kyseisiä akkuja käytetään tarvitsevat oman valvontajärjestelmän akuille. Tätä järjestelmää kutsutaan nimellä BMS (Battery Management System), ja sen tarkoituksena on akun latauksen ja purkautumisen hallinnoiminen. BMS seuraa, ettei akkujen kennojen jännitteet poikkea annetuista ylä- ja alarajoista. Samalla järjestelmä myös valvoo kennojen lämpötiloja ja estää mahdolliset ylilataukset ja ylipurkautumiset. Mahdollisissa vikatilanteissa BMS pysäyttää akkujen toiminnan vaarallisten toimintahäiriöiden välttämiseksi. [1, s. 67–69.]

### 6.1.3 Akustot ja niiden vertailuperusteet

Akkuja liitetään yhteen, ja ne muodostavat akkuvaraston, jonka suuruus mitoitetaan kiinteistön kulutuksen ja paneelien lukumäärän mukaan. Akkuvarastoja vertailtaessa tärkeimpiä ominaisuuksia huomioida ovat akuston energia- ja tehokapasiteetit, mutta eri teknologioiden välisissä vertailuissa tärkeimmäksi nousee kuitenkin syklimäärä, DOD (Depth Of Discharge) ja C-arvo eli akuston purkunopeus. Akuston käyttöiän kertova

syklimäärä on tieto siitä, kuinka monta sykliä akusto kestää, ennen sen menemistä käyttökelvottomaksi. DOD kertoo akuston maksimikapasiteetin määrää tarkasteltuna uuteen akkuun. DOD-luku putoaa ajan myötä akuston suorittamien syklien mukaan. Elinkaarensa päähän tulleen akuston DOD luku on yleensä noin 80 %:n alueella. C-arvo ilmoittaa akun lataus- ja purkausajan nopeudesta ja sen yksikkö on 1/h. Mitä korkeampi C-arvo on, sitä nopeammin akusto pystyy purkautumaan kokonaisuudessaan. Esimerkiksi 4C-arvolla merkityn akuston voi purkaa kokonaan 15 minuutissa. [11]

## 6.2 Superkondensaattorit

Superkondensaattorit eroavat korkean kapasitanssinsa puolesta tavallisista kondensattoreista. Tästä johtuen niihin pystytään varastoimaan huomattavasti suurempia määriä energiaa verrattuna normaaleihin kondensattoreihin. Superkondensaattori muodostuu rakenteeltaan paperieristeellä ja elektrolyytinesteellä erotetuista kahdesta elektrodista, jotka kondensaattoria ladattaessa siirtävät negatiiviset ionit positiiviseen ja positiiviset ionit negatiiviseen elektrodiin nestettä pitkin ja näin ollen varaavat levyt. [15]

Superkondensaattorit lasketaan faradeissa, mikä tarkoittaa, että tavallisiin kondensattoreihin verrattuna niissä on tuhansia kertoja suurempi kapasitanssi. Suuren kapasiteettinsa ansiosta niihin voidaan varastoida sähköenergiaa hyvin paljon enemmän kuin normaaleihin kondensattoreihin. Superkondensaattorien jännitekestoisuus on lukittu 2,5 ja 2,7 V:n välille. Jännitteet, jotka ylittävät 2,8 V, ovat mahdollisia, mutta laskevat kondensaattorien elinikää. [15]

Superkondensaattorien etuina ovat niiden lyhyt purkaus- ja latausaika, joka ei tarvitse erillistä latauksen lopetuskomentoa, hyötysuhde, joka on useimmiten yli 90 %, syväpurkaussyklien määrä, joka on yleisimmin jopa yli 500 000 kertaa kondensaattorin elinajan, sekä tehotiheys. Huonot puolet tosin ovat niiden matala jännitekestoisuus, mikä vaatii useamman kondensaattorin kytkemistä sarjaan nostaakseen jännitettä, purkauksen lineaarisuus, joka pienentää käytettävän energian määrää, korkea hinta wattia kohden ja nopea itsestäänpurkaus, jopa 50 % 30–40 päivän aikana. Taulukossa 1 on vertailtu superkondensaattorien ominaisuuksia litiumioniakkuihin nähden. [15]

Taulukko 1. Superkondensaattorin ja litiumioniakun ominaisuuksien vertailu [15]

Toiminta	Superkondensaattori	Litiumioniakku
Latausaika	1-10 sekunttia	10-60 minuuttia
Toimintajaksot	1 miljoona tai 30 000 tuntia	500+
Jännitekestoisuus	2.3V - 2.7V	3.6V
Energiatiheys Wh/kg	5 (tyypillisesti)	120-240
Tehotiheys W/kg	1000 - 10 000	1000 - 3000
Hinta kWh:ta kohden	8 000 €	200 - 800€
Kestoikä	10 - 15 vuotta	5 - 10 vuotta
Purkauslämpötila	-40° - +65°	0° - +45°
Latauslämpötila	-40° - +65°	-20° - +60°

Superkondensaattorit sopivat enemmän kohteisiin, joissa tarvitaan nopeaa sähköenergiaa vähentämään verkon tehopiikkejä lyhyillä ajoilla. Aurinkosähköjärjestelmissä superkondensaattorit eivät ole juurikaan käytössä, koska nopealle purkaus- ja latausajalle ole vielä tarvetta omakotitalouksien omatuotantosähköjärjestelmissä.

### 6.3 Muut energianvarastointimenetelmät

Muita energianvarastointimenetelmiä ovat esimerkiksi aurinkokeräimet, kineettiseen ja potentiaaliseen energiaan perustuvat varastointijärjestelmät, paineilmapohjaiset energiavarastot sekä bio- että fossiilienergiapohjaiset energiavarastointijärjestelmät. Tässä työssä keskitytään kuitenkin akkupohjaiseen aurinkosähköjärjestelmään.

## 7 Sähköautot ja niiden käyttö osana järjestelmää

Sähköautot ovat yleistymässä kovaa vauhtia joka puolella maailmaa, ja yhtenä tulevaisuuden käytön kohteena on tutkittu sähköautojen käyttöä kiinteistön älykkään sähköverkon sähkövarastoina. Tällä hetkellä tekniikan puolesta sähköautojen liittäminen jär-

jestelmään onnistuisi, mutta vastaan tulevat standardit ja säädökset, joiden takia tällä hetkellä useat sähköautot eivät vielä tue V2G-järjestelmää. [4]

V2G- eli vehicle-to-grid-järjestelmällä tarkoitetaan sähköajoneuvon mahdollisuudesta syöttää verkkoon tai ottaa verkosta sähköä. Tällä hetkellä perus- tai huippuvoiman tuotannossa ei V2G-järjestelmä vielä pärjää markkinasähkölle, johtuen sähköautojen pienistä akuista ja energian kustannuksista. V2G-järjestelmän huonoina puolina on maailmalla tehdyissä tutkimuksissa huomattu sähköautojen akkujen kuluminen ja tästä johtunut niiden eliniän pieneneminen. Sähköautoissa käytettyjen li-ion-akkujen kuluminen on otettava huomioon, kun tarkastellaan V2G-järjestelmän sähkön siirron kannattavuutta nykyiseen tilanteeseen. [18]

V2G-järjestelmä on tällä hetkellä teknisesti mahdollista toteuttaa ilman suuria muutoksia sähköautojen moottorien tekniikkaan, mutta haasteena on vielä selvittää V2G-syötöstä aiheutuvien virran suunnan muutosten vaikutukset sähköverkon jakelumuuntajiin sekä akustojen eliniän pienenemiset. Monet sähköauton valmistajat Euroopan alueella ovat ilmoittaneet odottavansa V2G-järjestelmän standardien sekä uusien akku-teknologioiden kehittymistä, ennen kuin ne alkavat muuttamaan sähköautojen tekniikkaa. [18]

Helen Oy on testaamassa V2G-järjestelmää Suomen ensimmäisessä pilottikohteessa Helsingin Suvilahdessa. Suvilahden hankkeessa on yhtenä tavoitteena tarkastella V2G-järjestelmän hyödyntämistä verkon häiriöiden ennaltaehkäisemiseen ja häiriötilanteiden hoitoon. Tämänkaltaisia ovat esimerkiksi tilanteet, jolloin suuri voimalayksikkö putoaa pois verkosta ja tarvitaan muutamiksi sekunneiksi virtaa verkkoon, ennen kuin voimaloiden omat reservit tulevat käyttöön [19]

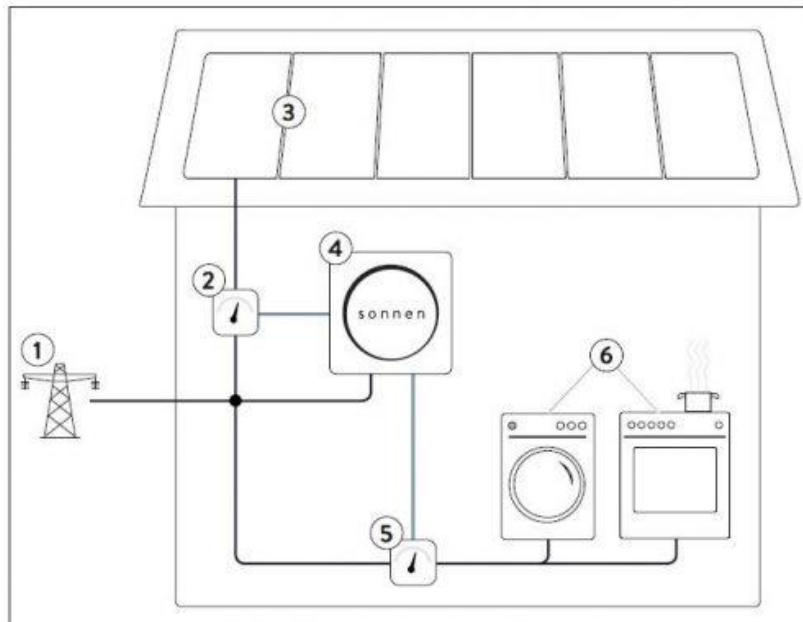
## **8 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu**

Aurinkopaneelijärjestelmän asennus on useimmin helppoa ja monet yrityksen myyvät niin sanottuja avaimet käteen -järjestelmiä, joissa kyseiset yritykset suunnittelevat ja asentavat järjestelmän valmiiksi asiakkaalle.

Tässä osassa käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän eri osien mitoituksessa ja suunnittelussa tarvittavia tietoja sekä standardit ja luvat, joita suunnittelun ohella tarvitaan.

Aurinkosähköjärjestelmää mitoittaessa ensimmäisenä täytyy tarkastella kohteena olevan kiinteistön tai rakennuksen sähkönkulutusta vuositasolla. Järjestelmä mitoitetaan yleisesti pienimmän vuotuisen kulutuksen mukaan, mikäli järjestelmään ei tule sähkövarastoa tai päivittäisen keskikulutuksen mukaan järjestelmissä, joihin sähkövarasto on suunniteltu tulevaisuudeksi. Sähkövaraston kanssa järjestelmän suuruudelle ei varsinaisesti ole rajoja, mutta järjestelmän hinta nousee mitä suurempaan sähkövarastoon mennään.

Esimerkkikohteeksi järjestelmän eri osien mitoituksia varten on valittu tässä työssä kuvitteellinen ei sähkölämmitetty, noin sadan neliön omakotitalo, jonka pienin sähkönkulutus on 13 000 kWh vuotuisella tasolla tai keskimäärin 1,6 kWh päivittäisellä tasolla. Sähkövarastoksi ja aurinkosähköjärjestelmäksi on valittu Helenin tuottajapakettia vastaava kokoonpano, jonka koko on 3.3 kWh. Esimerkkijärjestelmään kuuluu sonnenBatterie Hybrid 8.1 -sähkövarasto, joka sisältää verkko- että PV-invertterin [liite 2]. Lisäksi esimerkkipaneeleiksi on valittu ELDORA 275W -aurinkopaneelit [liite 1], jotka kytketään sarjaan 12 paneelin ketjuksi.



Kuva 8. Kaavio sonnenBatterie Hybrid 8.1 -järjestelmästä [27].



Kuvassa 8 on esitetty sonnenBatterie Hybrid 8.1 -sähkövarastojärjestelmän periaatekaavio, jossa on esitetty

1. Sähköverkko
2. Sähköntuotannon mittaus
3. Aurinkopaneelit
4. sonnenBatterie energiavarasto
5. Sähkökulutuksen mittaus
6. Sähkölaitteet, esim. liesi, valaistus jne.

## 8.1 Standardit

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa täytyy perehtyä sitä koskeviin standardeihin sekä eri verkkoyhtiöiden ohjeisiin. Tärkeimmät standardit ovat SFS-EN 62446-1:2016, SFS 6000-7-712:2017 sekä vain englanniksi oleva IEC 62548:2016. [7]

SFS 6000-7-712:2017 -standardissa käydään läpi erikoisvaatimukset aurinkosähköjärjestelmille. Näitä ovat järjestelmän suojausmenetelmät, kuten eristyksset, ylikuormitus-suojaukset ja oikosulkusuojaukset. Standardissa selitetään myös yleisimmät termistöt, joita aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä käytetään. [7]

IEC 62548:2016 -standardi käsittelee aurinkosähköjärjestelmän maadoitusten, kytkimien, aurinkopaneelien sekä niiden johdotusten vaatimuksia. Standardi ei kuitenkaan ota kantaa sähkövarastoihin tai akustoihin. Tätä standardia ei ole suomeksi käännetty. [7]

## 8.2 Luvat

### 8.2.1 Lupa verkkoon kytkeytymisestä

Verkkoon kytkettyä aurinkosähköjärjestelmää hankkiessa on paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä haettava ohjeet sekä lupa sähköverkkoon liittymisestä. Tuotantolaitteistoa ei

saa ilman sähköverkonhaltijan lupaa kytkeä verkkoon. Alle 100 kVA:n kokoisille tuotantolaitoksille pitää hakea lupa verkkoyhtiön omalla lomakkeella tai liitteen 3 mukaisella lomakkeella. Haettaessa lupaa liitteen 3 lomakkeella aurinkosähköjärjestelmälle on valittava tuotantomuotokohdasta vaihtoehdoksi aurinko. Lomakkeen muut tärkeät tiedot ovat verkkoon liitettävän laitteiston kytkentätapa verkkoon, liitälaitteen tiedot, laitteiston nimellisteho ja enimmäisvirta, jonka laitteisto antaa. Sähköverkonhaltijalta saadun luvan jälkeen tulee tehdä mahdollisesta ylituotantosähköstä sopimus sähköä ostavan tahon kanssa. Verkkoon ei saa siirtää sähköä ilman ostajatahoa. [30]

### 8.2.2 Toimenpidelupa

Lupakäytännöt aurinkopaneelien asentamiseen liittyen vaihtelevat asennuskohteeseen nähden, mutta useimmiten yksityisiin asuinrakennuksiin ei vaadita toimenpidelupaa. Rakennusvalvonta voi joissakin tapauksissa kieltää paneelien asentamisen, esimerkiksi jos rakennus, johon paneelit ollaan asentamassa, on suojeltu tai kaupunkikuvaan tulisi paneelien asentamisesta johtuen merkittäviä vaikutuksia. Mahdollisten lupien vaatimukset on hyvä tarkistaa aina jo aurinkosähköjärjestelmän hankintavaiheessa oman kuntansa rakennusvalvonnasta.

### 8.3 Paneeliston mitoitus

Kohteeseen suunnitellaan 3,3 kW:n nimellistehoinen järjestelmä, joka toteutetaan 12 aurinkopaneelilla. Aurinkopaneelien nimellisteho kutakin paneelia kohden on 275 W. Yhden paneelin ominaiskäyrän optimikohdassa oleva nimellisjännite on 38,5 V, ja paneelit ovat sarjaan kytkettyinä. Nimellisteholla järjestelmän tasavirtakaapeleissa kulkee 8,82 A:n virta ja sarjaan kytkettyjen paneelien maksimijännite lasketaan yhtälön 1 mukaisesti. [20, s. 20.]

$$U_{vtot} = U_{oc} * M_p = 38.5V * 12 = 462V \quad (1)$$

$U_{oc}$  on standardiolosuhteissa olevan aurinkopaneelin nimellisjännite.

$M_p$  on aurinkopaneelien lukumäärä sarjaan kytketyssä paneeliketjussa.

Invertteriä eli vaihtosuuntaajaa valittaessa kannattaa käytettävän jännitteen olla vaihtosuuntaajan valmistajan antamien jänniterajojen suuremmalla puolella, jolloin häviöt jäävät pienemmiksi.

Paneelien valmistajan antamien tietojen mukaan järjestelmän paneelien piirien jännite vaihtelee  $-0,31 \text{ \%/}^\circ\text{C}$  niiden ympäristön lämpötilaan nähden. Matalimman lämpötilan kohteessa oletetaan olevan  $-37 \text{ }^\circ\text{C}$ . Lämpötilan muutoksesta johtuva paneelien suurin jännite lasketaan yhtälöllä 2.

$$U_{oc \max} = \frac{(-0,31 \frac{\%}{^\circ\text{C}} * \Delta t)}{100} * U_{vtot} * U_{vtot} \quad (2)$$

$$U_{oc \max} = \frac{(-0,31 \frac{\%}{^\circ\text{C}} * (-37^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}))}{100\%} * 462\text{V} + 462\text{V} = 550,8\text{V}$$

Tämä arvo ei saa ylittää vaihtosuuntaajalle annettua korkeinta toimintajännitettä. Tapauksissa, joissa jänniteraja ylittyy, pitää paneelit jakaa useampaan paneeliketjuun.

#### 8.4 Paneeliston asennus ja suuntaus

Aurinkopaneelien yleisimpiä asennuspaikkoja ovat katot ja seinät. Aurinkopaneelien asennuskohteeksi on parhainta valita katto tai seinä, jolle ei tule varjostusta. Paikan valinnan jälkeen tulee selvittää katon tai seinän materiaali ja kyseisen rakenteen kantavuudet lumikuorma mukaan luettuna. Tyypillinen aurinkosähköjärjestelmän aiheuttama kuorma kattoon nähden on  $30 \text{ kg/m}^2$ .

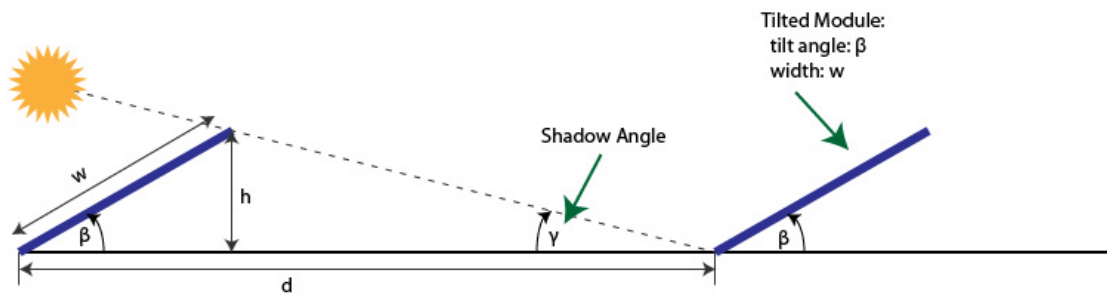
Paneelit asennetaan Suomessa yleisesti etelän suuntaan, mikäli se vain on mahdollista ja tällöin saadaan suurin vuotuinen tuotto paneeleista. Paneelien optimikulma on  $35^\circ$ :n ja  $45^\circ$ :n välisellä alueella, mutta harjakatoilla paneelit asennetaan yleisesti katon kaltevuuden mukaan. Yleisin harjakattojen kaltevuus on  $30^\circ$ , mikä sopii hyvin paneeleille. Tasakattoasennuksissa katoille rakennetaan telineet paneeleille, joiden kulman pystyy itse valitsemaan. Tällöin tarvitsee ottaa huomioon paneelien sijoittelussa vastaantuleva toisien paneelien aiheuttama varjostus sekä paneelien kulmien tuulikuorman aiheuttamat vaikutukset paneelien kiinnitystelien vastapainoihin. Tasakatoille asennettujen paneelien väliset etäisyydet toisiinsa nähden voidaan laskea yhtälön 3 mukaan.

$$l_{min} = \frac{\sin(\beta)}{\tan(\gamma)} + \cos\beta = \frac{\sin(30)}{\tan(40)} + \cos(30) = 1,46m \quad (3)$$

$l_{min}$  on pienin etäisyys, jolla varjostusta ei tule.

$\gamma$  on kulma, jossa auringon säteily tulee paneeleihin.

$\beta$  on tasakatonle asennettujen aurinkopaneelien kulma.



## 8.5 Vaihtosuuntaaja eli invertteri

Koska aurinkosähköjärjestelmät tuottavat tasasähköä, tarvitaan verkkoon kytkettyihin aurinkosähköjärjestelmiin invertteri muuttamaan se käytettäväksi vaihtosähköksi sekä sovittamaan sen taajuus ja vaiheet sähköverkkoon sopivaksi.

Verkkoon liitetyissä aurinkosähköjärjestelmissä invertterit ovat pääsääntöisesti kolmivaiheisia, mikä mahdollistaa useamman aurinkopaneeliketjun kytkemisen. Kolmivaiheiset verkkoinvertterit mahdollistavat sähkön syötön jokaiseen rakennuksessa olevaan sähkölaitteeseen. Invertterin maksimiteho määrää aurinkopaneelien määrän sekä paneeliston tehon järjestelmässä, ja tämä pitää ottaa huomioon mitoituksessa. Esimerkkinä tässä työssä on valittu sonnenBatterie Hybrid 8.1 [liite 2], joka sisältää akustojen lisäksi verkko- ja PV-invertterit aina 6,4 kWp:iin asti. Valittu aurinkopaneelien teho on 3,3 kW, eikä se ylitä invertterin maksimitehoa, joten paneeliston koko on sopiva.

## 8.6 Kaapelointi

### 8.6.1 Tasasähkö

Aurinkosähköjärjestelmän paneelien tasasähköpuolen mitoitus ja kaapelien valinta tehdään niiden korkeimman oikosulkuvirran mukaan. Yleisemmin ulkona sijaitsevat tasajännitepuolen kaapelit ovat alttiina erilaisille säätiloille, kuten auringon säteilylle, koville tuulille, lämpötilojen vaihteluille korkeista pakkasista helteisiin sekä lumen ja jään vaikutuksille, jotka on otettava huomioon kaapeleita valittaessa. Kaapeleiksi on suositeltavaa käyttää yksijohdinkaapeleita, jotka pienentävät oiko- ja maasulkujen mahdollisuuksia tasasähköpuolella. Mikäli tasajännitepuolella käytettävän paneelien kaapeloinnin pitempään jatkuva kuormitus on ainakin 1,25-kertainen aurinkopaneeliketjun oikosulkuvirtaan nähden, ei ylikuormitussuojaukselle ole tarvetta. [21, s. 6–7.]

Kohteessa oletetaan paneelistolta vaihtosuuntaajalle olevan noin 12 m ja paneelien välillä yhteensä 15 m kaapelia. Koska kaapelina paneelistolta invertterille käytetään parikaapelia, täytyy kaapelin pituus laskea kahdesti resistanssilaskentaa varten, jolloin kokonaispituus tasavirtapuolen kaapelille on 12 m + 12 m + 15 m eli 39 m. Aurinkopaneelikaapelit ovat yleisesti kuuden neliön kuparikaapeleita. Kaapelien resistanssi lasketaan yhtälön 4 mukaan. [20]

$$R = \rho \frac{l}{A} = 0.0168 * 10^{-6} * \frac{39m}{6 * 10^{-6} m^2} = 0,1092\Omega \quad (4)$$

$\rho$  on kuparijohtimen resistanssi  $0.0168 * 10^{-6}\Omega m$ .

$l$  on kaapelien kokonaispituus 39 m.

$A$  on kaapelien halkaisija  $6 mm^2$  tai  $6 * 10^{-6} m^2$ .

Tällöin kaapelien jännitehäviöksi saadaan yhtälöllä 5 [22].

$$U = R * I = 0,1092\Omega * 8.82A = 0.963V \quad (5)$$

Saadulla jännitehäviöllä voidaan tasajännitepuolen kaapeloinnin tehohäviö laskea yhtälöllä 6 [22].

$$P = U * I = 0,963V * 8.82A = 8,5W \quad (6)$$

Tehohäviö on tässä tapauksessa erittäin pieni, mutta tulee olennaiseksi kaapelien pituuksien kasvaessa suuremmissa järjestelmissä.

### 8.6.2 Vaihtosähkö

Vaihtosähköpuolella käytetään yleisesti kaapeleina tavallisia viisijohtimisia MMJ-asennuskaapeleita. Kaapeleiden ja johdonsuojakatkaisijoiden valinta pitää tehdä siltä pohjalta, että invertteristä otetaan ulos maksimiteho. Kaapelin mitoitus tulee tehdä SFS 6000 -standardissa ohjeistetulla tavalla. Eri valmistajilla on inverttereihin omia kaapeliohjeita tai -suosituksia, jotka on myös otettava huomioon järjestelmää suunniteltaessa.

Tässä kohteessa tarvittava kaapelin pituus on noin 20 m ja kaapeliksi valittu 6 mm<sup>2</sup> MMJ 5x6S -asennuskaapeli, jota suojataan C16-tyyppin johdonsuojakatkaisijoilla. Johdonsuojakatkaisijan mitoitus on esitetty tämän työn luvussa 8.7.4 Vaihtosähkösuojaus.

MMJ 5x6S -kaapelin valinta on myös ylijännitesuojausta ajatellen hyvä, sillä 6 mm<sup>2</sup>:n ja siitä isompien kaapelien suojajohtimen paksuus on riittävän suuri eikä erillistä johdinta tarvitse asentaa. [22]

### 8.7 Suojaukset

Aurinkosähköjärjestelmän suojaukset ovat pääsääntöisesti järjestelmän maadoitus, katkaisijat ja kytkimet, tasa- ja vaihtosähköpuolen johdonsuojakatkaisijat tai sulakkeet, sekä ylijännitesuojaus [1].

### 8.7.1 Maadoitukset

Maadoitusjärjestelmä pitää tehdä noudattaen SFS 6000-5-54 -määräyksiä. Aurinkopaneelien maadoitus ei saa katketa, vaikka yksittäisiä paneeleita irrotettaisiin järjestelmästä. Aurinkopaneelien metalliset rungot pitää maadoittaa omilla johtimillaan liitäntärasialla sijaitsevaan maadoituspisteeseen, josta maadoituskaapeli on yhteydessä lähimpään potentiaalintasauskiskoon. [21]

### 8.7.2 Erotuskytkimet

SFS 600-1 -käsikirjan kohdassa 6000-7-712 vaaditaan invertterin erottamista vaihto- ja tasasähköosista sekä koko aurinkosähköjärjestelmän erottamista varten jakeluverkosta omat kytkimet. Kytkimiä on aurinkosähköjärjestelmissä usein kolme kappaletta. Näiden kytkimien sijainnit vaihtelevat, mutta pääsääntöisesti ne sijaitsevat järjestelmän DC-keskuksen ja invertterin välissä, invertterin ja AC-keskuksen välissä sekä AC-keskuksen ja pääkeskuksen välissä. Kytkimiä valittaessa vaihtovirtapuolelle on niiden nimellisvirran oltava suurempi kuin virta, jonka invertteri tuottaa maksimitehollaan. [21]

### 8.7.3 Tasasähkösuojaus

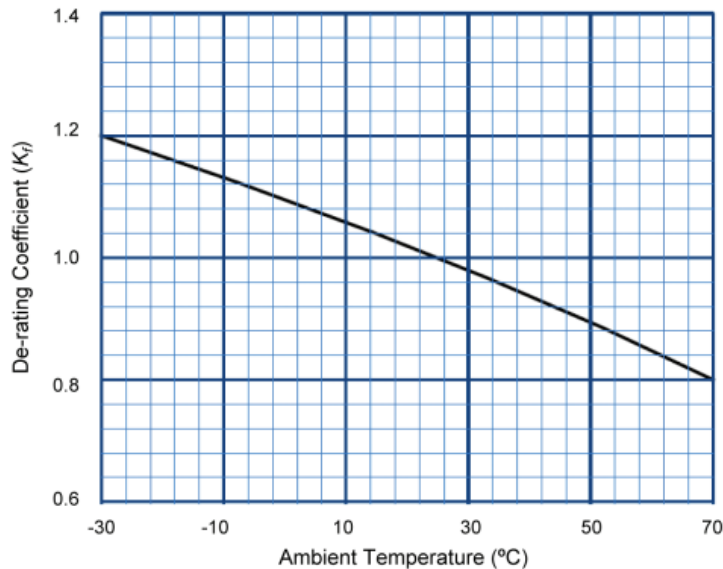
Aurinkopaneelien tuottama vikavirta on vähäistä, ja suurin osa niiden vikavirroista tulee ulkoisista lähteistä, kuten salamaniskuista. Aurinkopaneelien valmistaja määrittelee useimmin paneelien tarvitsemat suojaukset. Ylijännitesuojat tasajännitekaapelista sekä paneelien välisistä kaapeloinneista voidaan jättää pois tapauksissa, joissa käytettävän kaapelin kuormitettavuus on kaapelin standarditestiolosuhteissa olevaan oikosulkuvirtaan nähden 1,25-kertainen. Esimerkiksi, mikäli järjestelmän oikosulkuvirta olisi 8 A, pitäisi tasajännitekaapeli mitoittaa 10 A:n kuormitettavuuden mukaan, jotta ylijännitesuojauksen voisi jättää pois. [21]

Johdonsuojat tasajännitepuolelle mitoitetaan paneeliketjun oikosulkuvirran ja ympäristön lämpötilakertoimen avulla yhtälön 7 mukaan [23].

$$I = \frac{I_{SC} * 1,56}{K_t} = \frac{9,22 * 1,56}{1,04} = 13,83A \quad (7)$$

Jokainen eri aurinkopaneeliketju tarvitsee oman johdonsuoja-automaatin. Tässä tapauksessa kohteen paneelit on kytketty sarjaan, minkä takia oikosulkuvirta on 9,22 A.

Suomen kesän lämpötilan keskiarvo Helsingissä vuonna 2017 oli 15,3 °C. Tällä arvolla voidaan tarkistaa ympäristönlämpötilakerroin kuvan 9 kaaviosta. [25;26]



Kuva 9. Lämpötilakerroimen kaavio [23]

Kaaviosta nähdään Helsingin kertoimeksi 1,04 vuodelle 2017. Näillä arvoilla laskettuna saadaan johdonsuojan virran kestoksi 13,83 A, jonka perusteella valitaan kyseisen ketjun ylivirtasuojaksi 16 A:n johdonsuoja-automaatti.

#### 8.7.4 Vaihtosähkösuojaus

Vaihtosähköpuolen johdonsuoja-automaatit mitoitetaan vaihtosähköpuolen virran mukaan, yhtälön 8 avulla.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3300W}{230V} = 14,35A \quad (8)$$

I on aurinkopaneeliryhmän virta.

P on invertterin teho.



$U$  on vaihtosähköpuolen jännite.

Lasketulla arvolla voidaan valita C16-johdonsuoja-automaatit vaihtosähköpuolelle.

Seuraavaksi täytyy tarkastaa johdonsuojakatkaisijan toimivuus standardin vaatimalla tavalla. Esimerkkikohteen pääkeskuksen pääsulakkeet ovat 32 A, joiden pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on 270 A. Ensimmäisenä pitää laskea pääkeskuksen impedanssi yhtälöllä 9. [22. s. 101]

$$Z_v = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{0,95 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot 270A} = 0,813\Omega \quad (9)$$

$c$  on jännitteenaleneman kytkimissä, sulakkeissa, liittimissä jne. huomioon ottama kerroin 0,95.

$U$  on pääkeskuksen jännite.

$I_k$  on pääkeskuksen yksivaiheinen oikosulkuvirta.

Tämän impedanssin arvolla voidaan laskea valitun johdonsuoja-automaatin ryhmän suurin sallittu johdonpituus, joka lasketaan yhtälöllä 10 [22, s. 101].

$$l = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{k1}} - Z_v}{2 \cdot z} = \frac{\frac{0,95 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot 160A} - 0,813\Omega}{2 \cdot 3,660 \frac{\Omega}{km}} = 0,0763km = 76,3m \quad (10)$$

jossa  $I_{k1}$  on johdonsuoja-automaatin vaaditussa ajassa tapahtuvan poiskytkennän vaatima pienin oikosulkuvirta [22, s. 100].

$z$  on johtimen impedanssi, johon suojaus tulee [22, s. 96].

Lasketun arvon mukaan esimerkkikohteen pituuksilla 0,4 sekunnin poiskytkentäaika toteutuu. Tämän jälkeen tulee laskea käytettävän kaapelin jatkuva kuormitettavuus SFS 6000 -standardin taulukon B.52.4 uppoasennus referenssitavan A1 arvolla 31 A.

[21, s. 278.] Laskussa on myös otettava huomioon lämpötilan korjauskerroin, joka saadaan taulukosta B.52.14 [21, s. 288.]

Oletetaan esimerkkikohteen korkeimmaksi lämpötilaksi 40 °C, jolloin korjauskertoimeksi saadaan 0,87. Tällöin kaapelin jatkuvan kuormituksen arvo saadaan kertomalla kaavioista saadut arvot keskenään.

$$31 A * 0,87 = 26,97A$$

Koska laskettu arvo menee reilusti yli johdonsuojakatkaisijan mitoitusvirran, on valittu kaapeli sopiva poikkipinta-alaltaan käytettäväksi järjestelmässä. [21, s. 269–287.]

## 8.8 Liitántärsiat

Aurinkosähköjärjestelmissä liitántärsioita kutsutaan usein myös keskuksiksi. Näihin koteloihin asennetaan vaihto- ja tasasähkön suojausiiin tarkoitetut johdonsuojakatkaisijat, vikavirtasuojat, maadoituskiskot sekä niiden DIN-kiskot, joihin riviliittimet on sijoitettu. Kotelot on hyvä mitoittaa reilun kokoisiksi, mikäli järjestelmässä on laajennusvaraa. Keskuksset sijoitetaan usein invertterin läheisyyteen. Tasasähköpuolen liitántärsian kaikkien osien on oltava sopivia korkeille tasajännitteille, koska aurinkosähköjärjestelmän komponenttien nimellisjännitteet ovat 1 000 VDC. [31]

## 8.9 Akusto

Akuston valinnassa ei järjestelmiin tulevan akuston koolla ole varsinaisia rajoituksia. Akustojen valinnoissa ensimmäisenä ja yhtenä tärkeimmistä kriteereistä kuluttajalle on kustannustehokkuus. Mitä enemmän akuston kokoa kasvatetaan, sitä huomattavammin tulee kustannustehokkuuden kannalta akusto kärsimään.

Akuston valinta tapahtuu yleisesti aikavälillä kello 8–18 kesäpäivinä mitatun tuntikohtaisesti matalimman kuormituksen mukaan. Mikäli kiinteistön sähkökuorma on

0,5–2 kWh, on suositeltavaa valita akkupohjaisissa järjestelmissä 3 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä. Vastaavasti, mikäli kulutus samalla aikavälillä on 2–4 kWh on 5 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä suositeltava.

Näillä arvoilla valitun aurinkosähköjärjestelmän tuottama ylituotanto on noin 1–2 kWh. Akuston koon mukaan ylituotantoa voidaan varastoida 5–10 tunnin ylituotannon verran tässä esimerkissä valittuun 10 kWh:n akustoon.

## **9 Sähkövaraston hyödyt ja käyttö kiinteistöissä**

Sähkövarastopohjaiset aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet suuresti viime vuosina ja tulevat vielä enemmän halutuiksi tulevaisuudessa monissa kiinteistöissä, johtuen aurinkosähköjärjestelmien yleistymisestä sekä verkkoyhtiöiden tehomaksujen noususta. Aurinkosähköjärjestelmiä asennetaan vuosittain enemmän, ja vastaan tulee usein ylimääräisen sähköntuotannon varastoinnin ratkaisut. Ilman akuston käyttöä aurinkosähkön ylituotanto menee hukkaan, ellei sitä voida myydä verkkoon siihen liitetyissä järjestelmissä. [4]

Järjestelmän omistajan kannalta tärkeää ovat energiankulutuksen säästöt, jotka saadaan ylituotetun sähkön varastoimisesta. Sähkövarastojen kustannuksissa nähty hyöty keskittyy ajatukseen, että silloin, kun sähköä tuotetaan yli omien tarpeiden, se varastoidaan sähkövarastoon ja käytetään, kun sähkön hinta on korkealla. Näin lasketaan ostetun sähkön kustannuksia, mikäli käytössä on tuntihintakohtainen sähkösopimus. Muissa tapauksissa sähkövarastoja käytetään tehopiikkien leikkaamisessa ja näin lasketaan huomattavasti tehomaksun määrää. [4]

Kustannuksista saatujen hyötyjen lisäksi sähkövarastojen hyötyihin kuuluu sähköakustojen käyttö sähkökatkojen aikana. Eri valmistajien, esimerkiksi Teslan ja Solar Factory Oy:n, älykkäissä akustoissa on mahdollista kytkeä akustot syöttämään sähkökatkon sattuessa yhtä vaihetta erillisellä kytkentärasialla. Sähkökatkon sattuessa akustoihin varastoitu sähköenergia voidaan purkaa yhteen vaiheeseen syöttämään tiettyjä ryhmiä, esimerkiksi jääkaappia tai pakastinta. Kytkentärasiasissa on mittaukset ja suojaukset, jotka täyttävät standardien vaatimukset sekä verkosta pois- että takaisin verkkoon kytketymiselle. [4; 28.]

Ratkaisuiksi jo valmiina käytössä oleviin aurinkosähköjärjestelmiin on Solar Factory Oy:ltä tullut Helenin kanssa sonnenBatterie-sarjan älykkäitä sähkövarastoja, jotka voidaan asentaa jo olemassa oleviin aurinkosähköjärjestelmiin ilman suuria lisähankintoja. Muissa tapauksissa kuluttajat ostavat yleisesti avaimet käteen -menetelmällä järjestelmät. Myös Tesla tarjoaa vastaavia akustoratkaisuja yksityisille tuottajille. Avaimet käteen -menetelmällä myydyissä ratkaisuissa yritys, joka pakettia myy, huolehtii järjestelmän mitoituksesta yhdessä asiakkaan kanssa. Näin asiakas saa juuri hänen kiinteistönsä sopivan kokoisen järjestelmän.

Helen Oy on ensimmäisenä sähkönmyyjänä tuonut markkinoille niin kutsutun virtuaaliakun. Tämä tarkoittaa Helen Oy:n tapaa hyvittää rahallisesti paikallisesti tuotettu aurinkosähkö, mikäli satunnaisesti akun varastointikapasiteetti ei riitä, vaan akusto ehtii täytyä, vaikka ylituotantoa edelleen syntyy. Helenin kampanjan mukaan tällöin ylituotantotilanteissa asiakas saa sähkölaskussaan 13 s/kWh hyvitystä verkkoon Helenille myymästään sähköstä. Tämä hyvitys kattaa Helenin asiakkaan kustannukset, kun myöhempänä ajankohtana ostetaan myydyn ylimäärätuotannon verran sähköä verkosta. Vastaavia järjestelmiä ei vielä löydy muilta sähköntoimittajilta, mutta tulevaisuudessa saatetaan nähdä vastaavia järjestelmiä markkinoilla. [4]

## 10 Yhteenveto

Aloitin työni Yhtyneet insinöörit Oy:ssä keväällä 2016. Idea insinööriyön aiheesta tuli esille toimitusjohtajan kanssa käydystä keskustelusta sähkövarastopohjaisesta aurinkosähköjärjestelmästä hänen kiinteistönsä. Itseäni aihe kiinnosti yleisesti johtuen aurinkosähköjärjestelmien nopeasta yleistymisestä omissa työprojekteissani sekä toimitila- että asuinkiinteistöissä.

Aurinkosähköjärjestelmät kehittyvät koko ajan, ja niiden osuus energiantuotannossa on kasvamassa vuosi vuodelta. Järjestelmistä tulee kannattavampia ja edullisempia investointikustannusten kannalta teknologian kehittyessä ja uusien innovaatioiden tullessa vuosittain markkinoille.

Aurinkosähköjärjestelmien sähkövarastot yleistyvät nyt nopeasti, johtuen sähkön tehomaksuista sekä hintojen kasvusta. Tulevaisuudessa uusiutuvien energiantuotanto-

muotojen, erityisesti aurinkovoiman tuotanto, on kuluttajien arvostamassa asemassa älykkäiden sähköverkkojen lisääntyessä.

Tällä hetkellä aurinkosähköjärjestelmät ja sähkövarastot älykkäiden sähköverkkojen hajautetussa sähköntuotannossa ovat vielä alkumatkassa. Pilottihankkeita esimerkiksi sähköautojen akkujen käytöstä sähkövarastoina on eri puolilla maailmaa, mutta vielä on odotettava teknologian kehitystä ja tarkempien tietojen saamista, ennen kuin nämä mahdolliset varastointi- ja käyttökohteet voivat tulla pienikiinteistöjen käyttöön.

## Lähteet

- 1 Perälä, Rae. 2017. Aurinkosähkö. Helsinki: Alfamet / Karisto Oy. Luettu 1.12.2017
- 2 Tahkokorpi, Markku. Erat, Bruno. Hänninen, Pekka. Nyman, Christer. Rasinkoski, Asko ja Wiljander, Mats. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- 3 Mikä on älykäs sähköverkko? 2018. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<http://new.abb.com/fi/alykas-sahkoverkko/mik%C3%A4-on-alykas-sahk%C3%B6verkko>> Luettu 28.1.2018
- 4 Omavaraiset kotitaloudet – Miksi hankkia sähkövarasto aurinkopaneelien rinnalle. Helen Oy. Haastattelu. Helsinki Energiatalo 28.1.2018
- 5 Sähköhinnat muuttuvat. 2017. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helensahkoverkko.fi/uutiset/2017/siirtohinnat-muuttuvat/#mita-tarkoittaa-tuntiteho-ja-mista-saan-sen-selville>> Luettu 12.2.2018
- 6 Pienvesivoimalaopas. Verkkoaineisto. Pienvesivoimayhdistys <<http://pienvesivoimayhdistys.com/wp-content/uploads/2014/05/Pienvesivoimaopas.pdf>> Luettu 14.2.2018
- 7 Aurinkoenergia, Verkkoaineisto. Suntekno Oy. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf>> Luettu 16.2.2018
- 8 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[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)> Luettu 16.2.2018
- 9 Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. 2011. Verkkoaineisto. <[http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka\\_miehen\\_opas\\_motiva.pdf](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/759-Joka_miehen_opas_motiva.pdf)> Luettu 16.2.2018
- 10 Aurinkopaneelit. Verkkoaineisto. Suntekno Oy. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>> Luettu 16.2.2018
- 11 Leinonen, Antti. 2017. Ketterät akustot tasapainottavat verkon taajuutta. Verkkoaineisto. <<http://eu.landisgyr.com/blog-fi/ketterat-akustot-tasapainottavat-verkon-taajuutta>> Luettu 2.3.2018

- 12 Puranen, Jari. 2017 Energiavarastot. Verkkoaineisto. Tampereen ammattikorkeakoulu  
<<http://johdoton.blogs.tamk.fi/category/energiavarastot/>> Luettu 2.3.2018
- 13 Teoriaa ja faktaa akuista. 2017. Verkkoaineisto. Polar Heater.  
<<http://www.polarheater.fi/page/6/teoriaa-ja-faktaa-akuista>> Luettu 5.3.2018
- 14 Lead based batteries. 2016. Verkkoaineisto. Battery university.  
<[http://batteryuniversity.com/learn/article/lead\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries)> Luettu 6.3.2018
- 15 How does a supercapacitor work? 2017. Verkkoaineisto. Battery University.  
<[http://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_role\\_of\\_the\\_supercapacitor](http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor)> Luettu 10.3.2018
- 16 Aurinkosähköpaneelit. 2018. Verkkoaineisto. Kauko Oy.  
<[https://store.kauko.com/ka\\_esa/esa/Home.jsp?mainpage=Home.jsp](https://store.kauko.com/ka_esa/esa/Home.jsp?mainpage=Home.jsp)> Luettu 11.3.2018
- 17 Lithium Ion (LI-ION) Batteries. Verkkoaineisto. Energy Storage Association. 2018. <<http://energystorage.org/energy-storage/technologies/lithium-ion-li-ion-batteries>> Luettu 11.3.2018
- 18 The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective. 2017. Verkkoaineisto. WMG, International Digital Laboratory, The University of Warwick, Coventry CV4 7AL, UK.  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517307619#bib19>> Luettu 12.3.2018
- 19 Uuden sukupolven latausta Suvilahteen. 2017. Verkkoaineisto. Helen Oy.  
<<https://www.helen.fi/yritys/vastuullisuus/ajankohtaista/blogi/2017/V2G/>> Luettu 14.3.2018
- 20 IEC 62548 Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements. 2016. Geneve: International Electrotechnical Commission.
- 21 SFS-käsikirja 600-1 Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 -standardisarja. 2017. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
- 22 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. D1-2012. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 23 Sizing Fuses for Photovoltaic System per the National Electrical Code. 2012. Verkkoaineisto. <<https://www.controldesign.com/assets/12WPpdf/120613-mersen-photovoltaic-systems.pdf>> Luettu 28.03.2018

- 24 Chatzivasileiadi, A., Ampatzi, E., Knight. 2013. Characteristics of electrical energy storage technologies and their applications in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- 25 Eurosolar kuvasto 2016. Verkkoaineisto. Aurinkosähkötalo Eurosolar Oy <<http://docplayer.fi/4397126-Aurinkosahkotalo-tuotekuvasto-2015-eurosolar-oy-www-eurosolar-fi.html>>. Luettu 29.03.2018
- 26 Vuodenaikojen tilastoja. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/vuodenaikojen-tilastot>>. Luettu 1.4.2018
- 27 sonnenBatterie sähkövarastot. 2018. Verkkoaineisto. Solar Factory Oy. <<http://solarfactory.fi/tuotteet/sonnen-sahkovarastot>> Luettu 1.4.2018
- 28 Wikstedt Mikko. Myyntiesitys sähköposti. 4.4.2018. Solar Factory Oy
- 29 Opas sähkön pientuottajalle 4/2012. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki\\_julkaisut/opas\\_sahkon\\_pientuottajalle.9236.shtml](https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/opas_sahkon_pientuottajalle.9236.shtml)>. Luettu 1.4.2018
- 30 Tekninen liite 1. 2016. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/files/1249/tekninen\\_liite\\_1\\_-\\_enintaan\\_100\\_kVA\\_PAIVITETTY\\_20160427.pdf](https://energia.fi/files/1249/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kVA_PAIVITETTY_20160427.pdf)>. Luettu 02.04.2018
- 31 Aurinkosähkö. 2018. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko)>. Luettu



## Aurinkopaneeli ELDORA VSP.60.AAA.03.04 POLYCRYSTALLINE SOLAR PV MODULES 60 CELLS 260-285 WATT, tekniset tiedot

# ELDORA

HIGH EFFICIENCY SOLAR PV MODULES



**vikramsolar**  
CREATING CLIMATE FOR CHANGE

ELDORA VSP.60.AAA.03.04 | POLYCRYSTALLINE SOLAR PV MODULES | 60 CELLS | 260-285 WATT

# ELDORA ULTIMA

## SILVER SERIES



**60 cells**  
POLYCRYSTALLINE

**upto 17.52%**  
EFFICIENCY

**260-285 W**  
RANGE

- 

**HIGHER OUTPUT OF MODULE POWER**  
by reducing cell to module power loss
- 

Designed for very **HIGH AREA EFFICIENCY** ideally suited for roof-top and ground-mounted applications
- 

Up to +2.5 Wp **POSITIVE POWER OUTPUT TOLERANCE GUARANTEED** ensuring better ROI
- 

Extremely **RELIABLE PRODUCT** suiting all environment conditions
- 

Engineered to provide **EXCELLENT LOW LIGHT RESPONSE**
- 

Extremely **NARROW POWER** binning tolerance to reduce current mismatch loss in single string



**QUALITY AND SAFETY**

- ◆ 27 years of linear power output warranty \*\*
- ◆ Rigorous quality control meeting the highest international standards
- ◆ 100% EL tested to ensure micro crack free modules
- ◆ Certified for PID resistance
- ◆ Certified for salt mist corrosion resistance – severity VI

- ◆ Certified for ammonia resistance
- ◆ Compatible with K2, HILTI & Schletter structures for short and long side clamping\*
- ◆ 3rd Party PAN file validated\*
- ◆ Approved by OST energy\*

**APPLICATIONS**

- ◆ On-grid large scale utility systems
- ◆ On-grid rooftop residential and commercial systems
- ◆ Off-grid residential systems

VSL/ENG/SC/19-Rev 07
[www.vikramsolar.com](http://www.vikramsolar.com)
Email: [sales@vikramsolar.com](mailto:sales@vikramsolar.com)

# TECHNICAL DATA

## ELDORA ULTIMA SILVER SERIES



THIS DATASHEET IS APPLICABLE FOR: ELDORA VSP.60.AAA.03.04 (AAA=260-285)

### Electrical Data<sup>1</sup> All data refers to STC

Peak Power P <sub>max</sub> [Wp]	260.0	262.5	265.0	267.5	270.0	272.5	275.0	277.5	280.0	282.5	285.0
Maximum Voltage V <sub>mp</sub> [V]	30.8	30.9	30.9	31.0	31.0	31.1	31.2	31.2	31.3	31.4	31.5
Maximum Current I <sub>mp</sub> [A]	8.43	8.50	8.57	8.62	8.70	8.76	8.82	8.89	8.94	9.00	9.07
Open Circuit Voltage V <sub>oc</sub> [V]	37.9	38.0	38.1	38.2	38.3	38.4	38.5	38.6	38.7	38.8	38.9
Short Circuit Current I <sub>sc</sub> [A]	8.93	8.98	9.03	9.09	9.12	9.17	9.22	9.27	9.32	9.37	9.41
Module Efficiency η[%]	15.98	16.14	16.29	16.44	16.60	16.75	16.90	17.06	17.21	17.36	17.52

<sup>1</sup> STC: 1000 W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-2. Average relative efficiency reduction of 0% at 200 W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1.

### Electrical Parameters at NOCT<sup>2</sup>

Power [W]	192.8	193.5	194.7	196.0	197.8	199.1	200.7	201.8	203.2	204.6	205.9
V@P <sub>max</sub> [V]	27.8	27.9	27.9	28.0	28.0	28.0	28.1	28.1	28.2	28.2	28.3
I@P <sub>max</sub> [A]	6.93	6.96	6.98	7.02	7.06	7.11	7.15	7.18	7.22	7.26	7.30
V <sub>oc</sub> [V]	35.4	35.4	35.5	35.5	35.6	35.6	35.7	35.7	35.8	35.8	35.9
I <sub>sc</sub> [A]	7.24	7.31	7.37	7.43	7.49	7.56	7.62	7.67	7.73	7.79	7.85

<sup>2</sup> NOCT irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/sec

### Temperature Coefficients (Tc) permissible operating conditions

Tc of Open Circuit Voltage (β)	- 0.31%/°C
Tc of Short Circuit Current (α)	0.058%/°C
Tc of Power (γ)	-0.41%/°C
Maximum System Voltage	1000 V
NOCT	45°C±2°C
Temperature Range	-40°C to + 85°C

### Mechanical Data

Length × Width × Height	1640 × 992 × 40 mm (64.57 × 39.06 × 1.57 inches)
Weight	18.50 kg (40.79 lbs)
Junction Box	IP67, 3 Bypass diodes
Cable & Connectors	1200 mm (47.24 inches) length cables, SOLARLOK PVA/MC4 Compatible/MC4 Connectors
Application Class	Class A (Safety class II)
Superstrate	3.2 mm (0.13 inches) high transmission low iron tempered glass, AR coated
Cells	60 Polycrystalline solar cells
Cell Encapsulant	EVA (Ethylene Vinyl Acetate)
Back Sheet	Composite film
Frame	Anodized aluminium frame with twin wall profile
Mechanical Load Test	5400 Pa
Maximum Series Fuse Rating	15 A

### Warranty and Certifications

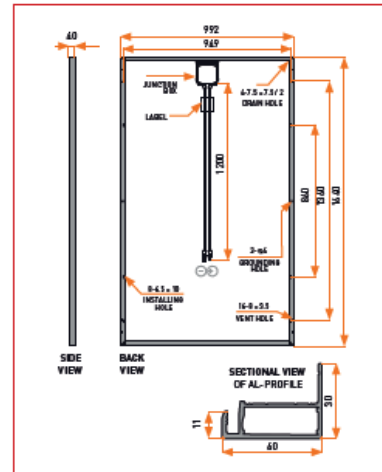
Product Warranty**	12 years
Performance Warranty**	Linear Power Warranty for 27 years with 2.5% for 1st year degradation and 0.67% from year 2 to year 27
Approvals and Certificates	IEC 61215 Ed2, IEC 61730, IEC 61701, IEC 62716, UL 1703*, CE*, MCS*, CEC*, PV Cycle*, IEC 62804, CAN/CSA 61730*, JET*

\* All (\*) certifications under progress.  
\*\* Refer to Vikram Solar's warranty document for terms and conditions.

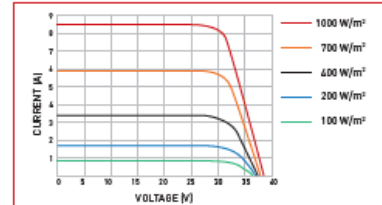
**CAUTION:** READ SAFETY AND INSTALLATION MANUAL BEFORE USING THE PRODUCT.

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. Electrical data without guarantee. Please confirm your exact requirement with the company representative while placing your order.

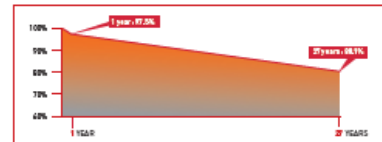
### Dimensions In mm



### Typical I-V Curves



### Performance Warranty



### Packaging Information

Quantity/Pallet	25
Pallets/Container (40'HC)	28
Quantity/Container (40'HC)	700

sales@vikramsolar.com www.vikramsolar.com

## Invertteri sekä sähkövarasto sonnenBatterie Hybrid 8.1 ja akuston kytkentäkaavio talon sähköverkkoon.



sonnenBatterie Hybrid 8.1

Kokonaisratkaisu kotitalouksille: sonnen Hybrid + aurinkopaneelit

- 3-vaiheinen
- Akun kapasiteetti 10, 12, 14 tai 16 kWh
- Sisältää sekä PV- että akkuinvertterin
- Maksimi PV-teho 6.4 kWp
- PV-DC sisäänmeno 250-1000 Vdc
- Maksimi AC-ulostuloteho 5.5 kW
- Maksimi lataus-/purkuteho 3.3 kW
- Latausaika (90%) 3 h – 4.5 h
- Takuu DoD 100 % 10 000 sykliä tai 10 vuotta
- Perusväri valkoinen
- Optiot
  - Näyttö
  - Musta tai harmaa kotelo
  - Koko 137 x 64 x 22 cm (10 kWh) tai 184 x 64 x 22 cm (12- 16 kWh)
  - sonnenSmart-plugit sähkölaitteiden älykkääseen ohjaukseen
  - Backup-Box, latauksen purku sähkökatkon aikana (tulossa 2018)

(Tuote)Osastot: Akut ja energiavarastot, Aurinkopaneelijärjestelmät

### Tuotekuvaus

Kokonaisratkaisu kotitalouksille: sonnen Hybrid + aurinkopaneelit

- 3-vaiheinen
- Akun kapasiteetti 10, 12, 14 tai 16 kWh
- Sisältää sekä PV- että akkuinvertterin
- Maksimi PV-teho 6.4 kWp
- PV-DC sisäänmeno 250-1000 Vdc
- Maksimi AC-ulostuloteho 5.5 kW
- Maksimi lataus-/purkuteho 3.3 kW
- Latausaika (90%) 3 h – 4.5 h
- Takuu DoD 100 % 10 000 sykliä tai 10 vuotta
- Perusväri valkoinen
- Optiot
  - Näyttö
  - Musta tai harmaa kotelo
  - Koko 137 x 64 x 22 cm (10 kWh) tai 184 x 64 x 22 cm (12- 16 kWh)
  - sonnenSmart-plugit sähkölaitteiden älykkääseen ohjaukseen
  - Backup-Box, latauksen purku sähkökatkon aikana (tulossa 2018)

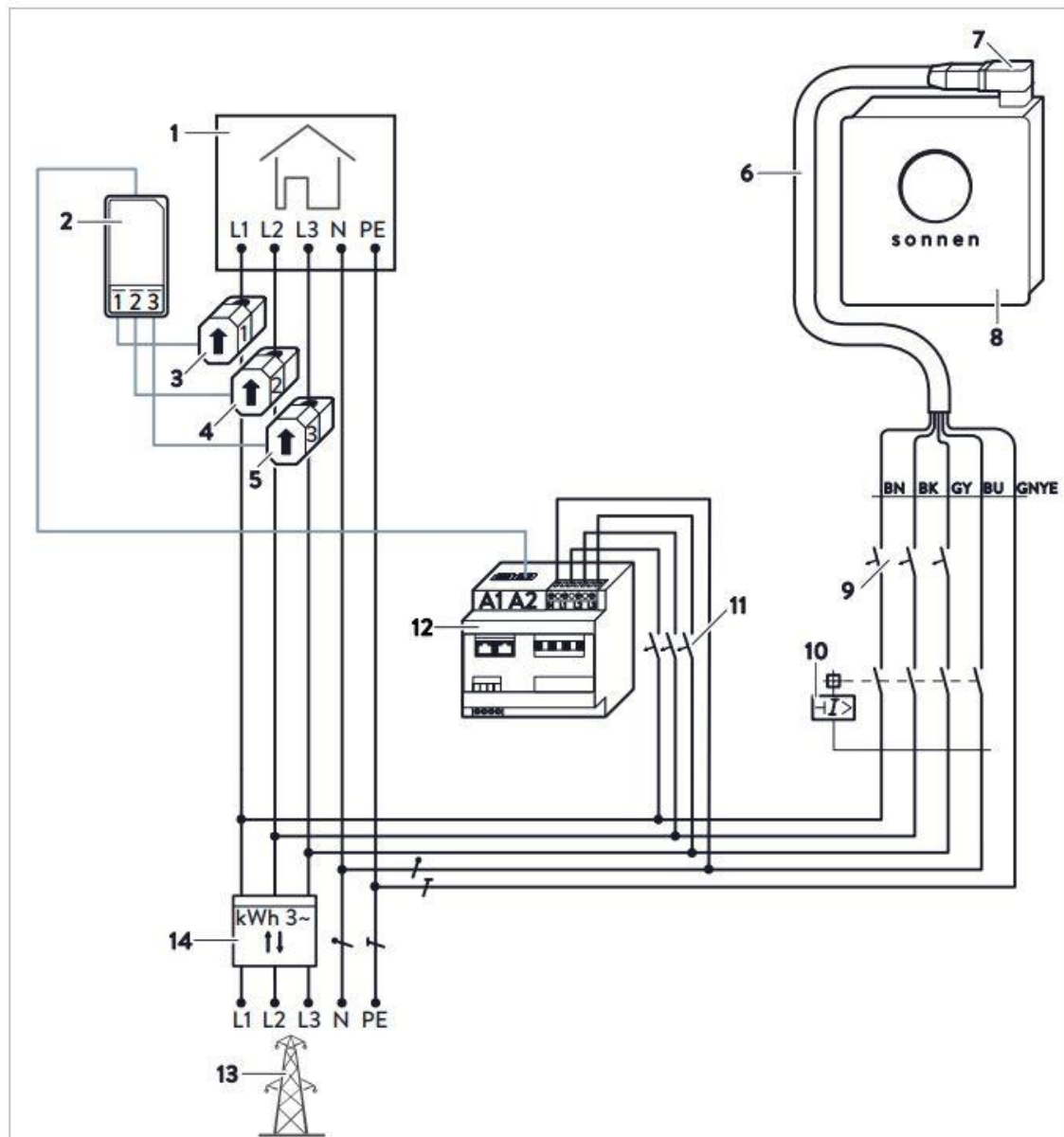


Figure 22: Circuit diagram overview – electrical connection at three-phase mains

- |   |  |    |  |
|---|--|----|--|
| 1 | Consumers in building                      | 8  | Storage system                             |
| 2 | Transformer interface for consumption (A2) | 9  | Miniature circuit breaker B16              |
| 3 | Current transformer for consumption – L1   | 10 | RCD (necessary in networks in TT earthing) |
| 4 | Current transformer for consumption – L2   | 11 | Miniature circuit breaker <sup>3</sup>     |
| 5 | Current transformer for consumption – L3   | 12 | Power meter WM 271                         |
| 6 | Mains line                                 | 13 | Public electrical mains                    |
| 7 | Mains connection socket XAC                | 14 | Bidirectional counter                      |

## Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake



ST 55.35

1 (2)

## MIKROTUOTANTOLAITTEISTON YLEISTIETOLOMAKE

PERUSTIEDOT			
Sähkölaitteiston rakentaja	Yritys		
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilö	Nimi		Puhelinnumero
	Sähköpostiosoite		
Sähkötöiden johtaja	Nimi		Puhelinnumero
	Sähköpostiosoite		
Kohteen tiedot	Nimi		Työnumero
	Kohteen yksilöinti		
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Tuotantolaitteiston omistaja	Yritys		
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Omistajan yhteyshenkilö	Nimi		Puhelinnumero
	Sähköpostiosoite		

## 1 KOHTEEN JA TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Käyttöpaikan numero \_\_\_\_\_

Käyttöpaikan pääsulakekoko \_\_\_\_\_

Tuotantomuoto  Aurinko  Tuuli  Vesi  Muu, mikä? \_\_\_\_\_

Verkkoonliitännäislaitteen valmistaja \_\_\_\_\_

Verkkoonliitännäislaitteen malli \_\_\_\_\_

Tuotantolaitteiston nimellisteho \_\_\_\_\_ kVA<sub>r</sub> Tuotantolaitteiston syöttämä enimmäisvirta \_\_\_\_\_ A

Laitteiston kytkentä  Kolmivaiheinen  Yksivaiheinen, merkitse vaihe  L1  L2  L3

## 2 TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset mukaan lukien verkkoonliitännäislaitteen suojausasettelut ja irtikytkentymisajat (valitse seuraavista vaihtoehdoista)

- Energiateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1
- Saksalainen vaatimusdokumentti VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)
- Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset
- Muu, mikä? (täytä osio 2.1.)

ST 55.35

2 (2)

2.1 Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat		
(Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 2 vaihtoehdon Muu, mikä?)		
Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*		
Ylitaajuussuojaus 1		
Ylitaajuussuojaus 2*		
Alitaajuussuojaus 1		
Alitaajuussuojaus 2*		
* Jos on		
Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumisaika verkkojännitteen palauduttua		s
Saarekekäytönestosuojauksen toteutustapa ja toiminta-aika		s
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty		
2.2 Tuotantolaitteiston erottaminen		
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy		
Erotuskytkimen sijainti _____		
<input type="checkbox"/> Liittymän pääkeskuksella on varoituskyky takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle		
3 LIITTEET JA LISÄTIEDOT		
Tätä lomaketta täydentää _____ liitettä (liitteiden lukumäärä)		
Lisätietoja		