

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Erik Koponen

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ JA SEN KÄYTTÖ SUOMESSA:
KEHITYS, NYKYTILA JA TULEVAISUUS

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2015
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä
Erik Koponen

Nimeke
Aurinkosähköjärjestelmä ja sen käyttö Suomessa: kehitys, nykytila ja tulevaisuus

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli aurinkosähköjärjestelmä ja sen käyttö Suomessa: kehitys, nykytila ja tulevaisuus. Työssä on käsitelty, miten aurinkosähköjärjestelmä toimii, miten sitä käytetään Suomessa tällä hetkellä, ja mitkä ovat sen kehitysnäkymät.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selventää aurinkosähköjärjestelmän tekniikkaa ja aurinkosähköjärjestelmän eri osia kuten aurinkopaneelia, akustoa sekä invertteriä. Opinnäytetyössä selvitettiin myös, kuinka aurinkopaneelit asennetaan optimaalisen tuoton takaamiseksi. Havainnollistavana osana opinnäytetyössä mitoitettiin omavarainen aurinkosähköjärjestelmä vapaa-ajanasuntoon.

Aihe on valittu sen ajankohtaisuuden takia. Aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet Suomessa paljon viime vuosien aikana, ja niiden kasvun uskotaan jatkuvan.

Kieli
suomi

Sivuja
26

Asiasanat
aurinkosähköjärjestelmä, aurinkopaneeli, aurinkokenno



THESIS
May 2015
Degree Program in Electrical Engineering
Karjalankatu 3
FI 80220 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author
Erik Koponen

Title
Photovoltaic System and Its Use in Finland: Growth Current State and Future

Abstract

The subject of this thesis is photovoltaic system and its use in Finland: growth, current state and future. This thesis explains how a photovoltaic system works, how it used in Finland, and what the trends and prospects of development are.

The purpose of this thesis was to clarify the technologies of a photovoltaic system, and its parts such solar module, battery and inverter. In this thesis it is also explained how the solar panels are to be installed to ensure optimal power output. As an illustrative part of this thesis, an off-grid photovoltaic system was planned.

Photovoltaics were chosen as the subject because it is topical. Photovoltaic systems have become lot more common over the past few years, and it is likely that solar power production will continue to grow.

Language
Finnish

Pages
26

Keywords
Photovoltaic system, solar cell, solar panel

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Auringonsäteily Suomessa	5
3	Aurinkosähkötekniikka	7
3.1	Aurinkokennot	7
3.2	Hyötysuhde	8
3.3	Kennojen Materiaali.....	9
4	Aurinkosähköjärjestelmä.....	10
4.1	Aurinkosähköpaneeli.....	11
4.2	Lataussäädin	11
4.3	Akusto	12
4.4	Invertteri	12
4.5	Off-Grid Järjestelmä.....	12
4.6	On-Grid Järjestelmä	14
4.7	Hybridi-Järjestelmä	15
5	Aurinkosähköpaneelien Asennus.....	16
5.1	Paneeleiden Sijainti	16
5.2	Paneeleiden Suuntaus.....	16
5.3	Kallistuskulma	16
5.4	Seurantalaite	17
6	Tulevaisuus Ja Kehitys	18
7	Aurinkosähkön Tuotanto Suomessa	19
8	Vapaa-Ajanasunnon Aurinkosähköjärjestelmä	20
8.1	Energiantarve	20
8.2	Akkukapasiteetin Mitoitus	21
8.3	Paneeleiden Teho	22
8.4	Yhteenveto	24
9	Pohdinta.....	26
	Lähteet.....	27

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia aurinkosähköjärjestelmän käyttöä Suomessa, sekä sen kehitystä, nykytilaa, ja tulevaisuuden näkymiä. Opinnäytetyössä tutkittiin aurinkosähköjärjestelmän käyttöä, sekä perehdyttiin käytettävään tekniikkaan. Työssä myös selvitettiin, kuinka aurinkosähköjärjestelmä asennetaan Suomen olosuhteissa.

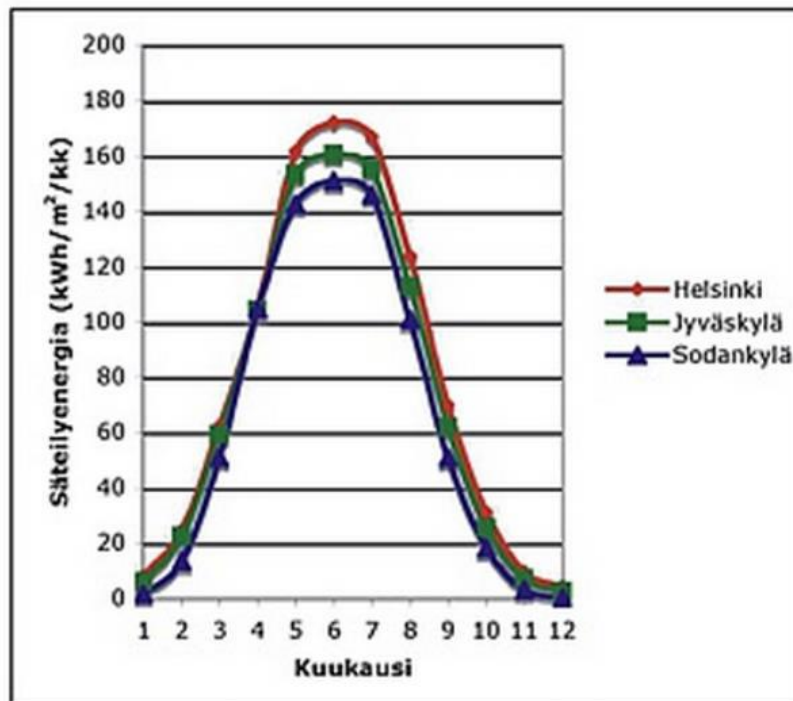
Aurinkosähköjärjestelmän tehtävä on varastoida tai siirtää aurinkopaneelien tuottama sähkö, sekä muuntaa se käytettävään muotoon. Pääosin aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneelistä, säätöyksiköstä ja akustosta. Jos järjestelmä kytketään verkkoon, kuuluu siihen myös verkkoinvertteri ja energialaskuri.

Aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet paljon Suomessa viime vuosina, ja niiden toiminnasta ja kannattavuudesta ollaan kiinnostuneita. Yleensä aurinkosähköjärjestelmiä on käytetty siellä, missä ei ole mahdollisuutta käyttää verkkovirtaa, kuten esimerkiksi kesämökeillä, vapaa-ajan asunnoissa, veneissä, ja saaristoissa. Verkkoon kytketyt järjestelmät ovat kuitenkin yleistymässä ja nykyisin aurinkosähköllä voidaan jo tuottaa suuri osa esim. kotitalouden tarvitsemasta sähköstä.

2 Auringonsäteily Suomessa

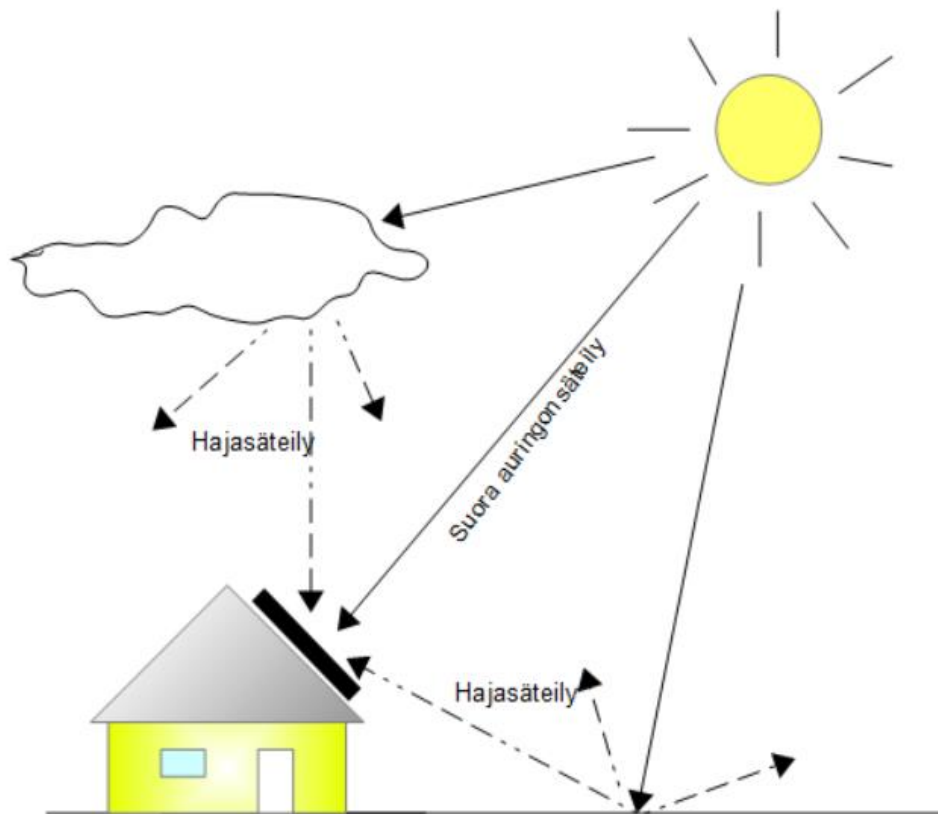
Auringonsäteilyn teho maan pinnan tasalla on noin $1,7 \times 10^{23}$ kW, eli 170 000 terawattia. Kesipäivällä pilvettömällä säällä välitön aurinkovakio on 0,8-1,0 kW/m². Välitön aurinkovakio on se energiamäärä, jonka auringonsäteily tuottaa määrätylle pinta-alalle sekunnin aikana. Tästä voidaan laskea, että 1 kW:n tehoisesta säteilystä tunnin aikana saadaan energiaa 1kWh. [1; 2; 3]

Auringosta saatavan säteilyn teho riippuu sijainnista, vuodenajasta, vuorokaudenajasta ja sääolosuhteista. Auringonsäteily on korkeimmillaan toukokuun ja heinäkuun välissä, jolloin Suomessa säteilyä saadaan keskimäärin kuukaudessa 155 kWh/m^2 . Tammikuun ja helmikuun aikana auringon säteilyä saadaan noin 30 kWh/m^2 . Marraskuun ja tammikuun välissä säteilyteho on lähes olematon. Kuvasta 1 voidaan nähdä auringon säteilyteho Suomessa eri säävyöhykkeillä. [4; 3; 5.]



Kuva 1. Auringon säteilyteho eri säävyöhykkeillä [3].

Auringosta maan pinnalle tuleva kokonaissäteily voidaan jakaa suoraan auringonsäteilyyn, ja hajasäteilyyn. Suora auringon säteily on ilmakehän läpi tulevaa suoraa auringonsäteilyä. Hajasäteily on lähinnä pilvien ja maanpinnan heijastamaa auringonsäteilyä. Kuvassa 2 on esimerkki hajasäteilystä. [2; 7.]



Kuva 2. Auringon suora- ja hajasäteily.

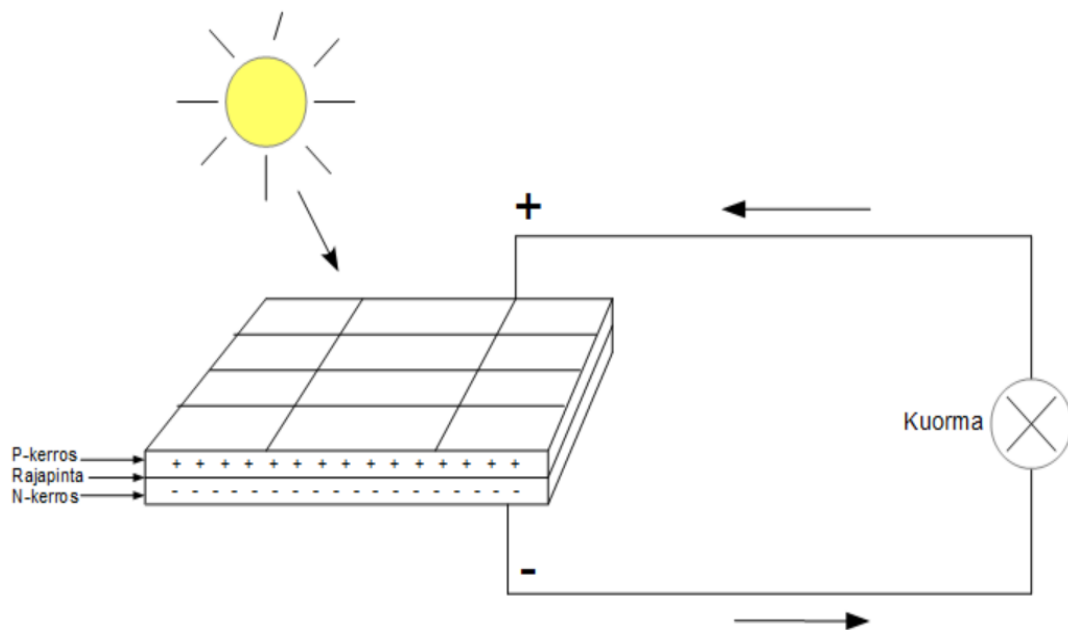
Suomessa auringon kokonaissäteilystä hyvin suuri osa on hajasäteilyä. Etelä-Suomen tasolla noin puolet auringonsäteilystä on hajasäteilyä. Etelä-Suomen vuosittainen kokonaissäteily on samaa tasoa kuin Pohjois-Saksassa. Vuositasolla Etelä-Suomessa saatava auringonsäteily on noin 1000 kWh/m^2 , ja Keski-Suomen tasolla noin 900 kWh/m^2 . [1; 3; 7.]

3 Aurinkosähkötekniikka

3.1 Aurinkokennot

Aurinkosähköjärjestelmässä käytetyt kennot muuttavat auringon säteilyn tasasähköksi valosähköistä ilmiötä hyödyntämällä. Aurinkokenno muodostuu kahdesta puolijohdemateriaalista valmistetusta p- ja n- kerroksesta, joita erottaa rajapinta. [8; 4]

Auringon säteilyssä on säteilyenergiaa kuljettavia fotonihiuksista. Kun auringon säteilyn kuljettama fotonihiuksien osuu aurinkokennoon, siirtyy hiukkasesta energiaa kennossa käytettävän materiaalin elektroneille. Elektronit siirtyvät kennon toiselle kerrokselle ja synnyttävät aukkoja toiselle. Tämä synnyttää sähkökentän kennon sisälle, ja kennoon yhdistettyjen metallijohtimien avulla voidaan sähkö siirtää ulkoiseen piiriin. Kuvassa 3. on esitetty aurinkokennon toimintaperiaate. [7; 9.]



Kuva 3. Aurinkokennon toimintaperiaate.

3.2 Hyötysuhde

Aurinkokennon hyötysuhde on se osuus auringon säteilystä, mikä voidaan muuttaa sähkövirraksi. Koko aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhteeseen vaikuttavat myös muut tekijät, kuten johdotusten ja akkujen hyötysuhteet. [1; 7]

Hyötysuhde pystytään laskemaan tehon, paneelin koon ja auringosta saatavan säteilytehon 1000 W/m^2 avulla. Hyötysuhde saadaan laskettua kaavasta

$$\eta = \frac{P}{A * 1000 \frac{W}{m^2}} \quad (1)$$

missä

P = aurinkokennon/paneelin nimellisteho [W]

A = aurinkokennon/paneelin pinta-ala [m^2]

$1000 \frac{W}{m^2}$ = auringosta saatava säteilyteho maan pinnan tasolla $1 m^2$ pinta-alalla.

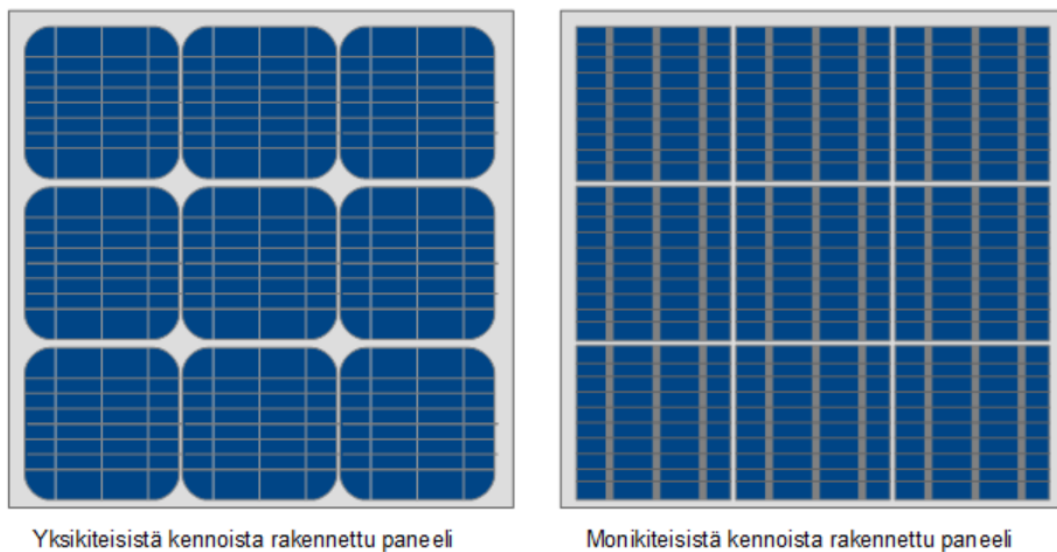
Kaavaa 1 käyttämällä saadaan hyötysuhteeksi paneelille, jonka nimellisteho on 200 W ja pinta-ala $1 m^2$

$$\eta = \frac{P}{A * 1000 \frac{W}{m^2}} = \frac{200 W}{1 m^2 * 1000 \frac{W}{m^2}} = 0,2 = 20 \%$$

3.3 Kennojen materiaali

Tavanomaisesti kennot ovat joko yksikidekennoja, monikidekennoja, tai ohutkalvokennoja. Kennojen materiaali jalostetaan luonnossa esiintyvistä piistä, jota saadaan esimerkiksi kivistä. Tavallisimmin kennojen puolijohteen valmistusmateriaalina käytetään yksi- tai monikiteistä piitä, joiden hyötysuhde vaihtelee 12:sta 19:ään prosenttia. Yksikidekennot pystyvät hyödyntämään auringonvalon hieman paremmin kuin monikidekennot. Yksi- ja monikidekennojen erot ovat pieniä, joten kuluttajan näkökulmasta kiderakenteella ei ole väliä. Ohutkalvokennojen hyötysuhde on 5-13 %. Kuluttajan kannalta hyötysuhdetta merkittävämpää on hinnan ja tehon suhde.[1; 5; 8.]

Yksikiteinen kenno saadaan sahaamalla se pyöreään muotoon kasvatetusta piikiteestä ja monikiteinen kenno valmistetaan valamalla. Yleensä yksikiteisen kennon tunnistaa pyöreistä kulmista, kun monikiteinen on täysin neliskulmainen. Kuvassa 4 on eri kennotyypeistä rakennetut paneelit. [1; 2; 8.]



Kuva 4. Yksikide- ja monikide aurinkopaneelit [2.].

Ohutkalvokennot muodostuvat erittäin ohuesta kerroksesta valoherkkää materiaalia, joka on asetettu lasille, ruostumattomalle teräkselle tai muoville. Ohutkalvokennojen hyötysuhde on pienempi kuin kiteisten kennojen, mutta vastapainona ohutkalvokennojen valmistuskustannuksetkin ovat myös pienemmät. [8]

4 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä rakentuu aurinkosähköpaneeleista, säätö- ja ohjauslaitteista, sekä omavaraisessa järjestelmässä myös akustosta. Aurinkosähköjärjestelmät ovat joko omavaraisia eli off-grid-järjestelmiä, tai verkkoon liitettyjä eli on-grid-järjestelmiä. [1; 7.]

Aurinkosähköjärjestelmän tärkein osa on aurinkopaneeli. Riippuen onko järjestelmä on-grid vai off-grid järjestelmä, siihen kuuluu myös invertteri, lataussäädin, akusto ja tarvittavat suojalaitteet.

4.1 Aurinkosähköpaneeli

Aurinkosähköpaneelin tehtävä aurinkosähköjärjestelmässä on tuottaa jännite esim. akun lataamista varten. Aurinkopaneeleita on erikokoisia ja eri teknologioilla toteutettuja, kuten piikidepaneelit ja ohutkalvopaneelit. Yleisimmin käytetty aurinkopaneeli on yksikiteisestä piistä valmistetuista aurinkokennoista koottu paneeli. Tavallisesti aurinkopaneelit sijoitetaan rakennuksen katolle. Paneelit voidaan myös asentaa rakennuksen julkisivuun. [7]

Aurinkosähköpaneeli rakentuu aurinkokennoista, jotka ovat kytkettynä sarjaan tai rinnan riippuen tarvittavasta jännitteestä ja virrasta. Aurinkosähköpaneeli rakentuu yleensä alumiinisesta kehyksestä, lasi- tai muovilevystä sekä aurinkokennoista. Tavanomaisesti paneeli koostuu 30–36:sta sarjaan kytketystä kennosta, joilla saadaan aikaiseksi 12 voltin tasajännite. [1; 7]

Aurinkopaneeleiden nimellistehot vaihtelevat tavanomaisesti välillä 50–200 W. Aurinkopaneelin nimellisteho saadaan optimaalisissa olosuhteissa säteilyn osuessa paneeliin 35° kulmassa, ja lämpötilan ollessa 25°C . [4]

4.2 Lataussäädin

Lataussäätimen tehtävä on suojata akustoa ylilataukselta, joka voisi vahingoittaa akkua. Säädin myös estää akkuja purkautumasta paneeleiden kautta säätimessä olevan estodiodin avulla. Usein säätimessä itsessään on myös jännite- ja virtamittarit jotka osoittavat akuston varaustilan ja paneeleilta tulevan virran. Jotkin säätimet pystyvät asettamaan paneeleilta tulevan jännitteen maksitehopisteeseen, jolla saadaan aikaan parempi latausteho, joten järjestelmä saadaan toimimaan paremmalla hyötysuhteella. Aurinkosähköjärjestelmässä käytettävä lataussäädin sijoitetaan paneeleiden ja akuston väliin. [1; 7]

4.3 Akusto

Omavaraisessa aurinkosähköjärjestelmässä akkuja tarvitaan varastoimaan paneeleiden tuottama energia tuotannon ja kulutuksen erojen tasaamiseksi. Yleisesti aurinkosähköjärjestelmissä käytetään suljetturakenteisia lyijyakkuja, jotka ovat huolto vapaita. Aurinkojärjestelmissä käytettävät akut ovat geeliakkuja ja AGM-akkuja (absorbent glass mat battery). [2]

Akkujen varaustilan ilmaisemisessa käytetään ampeeritunteja (Ah). Akun jännite on normaalisti 12V. Akun varaama energiamäärä saadaan selville kertomalla akun ampeeritunnit sen jännitteellä. Akut voivat vaurioitua jos ne puretaan liian tyhjäksi, joten akkukapasiteettia mitoittaessa kannattaa tämä ottaa huomioon. [1; 7]

4.4 Invertteri

Kun aurinkosähköjärjestelmä liitetään verkkoon, tai omavaraisesta järjestelmästä tarvitaan vaihtovirtaa, voidaan invertterin avulla muuttaa aurinkosähköjärjestelmän tuottama tasavirta vaihtovirraksi. Pienen kokoluokan aurinkosähköjärjestelmissä usein käytetään yhtä invertteriä. Järjestelmä voidaan myös toteuttaa mikroinverttereillä, jotka asennetaan paneelikohtaisesti. Mikroinvertterillä toteutettu järjestelmä tuottaa paremmin energiaa silloin kun osa paneeleista jää varjoon.[1; 7; 10.]

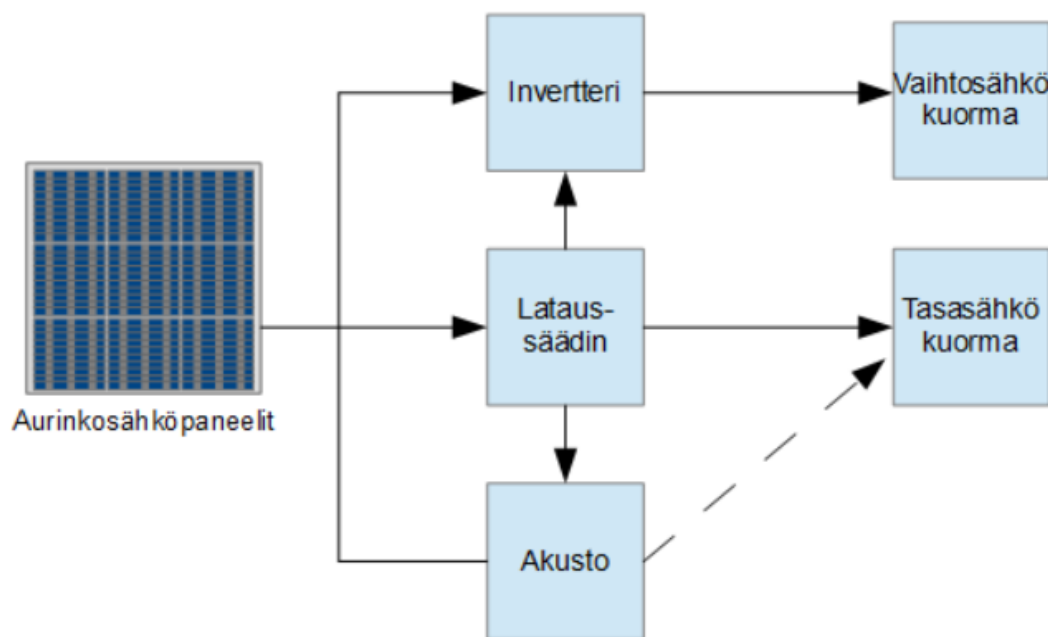
Tavanomaisesti pienissä aurinkosähköjärjestelmissä invertteri kytketään vain yhteen vaiheeseen. Yksivaiheinen invertteri kannattaa kytkeä siihen vaiheeseen jossa kulutusta on eniten. Suuremmissä aurinkosähköjärjestelmissä käytetään 3-vaiheista invertteriä, jolla pystytään tuottamaan sähköä kaikille vaihteille. [7]

4.5 Off-grid järjestelmä

Omavarainen järjestelmä on tavalliseesti käytössä silloin, kun verkkosähkö ei ole käytettävissä. Yleensä omavaraisia järjestelmiä käytetään esimerkiksi mökeillä ja muilla kaukana sähköverkosta olevilla alueilla. [8]

Omavaraisessa järjestelmässä päätoimisena tehonlähteenä toimii aurinkosähköpaneeli tai paneelisto. Tasavirtaa saadaan suoraan paneelilta tai akustosta sitä tarvitseviin laitteisiin. Jos tarvitaan vaihtovirtaa, voidaan paneelien tuottama tasavirta muuttaa vaihtosuuntaajan avulla vaihtovirraksi. Se osa tarvittavasta sähköstä jota ei saada tuotettua aurinkosähköjärjestelmällä, voidaan tuottaa jollain muulla vaihtoehtoisella tehonlähteellä, kuten esimerkiksi dieselgeneraattorilla. [1; 7.]

Omavaraisessa verkkoon kytemättömässä aurinkosähköjärjestelmässä paneelien tuottama sähkö varastoidaan yleensä akkuihin ennen sen käyttöä, ellei sillä hetkellä ole kuormaa. Akun lisäksi järjestelmään kuuluu lataussäädin, joka säätelee paneelien tuottamaa sähköä ja akuston latautumista mahdollisimman optimaalisesti. Akun täytyessä säädin rajoittaa latautumista tai kytkee paneelin irti akusta. Kun akku tyhjenee säädin irrottaa akun kuormasta, jotta akku ei vioittuisi. Kuvassa 5. on esitetty omavaraisen aurinkosähköjärjestelmän rakenne. [1; 7.]



Kuva 5. Off-grid järjestelmän rakenne.

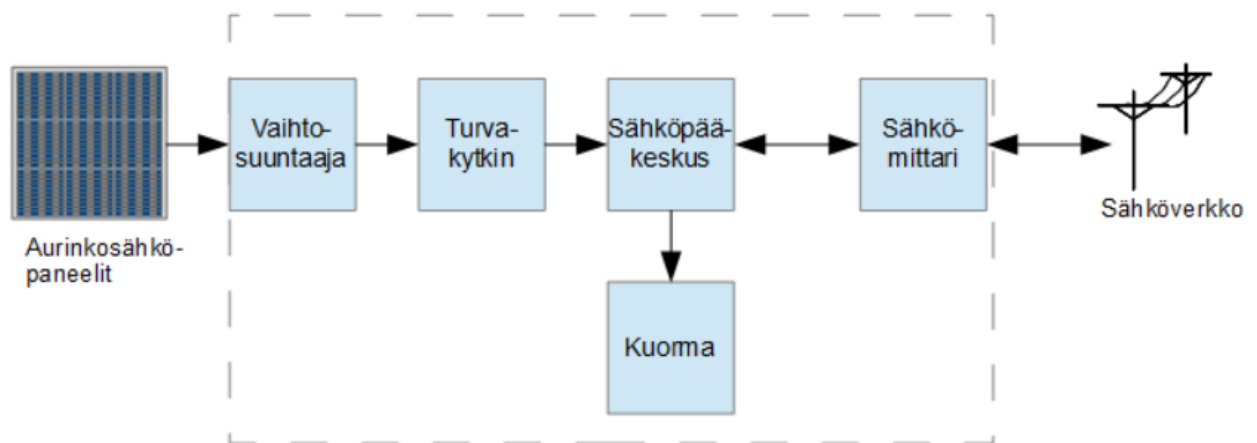
4.6 On-grid järjestelmä

Verkkoon kytketyllä järjestelmällä voidaan ylijäävä tuotettu energia syöttää suoraan verkkoon ja myydä se verkonhaltijalle. Kun kulutus kasvaa suuremmaksi kuin aurinkosähköjärjestelmän tuotto, tai silloin kun aurinko ei paista, otetaan tarvittava sähkö sähköverkosta. [8; 5.]

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista ja vaihtosuuntaajasta. Verkkoon asennettava vaihtosuuntaaja täytyy olla verkon haltijan hyväksymä. Vaihtosuuntaajalla muutetaan paneelilta saatu tasajännite vaihtosähköksi, mikä vastaa sähköverkon vaatimuksia. Aurinkopaneelit kytketään ensin vaihtosuuntaajaan, joka taas kytketään turvakytimen kautta pääkeskuksen. Se että aurinkopaneelien tuottama sähkö syötetään suoraan verkkoon, ei ole niin kannattavaa kuin että se käytettäisiin omaan tarpeeseen. [7; 5.]

Yleisimmin pientalojen aurinkosähköjärjestelmään kuuluu yksi invertteri eli vaihtosuuntaaja. Järjestelmään voidaan myös liittää paneelikohtaisia mikroinvertterejä, joiden avulla pystytään parantamaan sähköntuottoa silloin kun osa järjestelmän paneeleista on varjossa. Jos käytössä on tavallinen vaihtosuuntaaja, tehontuotto huononee varjotilanteessa. Mikroinverttereistä koostuva järjestelmä on kalliimpi verrattuna tavalliseen yhden invertterin järjestelmään. [7]

Verkkoon kytketyssä järjestelmässä on oltava suojalaitteet ja turvakytimet. Suojalaitteet ja tasavirtapiirin turvakytin ovat useasti integroitu vaihtosuuntaajaan. Järjestelmässä pakollisena on myös vaihtopiirin turvakytin, jolla erotetaan aurinkosähköjärjestelmä verkosta. Verkosta otettua ja sinne siirrettyä sähkö mitataan järjestelmään asennetulla energiamittarilla. Mittarista vastaa jakeluverkon haltija. Kuvassa 6. esitetään verkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän rakenne. [7].



Kuva 6. On-gridd järjestelmän rakenne.

Aurinkosähköjärjestelmän on oltava sähköverkon vaatimusten mukaiset, eikä järjestelmä saa aiheuttaa häiriötä verkkoon. Verkkoon kytketty järjestelmä ei saa huonontaa sähkön laatua [11.]. Järjestelmä tulee myös suojata oikeilla suojauslaitteilla. On aurinkosähköjärjestelmän haltijan tehtävä kytkeä järjestelmä pois verkosta, jos siihen tulee vika. Jos tuotettu sähkö ei ole vaatimusten mukaista, on siitä aiheutuneet vahingot järjestelmän omistajan vastuulla. [12.]

4.7 Hybridi-järjestelmä

Sähkön tasaisen saannin turvaamiseksi tai sähkön tuoton tehostamiseksi aurinkosähköjärjestelmä voidaan liittää johonkin muuhun sähköenergiaa tuottavaan järjestelmään. Aurinkosähköjärjestelmän voi liittää esimerkiksi tuulivoimalaan, aggregaattiin, tai johonkin muuhun vaihtoehtoiseen sähköntuotantojärjestelmään. hybridijärjestelmän voi olla omavarainen järjestelmä tai verkkoon liitetty. [8; 7; 1.]

5 Aurinkosähköpaneelien asennus

5.1 Paneelien sijainti

Aurinkopaneelit asennetaan yleensä katolle. Aurinkopaneelit voidaan myös asentaa rakennuksen julkisivuun tai erilliseen telineeseen maahan. Aurinkopaneeleita voidaan myös käyttää rakennusmateriaaleina. Integroidussa aurinkosähköjärjestelmässä voidaan rakennuksen julkisivussa ja katossa olevia pintamateriaaleja korvata aurinkopaneeleilla. [1]

Aurinkosähköjärjestelmän paneelit tulee asettaa paikkaan, jossa ne eivät altistu varjoille. Paneelin yksikään kenno ei saisi jäädä varjoon. Yleisimpiä varjostuksen aiheuttajia ovat puut ja rakennukset. Kun aurinko on talviaikaan matalalla, ja varjot kasvavat, on silloin aurinkopaneelin sijainnilla olennainen vaikutus sähkön tuottoon. Paneeli tuottaa paremmin, mitä korkeammalle se on asennettu varjostavista esteistä. [1; 7.]

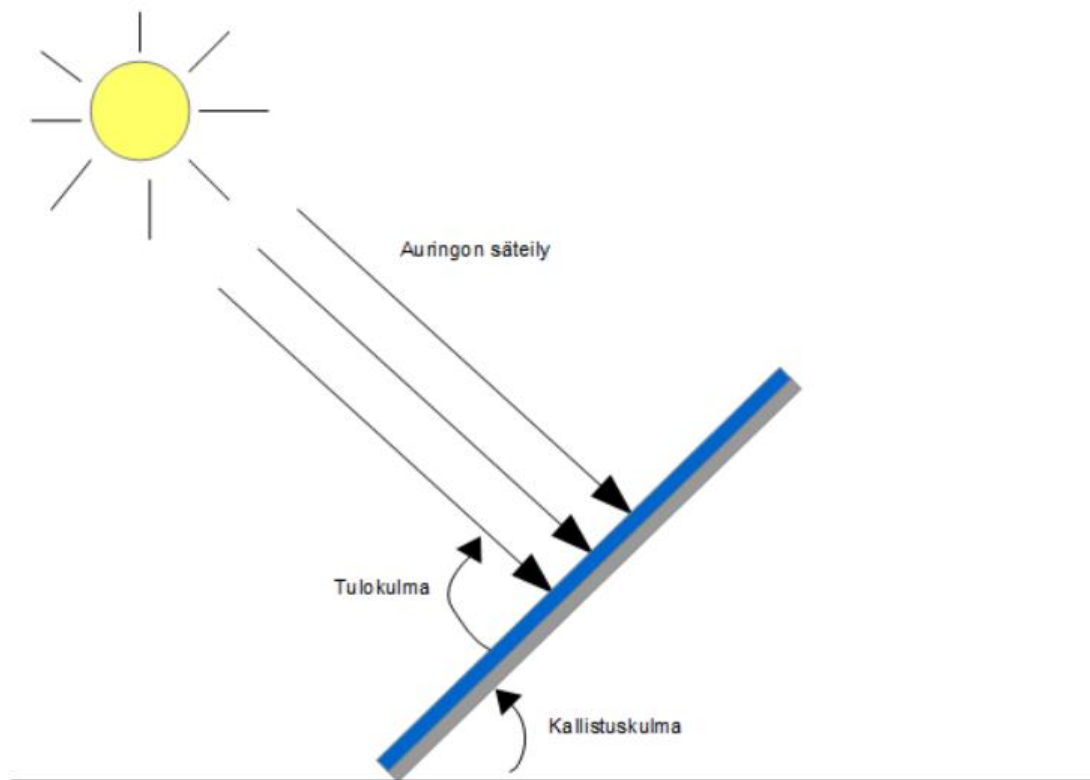
5.2 Paneelien suuntaus

Aurinkopaneelit suunnataan yleensä etelään, joka on optimaalisinta päivän kokonaistuotannon kannalta. Jos verkkoon kytketyn järjestelmän kuormitushuippu on aamuisin, voidaan paneelit suunnata aamuaurinkoon eli itään. Jos kuormitus tapahtuu lähinnä illalla, voidaan paneelit suunnata länteen. Aurinkosähköjärjestelmän vuotuisen energiantuoton parantamiseksi voidaan aurinkopaneelin kulmaa vaihdella 45 astetta molempiin suuntiin, ilman suuria häviöitä. [1; 7.]

5.3 Kallistuskulma

Perinteiset aurinkopaneelit tuottavat parhaiten, kun auringon säteily osuu kennoon kohtisuorasti eli tulokulma on nolla astetta. Tällöin paneelin kallistuskulma on noin 35–45 astetta. Auringon korkeus vaihtelee vuodenajan mukaan. Jotta saataisiin mahdollisimman optimaalinen tuotto, tulisi paneelin kallistuskulmaa säätää auringon korkeuden mukaan, jos mahdollista. [1; 7.]

Paneelit voidaan sijoittaa myös seinään tai pystyasentoon 90° kulmaan. Seinälle tai pystyasentoon asennettuna paneeli tuottaa paremmin syksyllä ja keväällä kun aurinko on matalalla. Suomessa talvella aurinkopaneelistä saadaan paras hyöty kun paneeli on asennettu lähes pystysuoraan. Jos halutaan optimoida paneelin tuotto kesällä, tulisi paneelin olla lähempänä vaakatasoa. Kuvassa 7. on auringon tulo- ja kallistuskulma. [5; 7.]



Kuva 7. Auringon säteilyn tulokulma ja aurinkopaneelin kallistuskulma.

5.4 Seurantalaite

Kiinteän asennuksen lisäksi aurinkopaneelit voidaan asentaa aurinkoa seuraaviksi. Seurantalaite pyrkii pitämään säteilyn tulokulman pienenä seuraamalla auringon sijaintia. Yhden akselin säätölaite säätää joko kallistuskulmaa tai suuntaa. Kahden akselin seurantalaite säätää paneelin kallistuskulmaa, ja myös suuntaa. [1; 7.]

Kirkkaalla säällä aurinkoa seuraamalla voidaan sähkön tuottoa lisätä huomattavasti. Hajasäteilyssä voi seurantajärjestelmä hieman pienentää paneelien tuottoa. Suomen kokonaissäteilystä hajasäteilyä on noin puolet. Seurantajärjestelmällä voidaan oikeissa olosuhteissa saada kaksinkertainen tuotto verrattuna kiinteästi asennettuihin paneelisiin. [1; 7.]

Seurantajärjestelmä kasvattaa investointikustannuksia, sekä siitä voi aiheutua huoltokustannuksia. Vaikka seurantajärjestelmällä voidaan lisätä kokonaistuotantoa, niin riippuu sen kannattavuus monesta tekijästä, kuten investointikustannuksista, sääolosuhteista, huoltokustannuksista, sekä korvattavan sähkön hinnasta. [1; 7.]

6 Tulevaisuus ja kehitys

Aurinkosähköjärjestelmät ovat laajalti käytössä ja ovat jo käyttövarmuudeltaankin hyvin luotettavia. Kuitenkin aurinkosähköteknologian edelleen kehittäminen on ratkaisevaa, jotta aurinkosähkö voidaan saada merkittäväksi osaksi sähkön tuotantoa. Aurinkosähkön laajemman tuotannon mahdollistaminen vaatii sen, että aurinkosähköjärjestelmän hinta tulee alaspäin. [1; 8]

Selvästi keskeisin tavoite tulevaisuudessa onkin hintojen ja kustannuksien pienentyminen. Teknologian kehittyessä aurinkokennojen hyötysuhde ja käyttöikä kasvaa, joka johtaa siihen että tuotantokustannukset alenevat. Kun pystytään tuottamaan ohuempia kennoja, saadaan piin kulutus kennoa kohti pienemmäksi ja valmistuskustannukset alaspäin, näin aurinkosähköjärjestelmän energian takaisinmaksuaika saadaan lyhemmäksi. [8]

Nykyisten teknologioiden kehittäminen ei ole ainoa tapa saada kustannuksia alaspäin. Aurinkokennot on jaettu kolmeen sukupolveen. Yksikide ja monikidekennot ovat ensimmäistä sukupolvea ja ohutkalvokennot kuuluvat toiseen sukupolveen. Kolmannen sukupolven kennot ovat vasta kehitysvaiheessa [7; 8.]

Uusien kennojen kehittäminen on jatkuvaa ja lähiaikoina voidaankin odottaa nanoteknologiakennojen kaupallistumista. Nanorakenteinen väriainekenno eroaa toiminnaltaan kiteisistä kennoista ja ohutkalvokennoista. Väriainekennossa tapahtuu kemiallinen reak-

tio, jossa titaanioksidipartikkelit jotka on päällystetty väriaineella tuottavat sähköä auringon säteilystä. Väriainekennot ovat edullisia ja helppoja valmistaa. Tähän mennessä väriainekennoissa on saavutettu 11 prosentin hyötysuhde. [8; 9.]

Väriainekennojen lisäksi kehitysvaiheessa on myös muita kennoja, joista osa on jo kaupallistumassa ja osa vielä kehitysvaiheessa. Näitä kennoja ovat esimerkiksi joustavat kennot ja keskitetyn järjestelmän kennot. Joustavat kennot perustuvat samanlaiseen valmistusprosessiin kun ohutkalvokennot, mutta niissä valoherkkä aine asetetaan joustavalle pohjalle, kuten vaikka ohuelle taivuteltavalle muoville. Keskitetyssä järjestelmässä auringonvalo keskitetään kennolle peilien tai linssien avulla. Pää tarkoituksena on käyttää mahdollisimman vähän kallista puolijohdemateriaalia, samaan aikaan keräten mahdollisimman paljon auringonvaloa. Keskitetyssä järjestelmässä kennojen hyötysuhde on välillä 20–30 prosenttia. Monet aurinkokennovalmistajat lupaavat aurinkokennojen tehotakuuksi 25 vuotta, jonka voidaan ajatella olevan kennon minimikäyttöikä. Kennojen eliniän odotetaan olevan 30–35 vuotta, vuoteen 2020 mennessä. [7; 8.]

7 Aurinkosähkön tuotanto Suomessa

Tällä hetkellä aurinkosähkön osuus on alle 0,1 % suomen kokonaissähköntuotannosta. Euroopassa aurinkosähkö osuus on suurempi. Saksassa asukasta kohti tuotetaan 1500 kertaa enemmän aurinkosähköä kuin Suomessa. On arvioitu että verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmien yhteenlaskettu teho suomessa on noin 1-3 MW. On myös arvioitu että suomessa olisi noin 40 000 verkkoon kytkemättömiä eli omavaraisia aurinkosähköjärjestelmiä. Suomessa aurinkosähkömarkkinoiden arvo on noin. 10 milj. euroa. [6; 13.]

Sähkömarkkinalain mukaan sähkön pientuotanto on alle 2 MWA, ja sitä suuremmat luokitellaan teolliseksi sähköntuotannoksi. Mikrotuotanto tarkoittaa alle 50 kW:n järjestelmiä, jossa sähköä tuotetaan pääasiassa omaan tarpeeseen. Tavanomaisesti pien- ja mikrotuotanto toteutetaan aurinkosähköllä tai tuulivoimalla. Sähkömarkkinalaissa on sanottu, että sähkön pientuotantoon kuuluvat vaatimukset täyttävät aurinkosähköjärjestelmät on liitettävä verkkoon sähköverkon haltijan toimesta. Verkkoon kytkettyjen järjestelmien on täytettävä tekniset ja laadulliset vaatimukset. [4; 13.]

8 Vapaa-ajanasunnon aurinkosähköjärjestelmä

Tarkoituksena on mitoittaa omavarainen (off-grid) 230V aurinkosähköjärjestelmä vapaa-ajan asuntoon. Kohteeseen lasketaan energian kulutus, jonka perusteella voidaan määrittellä tarvittava akuston kapasiteetti, ja aurinkopaneeleiden koko, sekä oikeat säätölaitteet.

8.1 Energiantarve

Kohteessa sähkön kulutusta on lähinnä kesäajalla (huhtikuu-kesäkuu) ja viikonloppuisin. Aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia käytetään pääasiassa valaistukseen, jääkaappiin ja uppopumppuun. Muita väliaikaisia kuormia ovat televisio, kahvinkeitin, ja mikroaaltouuni. Kohteessa lämmitys tapahtuu puulla ja kaasulla, joten lämmitys ei kuluta sähköä. Tämän vuoksi kulutus pysyy lähes samana käyttökuukaudesta riippumatta.

Energiantarve saadaan selvittämällä kohteen sähkölaitteet, niiden määrä, ja kulutus. Kunkin laitteen keskimääräinen päivittäinen kulutus E saadaan laskettua kaavasta

$$E = P * n * t, \quad (2)$$

missä

P = kuorma [W]

n = laitteiden määrä (kpl)

t = käyttöaika (h)

Taulukossa 1. on laitteet ja niiden kuorma, määrä, ja käyttöaika. Taulukossa on myös laskettu jokaisen laitteen kulutus, ja kohteen kokonaiskulutus vuorokautta kohti, sekä huipputeho.

Taulukko 1. Vapaa-ajan asunnon energiankulutus.

Sähkölaite	Kuorma W	Määrä kpl	Käyttöaika h/vrk	Kulutus Wh/vrk
Led lamppu	6	7	2	84
Loisteputki	10	2	1	20
TV	18	1	2	36
Kahvinkeitin	1500	1	0,5	750
Uppopumppu	250	1	0,5	125
Jääkaappi				300
Huipputeho	1784 W		Kulutus yhteensä	1,02 kWh/vrk

8.2 Akkukapasiteetin mitoitus

Akusto mitoitetaan kattamaan kahden päivän energiatarve. Akun varaama energia ilmoitetaan ampeeritunteina Ah, joten muutetaan tarvittava energia 1,02 kWh/vrk ampeeritunneiksi. Akun jännite on 12 voltia. Tarvittava akun kapasiteetti E_{akku} saadaan laskettua kaavasta

$$E_{akku} = 2 * E/U \quad (3)$$

missä

$$E_{akku} = \text{akun kapasiteetti [Ah]}$$

$$E = \text{vuorokauden sähköenergiatarve [kWh/vrk]}$$

$$U = \text{akun jännite}$$

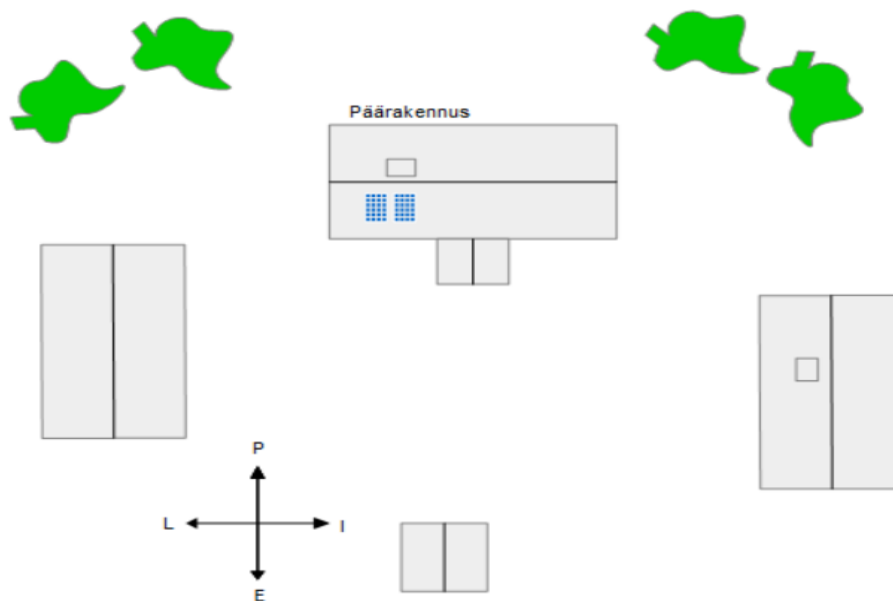
Kaavaa 3. käyttäen saadaan kahden päivän akun kapasiteetti, kun vuorokauden energiatarve on 1,02 kWh/vrk ja akun jännite 12 V

$$E_{akku} = \frac{2 * 1,02 \text{Wh}}{12 \text{V}} = 170 \text{ Ah}$$

Akkujen tarvittava kapasiteetti on 170 ampeerituntia. Akkuhäviöt arvioidaan olevan 5 %. Akkujen lataamiseen tarvittava energia on $1,02 \text{Wh}/0,95 = 1,07 \text{ kWh/vrk}$, joten tarvitaan paneelit jotka tuottavat noin 1,07 kWh/vrk.

8.3 Paneelien teho

Vapaa-ajanasunnon pihapiiriin kuuluu neljä rakennusta. Aurinkosähköjärjestelmällä tuotettu sähkö käytetään pääasiassa päärakennuksen tarpeisiin. Kohteessa aurinkopaneelit asennetaan päärakennuksen katolle, johon aurinko paistaa esteettä koko päivän, eikä varjoja synny paneeleille. Paneelit asennetaan kiinteästi katonmyötäisesti 40° kallistuskulmaan ja suunnaten etelään. Kuvassa 8. ovat kohteeseen kuuluva pihapiiri ja sen rakennukset.



Kuva 8. Vapaa-ajan asunnon pihapiiri ja rakennukset.

Sijaintipaikan arvioitu säteilyteho ja sähköenergian tuotto saatiin käyttämällä PVGIS-laskuria (Photovoltaic Geographical Information System). Laskuriin on annettu kohteen sijainti, ja paneelien asennuskulma. Arviossa on käytetty yhden kilowatin järjestelmää. Järjestelmän häviöiksi on arvioitu 14 %. Kuvassa 9. PVGIS-laskuri.

JRC **CM SAF** Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe [Contact](#) [Important legal notice](#)

New: PVGIS expanded to cover Asia. Click [here](#) to read about it.

Europe Africa-Asia

e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"

Search

Latitude: Longitude:

Go to lat/lon

Kartta Satelliitti

Google Karttatiedot ©2015 Google Käyttöehdot Ilmoita karttavirheestä

Solar radiation Temperature Other maps

PV Estimation Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Classic PVGIS [\[What is this?\]](#)

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 1 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90] 40° ☐ Optimize slope

Azimuth [-180;180] 0° ☐ Also optimize azimuth

(Azimuth angle from -180 to 180, East=-90, South=0)

Tracking options:

☐ Vertical axis Slope [0;90] 0° ☐ Optimize

☐ Inclined axis Slope [0;90] 0° ☐ Optimize

☐ 2-axis tracking

Horizon file Valitse tiedosto Ei valittua tiedostoa

Output options

☒ Show graphs ☒ Show horizon

☒ Web page ☐ Text file ☐ PDF

Calculate [\[help\]](#)

Kuva 9. PVGIS-laskuri [14].

Fixed system: inclination=40°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.57	17.7	0.64	19.8
Feb	1.66	46.3	1.87	52.5
Mar	2.49	77.2	2.95	91.4
Apr	3.72	112	4.68	140
May	4.14	128	5.48	170
Jun	3.97	119	5.40	162
Jul	3.96	123	5.48	170
Aug	2.98	92.3	4.02	125
Sep	1.98	59.5	2.55	76.5
Oct	1.08	33.4	1.31	40.7
Nov	0.41	12.4	0.48	14.5
Dec	0.29	9.06	0.33	10.3
Yearly average	2.27	69.1	2.94	89.4
Total for year		830		1070

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Taulukko.2. Arvioitu sähköenergian päivittäinen tuotto ja säteilyteho [14].

Taulukosta 2. nähdään arvioitu aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia yhden kilowatin aurinkosähköjärjestelmällä. Kun kesäkuussa yhden kilowatin järjestelmä tuottaa 3,97 kW/vrk, saadaan siitä laskettua kohteen tarvitsema paneeliteho, kun akkujen lataukseen tarvittava energia on noin 1,07 kWh/vrk. Tarvittava aurinkopaneeliteho saadaan laskettua kaavasta

$$P = E_1/E_2 \quad (4)$$

missä

P = paneeleiden teho [W]

E_1 = tarvittava energia [kWh]

E_2 = 1 kW järjestelmän tuottama energia [kWh]

Kaavaa 4 käyttäen saadaan aurinkopaneeliteho, kun tarvittava energia on 1,07 kWh/vrk, ja tiedetään että 1 kW järjestelmä tuottaa 3,97 kWh energiaa vuorokaudessa.

$$P = \frac{1,07\text{kWh}}{3,97\text{kWh}} = 0,270 \text{ kW} = 270 \text{ W}$$

270 W aurinkopaneeleilla saadaan tuotettua vapaa-ajanasunnon 1,02 kWh/vrk kulutusta vastaava määrä energiaa.

8.4 Yhteenveto

Mitoituksen tuloksena saatiin laskettua vapaa-ajanasuntoon omavarainen aurinkosähköjärjestelmä, jolla pystytään tuottamaan energiaa kattamaan sähköntarve viikonloppuisin. Kohteen kulutukseksi laskettiin 1.02 kWh/vrk, josta pystyttiin määrittämään tarvittava akkukapasiteetti. Akkukapasiteetiksi mitoitettiin 170 Ah, ja akkuhäviöiden arvioitiin olevan noin 5 %. Näiden pohjalta pystyttiin laskemaan, että paneeleiden tehon tulisi olla noin 270W, jotta saadaan ladattua akut vastaamaan kohteen kulutusta. Mitoituksessa ei otettu huomioon lataussäädin- ja invertterihäviöitä.

Järjestelmän hinta:

Aurinkopaneelit yhteensä 270W	350–550 €
Lataussäädin	40–90€
Akusto 170 Ah	250–400 €
Inverteri 1000W	400–500 €
Kaapelit	n.50 €
Yhteensä	1090–1590 €

Järjestelmän hinnaksi tulisi arviolta 1090–1590 €. Hintaa arvioitaessa vertailin eri valmistajien hintoja. Hintaa arvioitaessa laskettiin vain järjestelmän osien kustannukset, hinnassa ei otettu huomioon asennuskustannuksia.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia aurinkosähköjärjestelmiä ja aurinkosähkön käyttöä Suomessa. Mielestäni opinnäytetyössä saatiin hyvin kasaan tietoa aurinkosähköjärjestelmässä käytettävästä tekniikasta ja käytöstä Suomessa. Mielestäni onnistuin myös kertomaan aurinkosähköjärjestelmän tekniikasta monipuolisesti ja havainnollistamaan sitä. Aurinkosähköjärjestelmä osoittautui olevan taloudellisesti kannattavampaa, kuin mitä oletin sen olevan ennen työn aloittamista. Opinnäytetyössä oleva mitoitus toimii hyvänä pohjana tulevalle aurinkosähköjärjestelmän toteutukselle. Tehdessäni opinnäytetyötä opin paljon, ja kiinnostus kasvoi aurinkosähköä ja muita uusiintuvia energiaa kohtaan.

Uskon että aurinkosähkön osuus energiantuotannosta tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset ovat laskeneet voimakkaasti muutaman viime vuoden aikana, ja aurinkosähkön tuotannosta saadaan entistä kannattavampaa tulevien vuosien aikana. Vaikka Suomessa aurinkosähkön osuus sähkön kokonaistuotannosta on vielä pientä verrattuna muuhun Eurooppaan, aurinkosähkön suosio on selvästi kasvussa. Voidaan varmasti odottaa, että lähivuosina useampi kotitalous tuottaa osan tarvitsemastaan sähköstä aurinkosähköjärjestelmällä.

Lähteet

- [1] Erat B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo K & Peltola S., Suokivi H. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen yhdistys ry. 2008.
- [2] Finnwind. Aurinkoenergiaopas. 2013. [Viitattu 1.4.2015]. <http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>
- [3] Ground energy. Aurinkoenergia Suomessa. [Viitattu 1.4.2015]. <http://www.groundenergy.fi/aurinkoenergia+/>
- [4] Lankinen R. & Puhakka A. Hajautetut energiaratkaisut - uusiutuva energia alueellisesti. Julkaisut, isat-sarja Itä-Suomen ammattikorkeakoulut 2013. <http://www.theseus.fi/handle/10024/86224>
- [5] Finnwind. Aurinkovoima. [Viitattu 10.4.2015] <http://www.finnwind.fi/aurinkovoima>
- [6] Lappeenranta university of technology. Aurinkoenergia Suomessa. [Viitattu 11.4.2015] http://www.lut.fi/uutiset//asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-suomessa
- [7] Motiva. Aurinkoenergia. [Viitattu 15.4.2015] http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko
- [8] Renewable Energy in Europe: markets trends and technologies. European renewable energy council 2010.
- [9] Helsinki University of technology. Aurinkosähköteknologiat. [Viitattu 20.4.2015] <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>
- [10] Kekkonen A. Taloudellisesti kannattavan aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Oulun ammattikorkeakoulu 2014. [viitattu 5.5.2015] http://www.oamk.fi/toolbox/fileuploads/assuunnittelu_0514.pdf
- [11] Aurinkosähköjärjestelmän toteutus ja liittäminen jakeluverkkoon. Rantasipi airport, Vantaa 2014.
- [12] Energiateollisuus. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. [Viitattu 1.5.2015]. http://energia.fi/sites/default/files/teknenen_liite_1_-_enintaan_50_kva_paivitetty_20140610.pdf

- [13] Pienimuotoisen energiantuotannon edistämistyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriö 2014.

- [14] PVGIS-laskuri. [viitattu 5.5.2015]
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>