

VIHREÄN SIIRTYMÄN TUOTEKEHITYS

- aurinkoenergia



Sisällys

Johdanto aurinkoenergiaan.....	1
Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen.....	4
Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen.....	22
Järjestelmät, suuntaus ja varjostuksien vaikutus.....	27
Aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys.....	34
Aurinkovoiman tulevaisuus.....	36
Lähteet.....	38

Johdanto aurinkoenergiaan

Yleistä aurinkoenergiasta osiossa tutustutaan aurinkoenergian perusteisiin sekä sen keskeiseen sanastoon.

Kappaleiden sisältö:

- Aurinkoenergian historia ja auringon säteily
- Aurinkosähköjärjestelmän laitteet
- Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen
- Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen
- Järjestelmät, suuntaus ja varjostusten vaikutus tuotantoon
- Aurinkosähköjärjestelmien hinta
- Aurinkosähkön tulevaisuus

Tämän osion jälkeen sinulla tulisi osata tunnistaa miten aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien toimivat ja mitkä ovat näiden peruskomponentit. Hahmottaa, miten aurinkoenergian tuotanto vaihtelee eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Sekä hahmottaa miten paljon aurinkosähköä tuotetaan Suomessa nyt ja tulevaisuudessa.

Auringon säteily ja aurinkoenergian historiaa

Aurinko on 1,3 miljoonaa kertaa maan kokoinen ja edustaa 99,8 % aurinkokunnan massasta. Pääasiallisesti aurinko koostuu Vedystä (73 %), Heliumista (25 %) ja 2 % muista aineista kuten hapesta, hiilestä ja eri metalleista. Aurinkoa voidaan maan näkökulmasta pitää ainoana suuren mittakaavan toimivana fuusioreaktorina. Aurinkomme on toiminut jo 4,6 miljardia vuotta ja sillä on noin viisi miljardia vuotta vielä edessä. Aurinko tuottaa energiaa noin 386 miljardia miljardia megawattia sekunnissa. Sen lisäksi että auringosta saadaan hyödynnettyä erilaisilla laitteilla sekä lämpöä että sähköä, niin aurinkoon pohjautuu useampi muukin uusiutuvan energian muoto. Epäsuorasti aurinkoon pohjautuvia energiamuotoja ovat esimerkiksi tuuli-, aalto- ja vesivoima. Suoraan hyödynnettäessä aurinkoenergiaan voidaan käyttää esimerkiksi lämpönä rakennuksiin ja veden lämmitykseen sekä sähkönä. Aktiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan keräimillä ja paneeleilla toteutettuja aurinkoenergian talteenottoa ja passiivisella aurinkoenergian hyödyntämisellä tarkoitetaan rakennusten rakenteiden, muotojen ja varjostimien hyödyntämistä lämmönhallinnassa. [Auringon säteily ja aurinkoenergian historia].

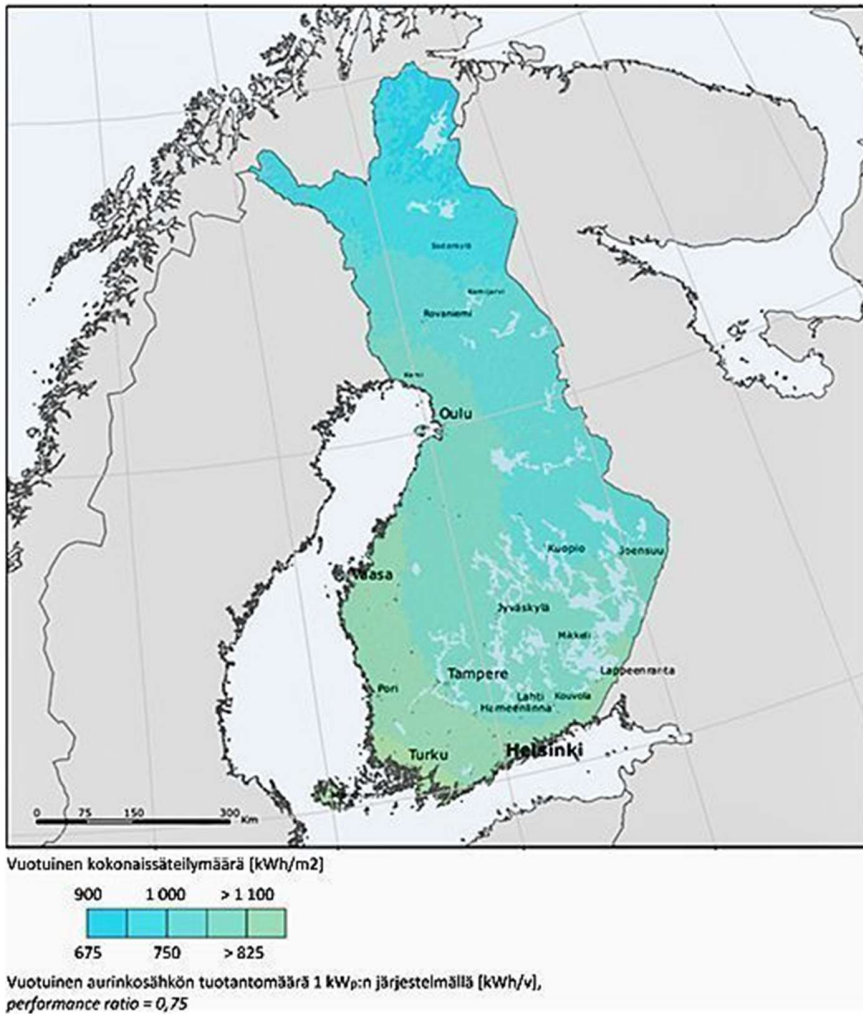


Kuva 1. Aurinko. [Mukaiillen Helen 2019].

Maapallolla käytetään saman verran energiaa vuodessa, kuin aurinko säteilee sille 90 minuutin aikana. Jos aurinkoenergiaa pystyttäisiin paremmin hyödyntämään niin se olisi merkittävä uusiutuvan energian tuotantomuoto, jolla tulevaisuuden energiahaasteet pystyttäisiin ratkaisemaan. Aurinkoenergia on puhdas ja loputon energianlähde ja nykyään suhteellisen helposti hyödynnettävissä lämmöksi tai suoraan sähköksi, lähinnä haasteena ovat laitteiden hyötysuhteet sekä energian varastointi. Keskimääräinen maksimi säteilyteho on 1000 W neliömetrille.

Auringon säteily on suoraan auringosta tulevaa säteilyä tai hajasäteilyä. Hajasäteilyllä tarkoitetaan ilmakehän, pilvien ja maan heijastamaa säteilyä. Kuvassa 2. näkyy Suomen vuotuinen kokonaissäteily määrä. Suomessa auringon hajasäteilyn osuus on merkittävä ja tämä tarkoittaa sitä, että keskittävät aurinkosähköjärjestelmät eivät ole täällä taloudellisesti järkeviä investointeja.

Etelä-Suomessa auringon säteilytuotto on samaa luokkaa suuruudeltaan Pohjois-Saksan kanssa. Suomessa ilma on hyvin puhdasta. Saasteet voivat haittaavat aurinkoenergian hyödyntämistä. Suomen ilmasto on viileä. Viileässä aurinkokennot toimivat tehokkaammin raja-arvon 25 Celsius asteen jälkeen, piikennossa hyötysuhde heikkenee 0,4–0,5 % lämpöastetta kohden. [Auringon säteily ja aurinkoenergian historia].



Kuva 2. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa. [Motiva]

Kuvan 3. aikajanalla näkyy aurinkosähkön historiaan vaikuttaneita henkilöitä. Valosähköinen ilmiö löydettiin vuonna 1839 ranskalaisen fyysikon Alexandre- Edmond Becquerelin toimesta. Vuonna 1883 Charles Fritts valmisti ensimmäisen toiminnallisen aurinkokennon, jonka materiaalina oli seleeni ja kennon hyötysuhde oli alle prosentin. Albert Einstein julkaisi vuonna 1905

valosähköisestä ilmiöstä teorian, jolla hän osoitti, miten auringosta saadaan energiaa aurinkokennojen avulla. Bell Labs kehitti vuonna 1954 ensimmäisen niin sanotun käytännöllisen aurinkokennon, jonka hyötysuhde oli jo 6 %. Aluksi näitä aurinkoenergiasovelluksia hyödynnettiin lähinnä avaruusteknologioissa kuten satelliiteissa. 90-luvulla aurinkopaneelien kehitys otti ison harppauksen eteenpäin, kun patentteja vapautui ja myös piin tutkimus kehittyi mikropiirien lisääntymisen vuoksi. 2010 hinnat laskivat materiaalien halpenemisen ja markkinatilanteiden vuoksi. [Auringon säteily ja aurinkoenergian historia].

Aikajana

Aurinkosähkön kehitykseen on vaikuttanut kuuluisia nimiä



Kuva 3. Aurinkosähkön historiaan vaikuttaneet henkilöt. [Arffman2023].

Aurinkolämmön historia

Ensimmäinen aurinkolämpöä hyödyntävä voimalaitos rakennettiin Egyptin Maadiin vuonna 1912–1913 amerikkalainen keksijä ja insinööri Frank Shumanin toimesta. Voimalaitos käytti höyrykäyttöistä pumppua veden pumppaamiseen pelloille. Höyry tehtiin aurinkokeräimillä, joissa oli paraboliset peilit. Aurinkoenergia teknologia on yleensä pitkäikäistä ja esimerkiksi Californiassa toimii vieläkin aurinkovoimaloita, jotka toimivat vieläkin kuin uudet 30 käyttövuoden jälkeen. [Auringon säteily ja aurinkoenergian historia].

Aurinkoenergian aktiivinen hyödyntäminen

Aurinkoenergian aktiivisella hyödyntämisellä pyritään vähentämään riippuvuutta perinteisistä energialähteistä, kuten fossiilisista polttoaineista, ja vähentämään ympäristövaikutuksia. Teknologian kehitys aurinkoenergian alalla jatkuu, ja uudet innovaatiot auttavat parantamaan

aurinkoenergian tehokkuutta ja edullisuutta. Aurinkojärjestelmätyypit voidaan jakaa tuotannon mukaan kahteen eri osaan.

- Aurinkosähkö (PV eli Photovoltaics)
 - Sähköä tehdään paneeleilla
- Aurinkolämpö (ST eli Solar Thermal)
 - Lämpöä tehdään aurinkokeräimillä

Aurinkosähköjärjestelmän komponentit

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu useista komponenteista, joita tarvitaan aurinkoenergian keräämiseen, muuntamiseen ja hyödyntämiseen sähköenergiaksi. Tässä aurinkosähköjärjestelmän keskeisimmät komponentit, josta järjestelmä koostuu:

- aurinkopaneelit
- invertteri/lataussäädin verkkoon kytkemättömissä järjestelmissä
- kaapelit
- kiinnitysjärjestelmät
- erilaiset tuoton seurantaan tarkoitetut ohjelmistot

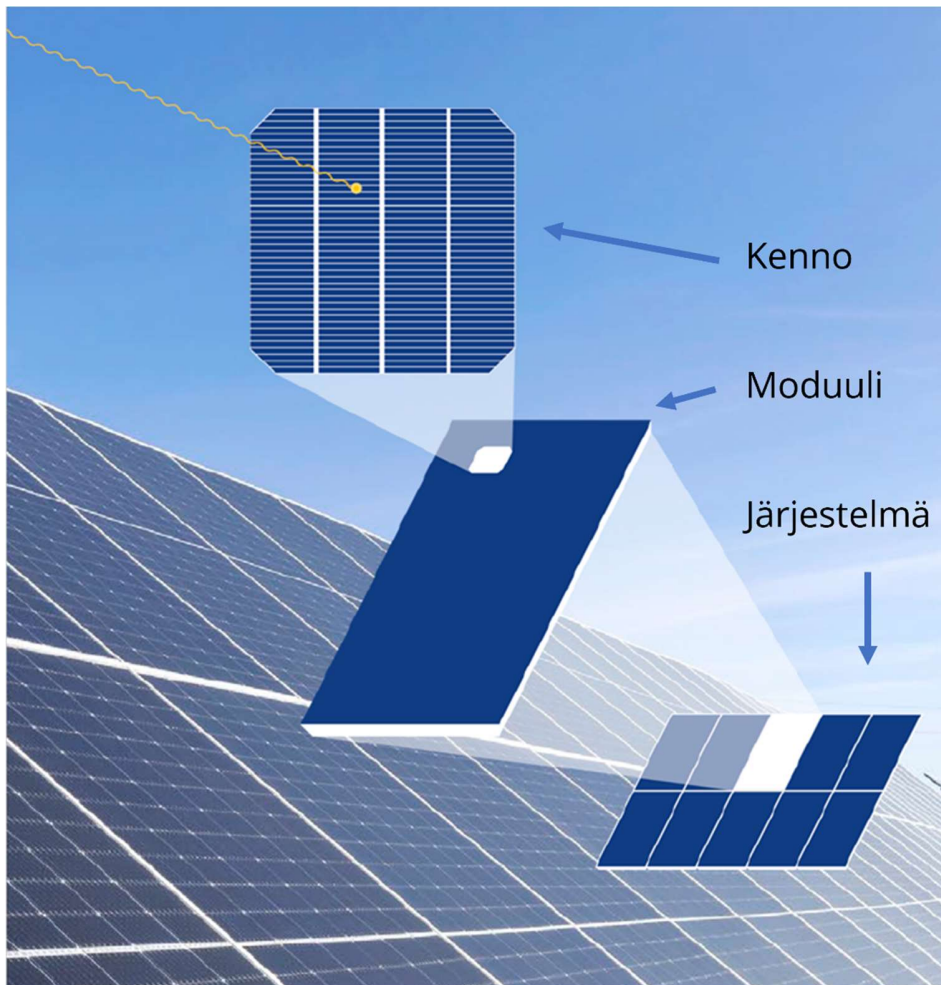
Kuinka aurinkokenno toimii?

Aurinkopaneeli on ryhmä aurinkokennoja kytkettynä sarjaan tai rinnan. Paneelin pienin osa on kenno ja useista kennoista koostuu moduuli ja sen jälkeen useammasta moduulista saadaan järjestelmä. Moduulien kokoa kasvattamalla määritellään kuinka paljon tehoa järjestelmä voi tuottaa. Aurinkopaneelin rakenne on hyvin yksinkertainen, siinä on yleensä alumiinikehys, joka helpottaa kiinnitystä ja jäykistää rakennetta. Rakenteen päällä on laminointi, joka suojaa kennoa ympäristön vaikutuksilta. Kuva 4. havainnollistaa aurinkopaneelin rakennetta.

[Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1)].

Auringonsäteily koostuu fotoneista, jotka kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Aurinkokennoon osuva säteilyenergia muuntuu valosähköisen ilmiön ansiosta sähköenergiaksi. Fotoni imeytyy kennon saostettuun puolijohteeseen ja luovuttaa energiansa elektronille. Elektroni irtoaa puolijohteesta, jolloin sen liike tuottaa sähköä. Aurinkokenno on rakennettu siten, että elektronien liikkeen suunta on säädelty, ja tämä liike muodostaa sähkövirran. Yleisin käytetty puolijohdemateriaali on pii, koska sitä on runsaasti maankuoressa. Pii-atomista irronnut elektroni liikkuu ulkoiseen virtapiiriin kaapelia pitkin invertteriin. Sähkövirta muutetaan invertterissä

vaihtovirraksi, jossa sitä voidaan hyödyntää sähkölaitteissa tai varastoida akkuihin. Yksittäinen aurinkokenno tuottaa tyypillisesti melko vähän sähköä, joten ne yhdistetään aurinkopaneeliksi, joka koostuu kymmenistä rinnan ja sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Yhdessä aurinkopaneelissa voi olla jopa yli sata aurinkokennoa. [Auringon nousu].



Kuva 4. Aurinkokennon ja aurinkopaneelin rakenne. [Auringon nousu Helen].

Aurinkopaneelien tyypit

Aurinkopaneelit jaetaan tyypillisesti moni- ja yksikiteisiin aurinkopaneelisiin. Yksikiteisen paneelin hyötysuhde on tyypillisesti monikidepaneelia hieman parempi ja sen elinikä odote on pidempi. Yksikidepaneelin valmistaminen on kuitenkin vaikeampaa ja hieman kalliimpaa. Yksikidepaneelit tuottavat suorassa auringonpaisteessa monikidepaneelia enemmän sähköä, mutta vastaavasti

monikidepaneeli pystyy hyödyntämään heikommassa valaistusolosuhteissa hajasäteilyä paremmin. Loppujen lopuksi paneelityyppien erot ovat varsin pieniä. Käytännössä eroja tulee tilanteessa, jossa asennustila on rajallinen tai tarkoituksena on asentaa esimerkiksi vain yksi paneeli. Nykyisin (2021) parhaat yksikidepaneelit voivat tuottaa 1,7x1m standardikokoisella paneelilla 340 wattia, kun saman pinta-alan monikidepaneeli tuottaa tyypillisesti noin 290 wattia. [Aurinkopaneelit].

Yksikidepaneelit voi tunnistaa kennojen tummemmasta sävystä, kun taas monikidepaneelit ovat sinertäviä ja niissä olevat epäsymmetriset piikiteet näkyvät selvemmin.

Monikidepaneeli (Multicrystalline) Kuva 5.

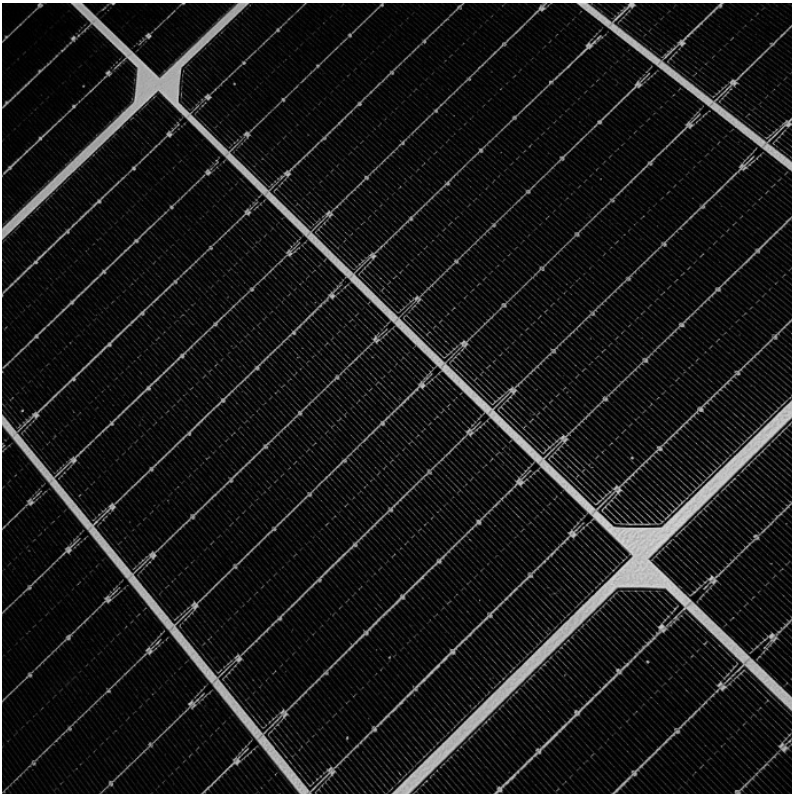
- Yleisin paneelityyppi
- Alhaiset valmistuskustannukset
- Hyvä suorituskyky vaihtelevissa olosuhteissa, hyödyntää hyvin hajasäteilyä
- Hyötysuhde tyypillisesti 15–17 % luokkaa
- Käyttöikä n. 25+ vuotta



Kuva 5.. Monikide aurinkopaneeli [Arffman 2023].

Yksikidepaneeli (Monocrystalline) Kuva 6.

- Korkeampi hyötysuhde (n. 20–22 %), tätä myöten tehokkaampi tilankäyttö
- Kalliimpi kuin monikidepaneeli
- Käyttöikä noin 25+ vuotta, hieman pidempi kuin monikidepaneelilla
- Ulkonäkö tasalaatuisemman näköinen ja väriltään tummempi



Kuva 6. Yksikide aurinkopaneeli [Arffman 2023].



Ohutkalvopaneeli Kuva 7.

- Halvempi ja vähäisempi materiaalin tarve
- Joustava, kevyt ja voidaan asentaa kaareville pinnoille
- Ulkoasu yhtenäinen
- Hyötysuhde noin 9–11 % luokkaa
- Käyttöikä noin 10 vuotta



Kuva 7. Ecofow 100 W ohutkalvopaneeli lataamassa virta-asemaa saarella. [Arffman2023].

Aurinkopaneelin nimellisteho ilmoitetaan wattipiikkinä, tämä kertoo kuinka paljon paneeli tuottaa virtaa standardoiduissa testiolosuhteissa. Eli silloin säteilytehoksi on määritetty 1000 wattia per neliömetri, lämpötila 25 celsius astetta ilmamassakerroin 1,5. Paneelihan voi tuottaa nimellistehoa enemmän, eli esimerkiksi talvella Suomessa, kun paneeliin osuu auringonsäteily ja jos on paljon lunta, josta säteily heijastuu paneeliin niin tuotto voi ylittää nimellistehon. Kuvassa 8. Aurinkopaneelin tyyppikilpi. [Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1)].

LR5-54HPH-410M		LONGI
Teho (Wp, peak power)	Rated Maximum Power (Pmax)	410W
	Power Tolerance	0 ~ 3%
Vmp = Jännite	Voltage at Pmax (Vmp)	31.27 V
Imp = Virta	Current at Pmax (Imp)	13.12A
	Open-Circuit Voltage (Voc)	36.71 V
Voc = Tyhjäkäyntijännite	Short-Circuit Current (Isc)	13.95 A
	Voc & Isc Tolerance	±3%
Isc = Oikosulkuvirta	Maximum System Voltage	1500 V
	Maximum Series Fuse Rating	25 A
	Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
	Protection Class	Class II
STC: AM1.5 1000W/m ² 25°C		
Tested to IEC 61215: 2016 and IEC 61730: 2016		
		
LONGI Green Energy Technology Co., Ltd.		
No. 388, Middle Hangtian Road, Chang'an District, Xi'an, Shaanxi 710100, P. R. China.		
www.longi.com		
Made in China		

Kuva 8. Aurinkopaneelin tyyppikilpi. [Arffman2023].

Paneelin takaa tyyppikilvestä löytyvät tiedot:

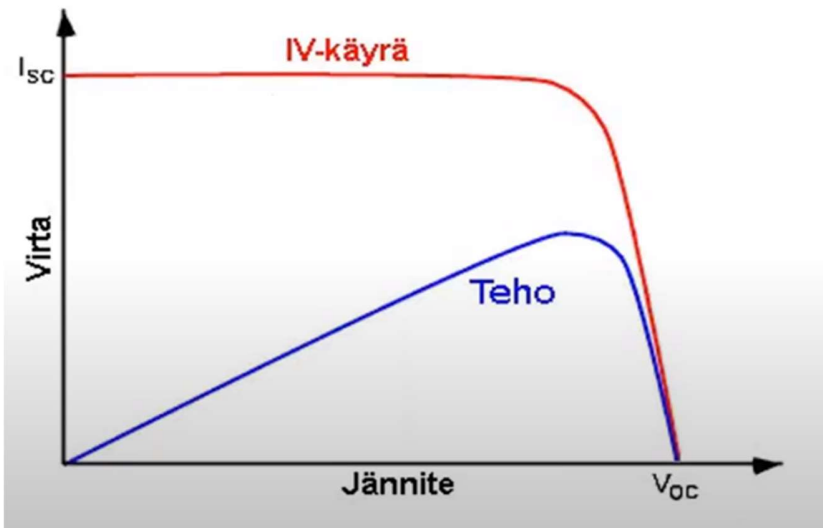
- Teho (Wp, peak power) kertoo paneelin suurimman virran tuoton standardoidussa olosuhteissa
- Imp = Virta
- Vmp = Jännite
- Isc = Oikosulkuvirta
- Voc = Tyhjäkäyntijännite
- Muita mahdollisia tietoja: mekaanisen rasituksen kesto Pascaleina, käyttölämpötila, paneelin mitat ja paino.

Aurinkopaneelin avoimen piirin jännite **Voc** (Voltage open circuit) ilmoittaa aurinkopaneelin jänniteen kuormittamattomana ja esimerkiksi lataussäädintä valittaessa se tulee ottaa huomioon. Lataussäätimen tiedoissa kerrotaan, että mikä on säätimen suurin jännitekesto (Max. **Voc**), joka tarkoittaa suurinta jännitettä, joka on mahdollista saada aurinkopaneelilta.

Paneelin oikosulkuvirta **Isc** (Short-circuit current) puolestaan ilmoittaa suurimman mahdollisen sähkövirran, jonka paneeli pystyy tuottamaan. Aurinkopaneelin suurin virta tapahtuu siinä tilanteessa, kun jännite on nollassa ja paneelia ei ole kuormitettu. Lataussäätimissä myös usein ilmoitetaan mikä on suurin oikosulkuvirta, jonka paneelit teoriassa pystyisivät tuottamaan.

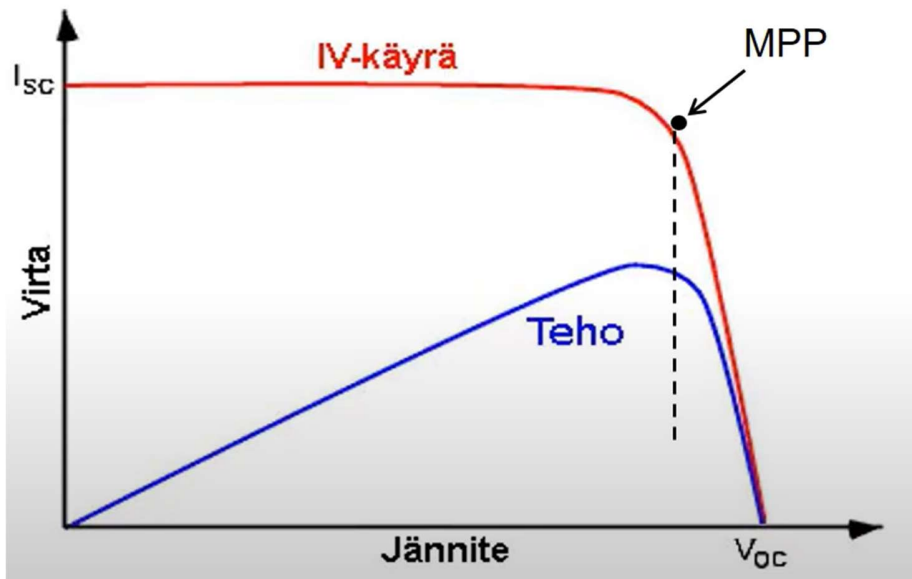
Lyhenteet I_{mp} (Current at Nominal Power) on suurimman tehopisteen virta ja V_{mp} (Voltage at Nominal Power) tarkoittaa suurimman tehopisteen jännitettä. [Aurinkopaneelit].

Paneelin IV-käyrä eli virta-jännite-käyrä (ominaiskäyrä)



Kuva 9. Paneelin IV-käyrä eli virta-jännite-käyrä (ominaiskäyrä). [Digma].

Lisäksi paneelista voidaan muodostaa IV-käyrä, eli virta-jännite-käyrä, josta usein puhutaan nimellä ominaiskäyrä. Sieltä löytyy MPP-piste kuva (10). Eli se on suurimman tehon kohta, jonka invertterit ja säätimet pyrkivät löytämään. Ja siinä käytetystä tekniikasta käytetään nimitystä Maximum Power Point Tracking. MPP-piste on käyrän tärkein piste, maksimitehopiste, jonka virta ja jännitearvolla saavutetaan suurin ulostuloteho kulloisessakin käyttöolosuhteessa. Säteilyllä on näihin arvoihin merkittävä vaikutus, eli kun säteily laskee, niin nämä käyrät madaltuvat. [Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1)].



Kuva 10. MPP = Maximum Power point. [Digma].

Lataussäätimet

Lataussäätimiä on kahden tyyppisiä, PWM-säädin (Pulse-Width Modulation) ja MPPT-säädin (Maximum Power Point Tracking), jos mietitään järjestelmiä, joihin on kytketty akustoa, niin tarvitaan laitteita, jotka ohjaavat akun lataamista ja purkamista, ja estävät ylilataantumisen ja syväpurkaantumisen. Lisäksi voidaan ajatella, että paremmilla malleilla voidaan ohjata esimerkiksi eri kuormia.

PWM-säädin:

- Edullinen perussäädin
- Luotettava ja pitkäikäinen
- Kestää pitkään käytössä ollutta tekniikkaa
- Heikko hyötysuhde 50-60%, hukkaa energiaa



Kuva 11. Victron PWM-lataussäädin. [Victronenergy]

Suurin haaste on näiden laitteiden heikko hyötysuhde, joka on vain 50–60 % luokkaa, joka tietenkin tarkoittaa sitä, että se hukkaa kohtuullisen suuren määrän energiaa ja se ei ole toivottavaa, kun halutaan tuottaa energiaa mahdollisimman paljon omaan käyttöön.

MPPT-säädin:

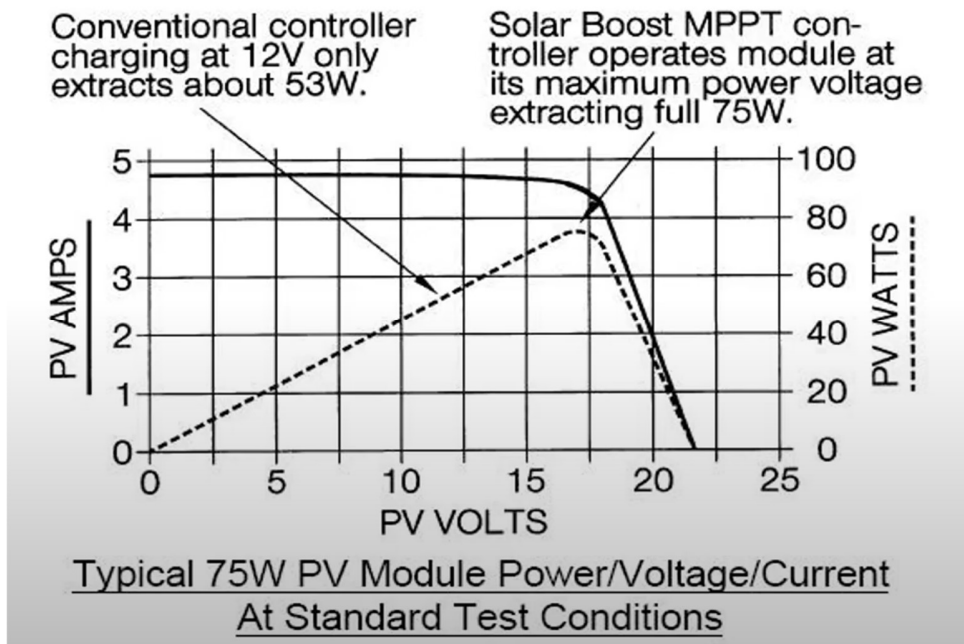
- 30–40 % parempi hyötysuhde kuin perinteisessä PWM-säätimessä
- Lataushyötysuhde 95–98 %
- Hakee korkeimman jännitteen ja virran leikkauspisteen



Kuva 12. Victron SmartSolar MPPT 100/30 & 100/50. [Victronenergy]

Vaikka MPPT-säätimet ovat hankintakustannuksiltaan kalliimpia kuin PWM-säätimet, niillä päättään n. 30–40 % parempaan lataustehoon kuin PWM-säätimillä ja hyötysuhde on hyvää luokkaa. Eli

käytännössä uusimmilla MPPT-säätimillä hyötysuhde on 98 % luokkaa ja hukka on saatu minimoitua ja tätä myöten saadaan maksimaalinen energia oman järjestelmän käyttöön. MPPT-säädin hakee korkeimman jännitteen ja virran leikkauspisteen, jotta energiaa tuotettaisiin aina mahdollisimman parhaalla teholla. [Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1)].



Kuva 13. PWM- ja MPPT-säätimien lataustehot. [Digma].

Yllä kuvassa 13. verrataan toimintaa IV-käyrällä näiden kahden erityyppisen lataussäätimien välillä, eli otetaan tilanne, jossa 75 watin aurinkopaneeli syöttää virtaa 12 voltin akkujärjestelmään, niin PWM-säädin ei pysty hyödyntämään koko kapasiteettia, eli 75 wattisen paneelin tehosta, PWM-säädin ottaa hyötykäyttöön vain 53 wattia. Vastaavasti MPPT-säädin ottaa paneelista n. 17 voltin jännitteen ja toimii maksimipisteessä ja ottaa hyötykäyttöön täydet 75 wattia. [Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1)].

Kaapelit ja Liitännät

Jotta saadaan paneelit liitettyä toisiinsa esimerkiksi sarjaan, tarvitaan kaapeleita, ja sen lisäksi tarvitaan vielä kaapeleihin erityyppisiä liitäntöjä, jotta saadaan paneeleilta kytkennät invertteriin ja invertteriltä sähkökeskukselle. Paneeleissa on itsessään noin 1,5 metriä pitkät + ja - kaapelit, eli paneelit kytketään toisiinsa liittämällä urosliitin naarasliittimeen. Paneelien määrästä riippuen tehdään tarvittava määrä kytkentöjä. Liitinvaihtoehtoja on useita johtuen siitä, että maailmalla on

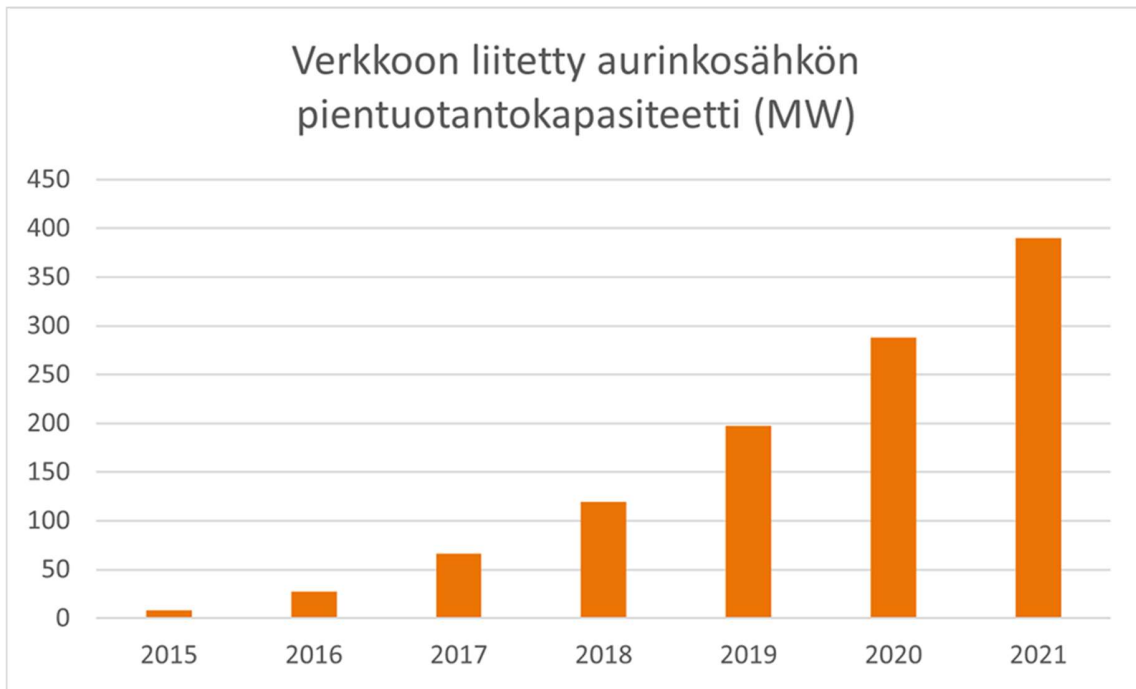
useita eri laitevalmistajia. Pääsääntöisesti käytetyissä liittimissä on pikaliittimet, jotka napsahtavat yhteen, kun ne kytketään toisiinsa ja ne luovat vesitiiviin liitoksen, mikä on tärkeää järjestelmän toiminnan kannalta. Tämän lisäksi katolta tai asennuspaikalta joudutaan tuomaan kaapelointi invertterille, joka rakennetaan erillisestä kaapelista, joka on mielellään UV- ja sääsuojattu, jotta se kestää ympäristön rasituksia mahdollisimman pitkään ja takaa tuoton eri olosuhteissa, ja sen pinta-ala on yleensä 4–6 mm². [Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1)].

Invertteri, akkujärjestelmä ja erotuskytkin

Aurinkopaneelien tuottama sähkö on yleensä tasavirtaa (DC), kun taas kodin sähköverkko käyttää vaihtovirtaa (AC). Invertteri muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi, jotta se voidaan syöttää kotisi sähköverkkoon. Aurinkosähköjärjestelmään voidaan lisätä halutessa akkuja, jotka varastoivat ylimääräisen sähkön aurinkoisina päivinä. Tämä varastoitunut energia voidaan käyttää öisin tai pilvisinä päivinä, kun aurinko ei ole niin voimakas. Erotuskytkimellä voidaan erottaa aurinkopaneeli ja säädin toisistaan esim. huoltotöiden tai talvikauden ajaksi. On tärkeää huomata, että aurinkosähköjärjestelmät voivat vaihdella kooltaan ja monimutkaisuudeltaan, ja niiden komponentit voivat vaihdella sen mukaan, onko kyseessä pieni omakotitalon järjestelmä vai suurempi kaupallinen tai teollinen järjestelmä. Lisäksi teknologian kehittyessä uusia innovaatioita ja komponentteja voidaan ottaa käyttöön. [Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1)].

Aurinkosähkön pientuotannon kehitys Suomessa

Aurinkosähkön pientuotanto on ollut viime vuosina voimakkaassa kasvussa. Kapasiteetti on lähes kaksinkertaistunut kahdessa vuodessa. Vuoden 2021 lopussa sähköverkkoon oli liitetty yhteensä noin 395 megawattia aurinkosähkön tuotantokapasiteettia - alustavan tiedon mukaan kapasiteetti kasvoi vuodessa yli 100 megawatilla. Aurinkosähkön osuus verkkoon asennetusta sähkön tuotantokapasiteetista oli vuoden 2021 lopussa noin 2,2 prosenttia. Aurinkosähkön tuotanto vastasi Suomen sähkön kokonaistuotannosta noin 0,4 prosenttia vuonna 2021. Sähköverkkoon liitetty aurinkosähkötuotanto koostuu lähes kokonaan alle 1 megawatin (MW) pientuotantolaitteistoista. Energiaviraston ylläpitämässä voimalaitosrekisterissä on yli 1 megawatin laitoksia yhteensä 4,6 megawattia. Lisäksi sähköverkkoon kytkemätöntä aurinkosähkökapasiteettia on yhteensä arviolta 22 megawattia, joka on asennettu yli 55 000 pientaloon, erityisesti vapaa-ajan asuntoihin. [Aurinkosähkön kapasiteetti kasvoi Suomessa yli 100 megawattia vuonna 2021].



Kuva 14. Aurinkosähkön pientuotannon kapasiteetin kehittyminen Suomessa. [Energiavirasto].

Aurinkolämpöjärjestelmät

Aurinkoenergian saanti on epäsäännöllistä vuodenajan, sään ja maantieteellisen sijainnin mukaan. Aurinkolämmitysjärjestelmät ottavat aurinkoenergiaa suoraan talteen ja siirtävät tämän energian lämpövarastoon, josta se voidaan tarvittaessa siirtää käyttökohteisiin. Aurinkokeräimen tehtävänä on muuttaa auringon säteily lämmöksi. Keräimestä lämpöenergia siirretään lämmönsiirtoaineen välityksellä eteenpäin. Järjestelmät koostuvat yleensä lämmön keruulaitteistosta, lämpövarastosta ja lämmön siirtoputkistosta.

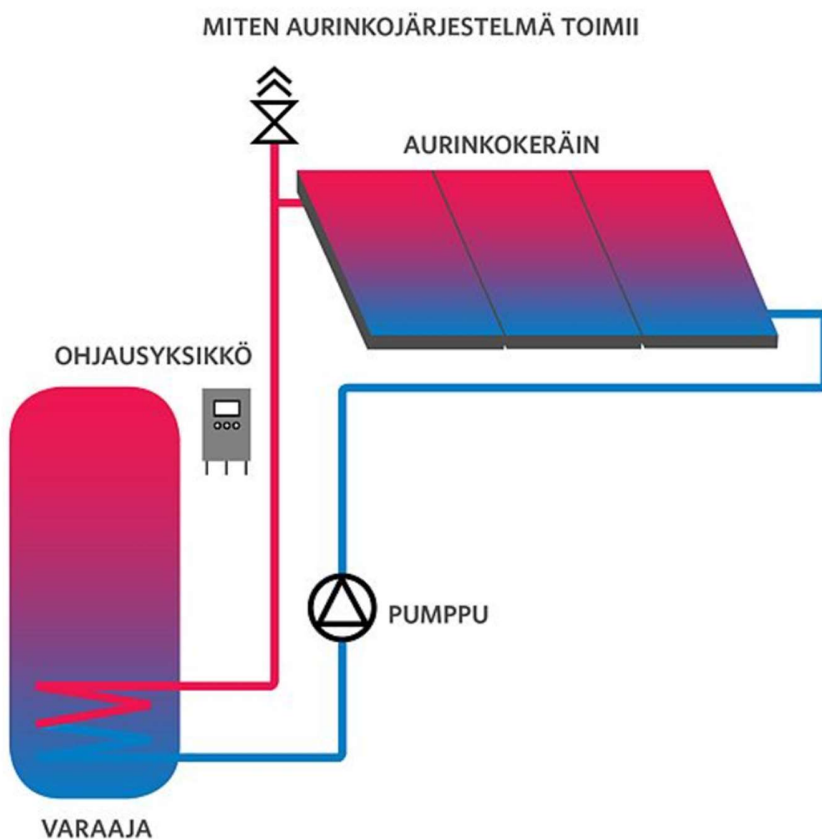
Lämmön siirto tapahtuu useimmiten jonkin lämmönsiirtonesteen avulla.

Aurinkolämpöpuhaltimissa ilma toimii lämmönsiirtimenä. Lämpövarasto on aurinkolämpöjärjestelmissä lähes aina tarpeen, koska auringonsäteilyn määrät vaihtelevat paljon, eikä kulutus useinkaan tapahdu samaan aikaan kun aurinko paistaa. Kuvan 15.

Aurinkolämpökeräinjärjestelmä koostuu aurinkolämpökeräimestä, eristetystä lämmönsiirtoputkistosta ja lämpövaraajasta. Lämmönsiirtolinjassa on pumppuyksikkö ja ohjauskeskus. Varaaja on varustettu aurinkolämpökierukalla ja pumppuyksikkö turvalaitteilla ja paisunta-astialla. Ohjausyksikkö saa tiedot säätöä varten mitta-antureilla.

Järjestelmä on varustettava asianmukaisilla ilma- ja varoventtiileillä. Jos keräimissä ei ole ilmauskelloa, pumppuyksikössä pitää olla ilmausominaisuus. Ohjainyksikkö säätää pumpun tehoa keräinten ja vesisäiliön lämpötilaerojen mukaan.

Keräinpiiri on suljettu nestejärjestelmä. Keräinten lämpö siirtyy lämpövaraajaan aurinkolämpökierukan tai ulkoisen lämmönvaihtimen avulla. Lämmönsiirtoneste koostuu vedestä ja glykolista. Glykoli estää lämmönkeruunesteen jäätyksen. Nesteeseen on lisätty myös korroosionestoaineita alumiiniabsorberien ja putkiston suojaamiseksi korroosiolta. [Aurinkolämpöjärjestelmät].



Kuva 15. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. [Motiva]

Aurinkolämmön keräimet ovat tyypeiltään neste- tai ilmakiertoisia keräimiä. Nestekiertoiset keräimet ovat joko taso- tai tyhjiöputkikeräimiä. Nestekiertoisissa keräimissä lämpö siirretään nesteen avulla käyttökohteisiin tai lämpövaraajaan. Ilmakiertoisissa keräimissä lämpö siirretään ilman avulla.

Keräintyytit:

- Tasokeräimet
 - Suomessa yleisin tapa tuottaa auringosta lämpöä eli kerätään auringon lämpöä talteen
 - Lämpö siirretään nesteen muodossa varaajaan
- Tyhjiöputkikeräimet
 - Päästään korkeampiin lämpötiloihin tasokeräimiin verrattuna rakenteensa ansiosta
 - Hyödyntävät auringonhajasäteilyä tehokkaammin
- Ilmakeräimet
 - Ilmakeräin käyttää lämmönsiirtoaineena ilmaa.
 - ilman lämmönvastaanotto- ja -siirtokyky ovat huonommat kuin nesteellä hyvin toimivia laitteita saadaan rakentamalla absorptioelementtejä, joissa on suuri lämmönsiirtopinta
- Keskittävät keräimet
 - Vaatii suoran säteilyn auringosta
 - Esim. Paraboliset peilit, jotka keskittävät auringon säteet tiettyyn fokusointipisteeseen tai linjaan
 - Ei ole kannattavaa käyttää Suomessa suuren hajasäteilyn vuoksi

[Aurinkolämpöjärjestelmät].

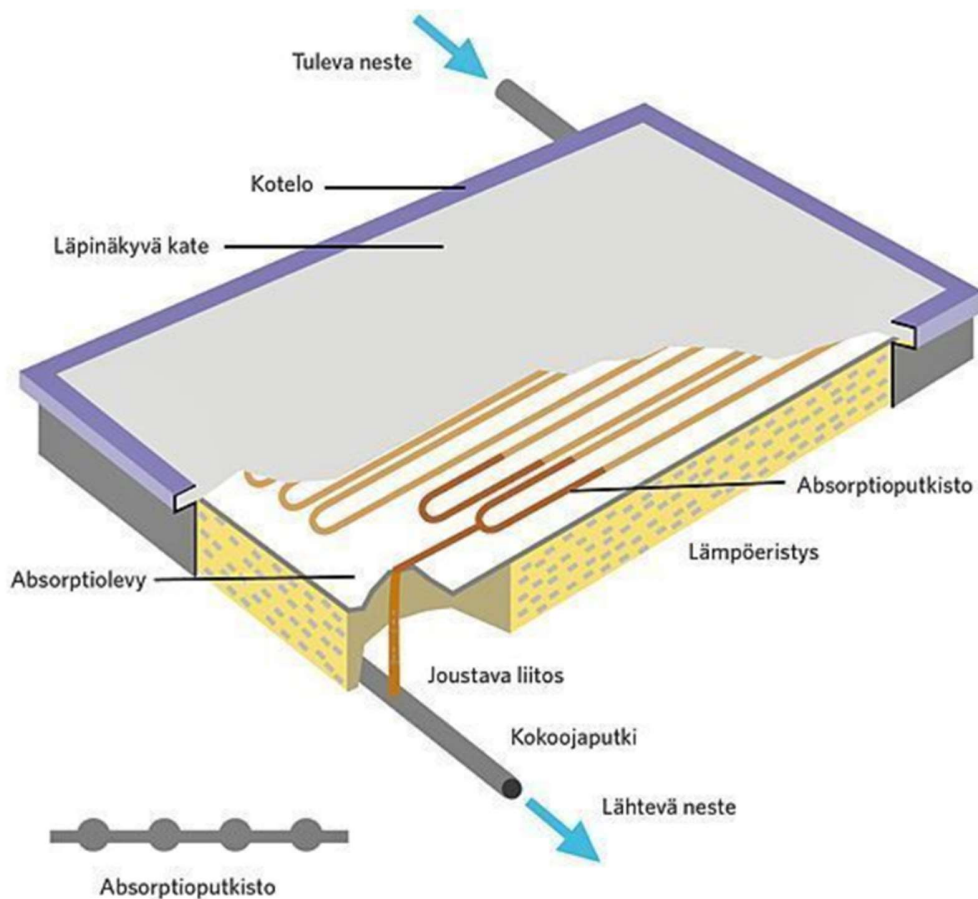


Kuva 16. Erityyppiset aurinkolämpökeräimet. [Motiva].

Aurinkolämmön hyödyntämiseen kuuluu olennaisena osana lämmön varastointi. Passiivisesti lämpöä varastoidaan rakenteisiin. Aktiivisesti aurinkokeräimillä tuotettu lämpö varastoidaan tavallisesti käyttövesivaraajaan, mutta myös hybridijärjestelmien isompaan vesivaraajaan. Lämpöä

voidaan varastoida lisäksi esimerkiksi lämpökaivoihin, rakennuksen alle maaperään tai käyttää kaukolämmön tuotannossa. [Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen].

Nestekiertoisen keräimen kuva 17. muuttaa auringonsäteilyn keräimen sisällä kulkevan lämmönsiirtonesteen lämpöenergiaksi. Neste kuljettaa lämpöenergiaa joko suoraan käyttökohteeseen tai varaajaan. Varaajasta lämpöenergiaa voidaan käyttää käyttöveden lämmittämiseen ja myös tilojen lämmitykseen, jos rakennuksessa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Aurinkolämpö soveltuu erinomaisesti lattialämmitykseen, jossa käytetään matalampia lämpötiloja kuin lämpöpattereissa. [Nestekiertoiset keräimet].



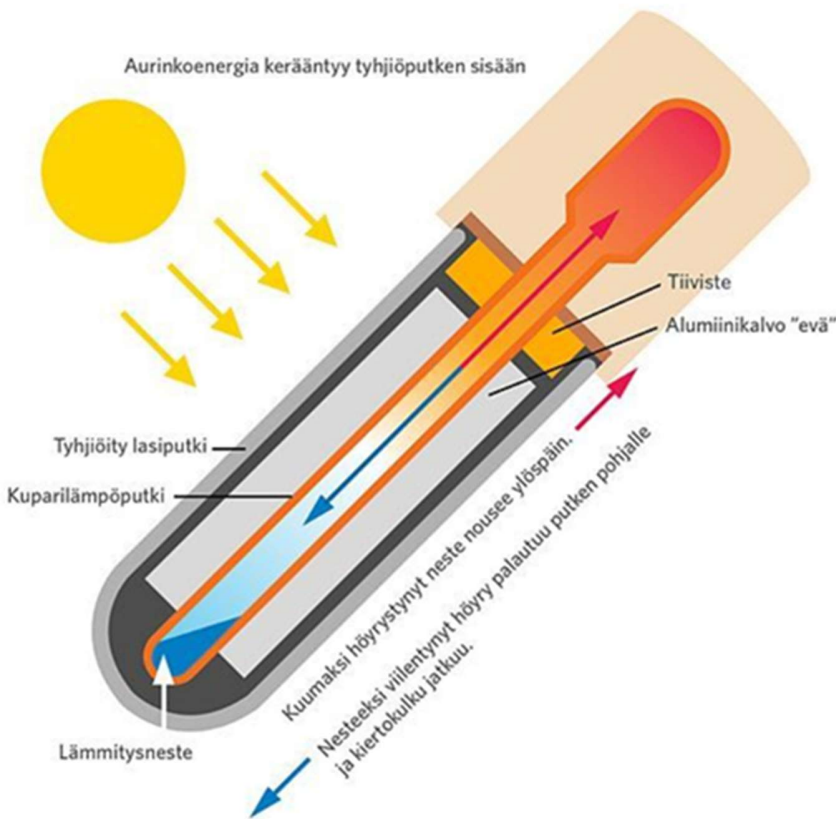
Kuva 17. Nestekiertoisen tasokeräimen rakenne. [Motiva]

Nestekiertoisten keräimien hyvät puolet:

- Nesteellä, varsinkin vedellä, on hyvä lämmönsiirto-ominaisuus eli korkea lämpökapasiteetti.
- Lämpöä voi nesteen avulla helposti siirtää lämpövaraajaan.
- Järjestelmä on hyvin säädettävissä.

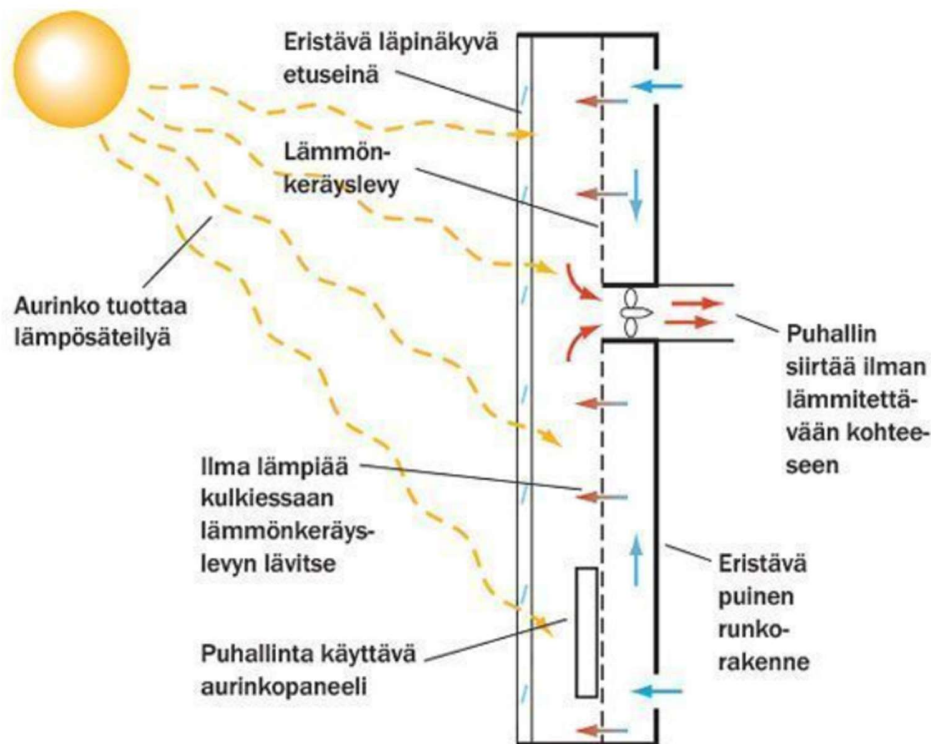
[Nestekiertoiset keräimet]

Tyhjiöputkikeräimestä (Kuva 18.) on ilma poistettu lähes kokonaan, jolloin johtumishäviöt vähenevät merkittävästi ja keräimen hyötysuhde säilyy tasokeräintä parempana korkeissa toimintalämpötiloissa. Lasiputken tyhjiö toimii tehokkaana lämmöneristeenä ja estää siten tehokkaasti absorboitua lämpöä karkaamasta takaisin ulkoilmaan, jolloin suurempi osa lämmöstä voidaan hyödyntää. Tämän takia lämmöntuotto tyhjiöputkissa voi varsinkin kylminä vuodenaikoina olla korkeampi kuin tasokeräimissä. Lämpiminä vuodenaikoina taso- ja tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotoissa ei ole kovin suuria eroja. [Tyhjiöputkikeräimet].



Kuva 18. Tyhjiöputkikeräimen rakenne. [Motiva].

Ilmakeräin (kuva 19.) käyttää lämmönsiirtoaineena ilmaa. Koska ilman lämmönvastaanotto- ja -siirtokyky ovat huomattavasti paremmat kuin nesteen, hyvin toimivia laitteita saadaan rakentamalla absorptioelementtejä, joissa on suuri lämmönsiirtopinta.



Kuva 19. Ilmakeräimen rakennekuva. [Motiva]

Ilman edut nesteeseen verrattuna:

- Ilma ei jäädy eikä aiheuta yllämpenemisongelmia.
- Ilma on täysin turvallista (vuodot eivät vahingoita muita rakennusosia).
- Ilma lämpenee nopeammin.
- Ilma ei aiheuta korroosio-ongelmia.
- Ilmakeräimet ovat helpompia rakentaa.
- Lämpövarastot (kivi, multa tai rakennuksen omat rakenteet, kuten välipohjat ja alapohjat) ovat edullisia.

Ilmakeräimen haitat nestekeräimeen verrattuna:

- Alhainen lämpökapasiteetti.
- Vaikeampi säädettävyys.
- Soveltuu huomattavasti paremmin lämpimän käyttöveden ja uima-altaiden lämmittämiseen.

Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen

Passiivisesti auringon lämpösäteilyä käytetään rakennuksen energiankulutuksen pienentämiseen ilman aurinkokeräimiä. Silloin rakennus toimii suoraan lämpövarastona. Aurinkoenergian passiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan sellaista hyödyntämistä, joka tapahtuu suoraan ilman erillisiä laitteita eli rakenteellisin ratkaisuin, rakennuksen sijoittelulla ja muilla vastaavilla tekijöillä. Passiivisessa hyödyntämisessä hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti auringon valoa sekä lämpöä. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- Valaistus
- Lämmitys
- Rakenteet
- Ikkunat
- Rakennusten sijainti

Valaistus

- Aurinkoa hyödynnetään päivävalona keinovalon sijaan
- Parantaa asumisviihtyvyyttä ja tuottavuutta
- Riittävä ikkunapinta-ala tilojen käyttötarkoituksen mukaan
 - Suurella ikkunapinta-alalla varustettu rakennus tarvitsee vähemmän sähkövalaistusta
 - Sähkövalaistuksella ei voida täysin korvata luonnonvaloa

[Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen].

Ikkunat

Ikkunoilla on keskeinen merkitys aurinkoenergian passiivisessa hyödyntämisessä. Etelään suuntaan oleva suuri ikkunapinta-ala on tehokas keino lämmitystarpeen pienentämisessä. Optimaalinen suunta on suoraan etelään, mutta myös kaakko-lounas väli on tuoton kannalta hyvä suuntaus. Pienet ikkunat pohjoisen suuntaan pienentää ikkunoista tapahtuvaa lämpöhäviötä.

Ikkunoiden tärkeitä ominaisuuksia ovat:

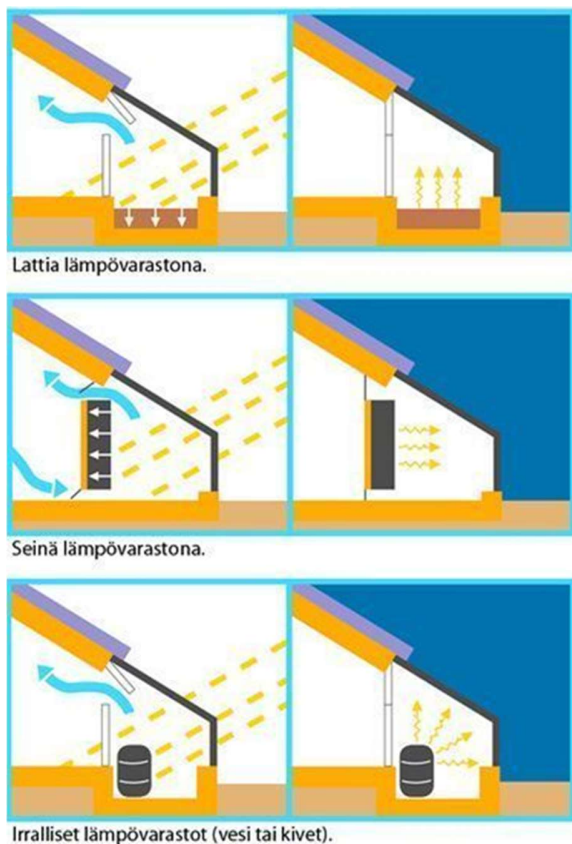
- Lämmöneristävyys (U-arvo), Pieni U-arvo tarkoittaa hyvää lämmön eristävyyttä.
- Kokonaisläpäisykerroin (G-arvo) Mitä korkeampi G-arvo on, sitä enemmän auringonsäteilystä tulee ikkunan läpi huonetilaa lämmittämään.

Erityisen hyvin passiivinen hyödyntäminen toteutuu pientaloissa, kun talvella aurinko paistaa matalalta niin säteet pääsevät ikkunoista sisälle tilaan ja lämmittävät sitä. Kesällä korkealta paistava auringon lämmitysvaikutus pyritään minimoimaan varjostavalla rakenteella tai jollain muulla auringonsuojauksella.

Lähtökohta on se, että ikkunat sijoitetaan, suunnataan ja mitoitetaan rakennusten energiatarpeiden mukaisesti. [Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen].

Lämmitys

- Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen tarkoittaa auringon lämpösäteilyn käyttämistä energiankulutuksen pienentämiseen ilman teknisiä järjestelmiä.
- Ikkunoista sisään tuleva suora auringonsäteily lämmittää rakenteita ja pienentää lämmitystarvetta.
- Lasiseinäisen puskurivyöhykkeen käyttö rakennuksen etelän puoleisella julkisivulla pienentää lämmitystarvetta.
- Suoran auringonsäteilyn hyödyntäminen ulkoilman esilämmitykseen ilmanvaihdossa esimerkiksi sijoittamalla tuloilman otto rakennuksen aurinkoiselle puolelle. [Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen].



Kuva 20 Aurinkoenergian hyödyntämistavat viherhuoneen avulla päivällä ja yöllä. [Motiva]

Rakenteet

Auringon valon ja lämmön hyödyntämistä voidaan tehostaa erilaisin rakenneratkaisuin. Rakenteiden passiivisessa hyödyntämisessä tarkoituksena on kerätä lämpöä, hyödyntää luonnonvaloa sekä vähentää lämpöhäviötä silloin kun lämmitystarvetta on. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- Rakennuksen sijoittaminen ja suuntaaminen tontilla
 - Suuntaus suoraan etelään siten, ettei varjostuksia tule puista tai muista rakennuksista. Maasto ja puusto voivat toimia hyvänä tuulensuojana.
- Talon muoto
 - Energiatehokkain talo on sellainen missä on selkeät muodot eikä ylimääräisiä kulmia yms.
- Rakennusmateriaalit

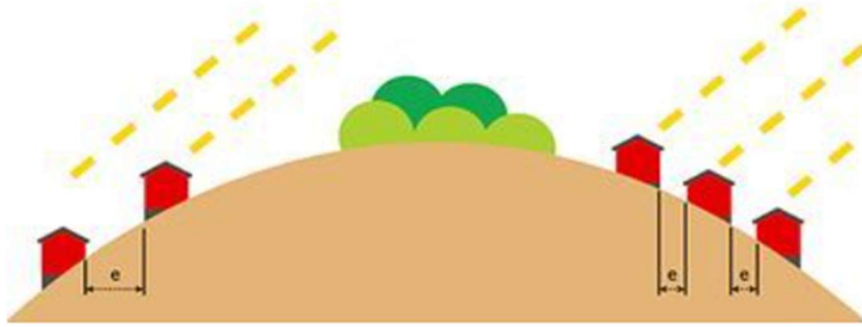
- Eristys, varmistaa että lämpöhäviöt pysyvät mahdollisimman pienenä rakennuksessa.
- Rakennuksen lämpöä varaavat materiaalit varastoivat auringon säteilyn tuottamaa lämpöä ja tätä hyödynnetään lämmityksessä. [Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen].



Kuva 21. Rakennuksen sijoitus. [Motiva]

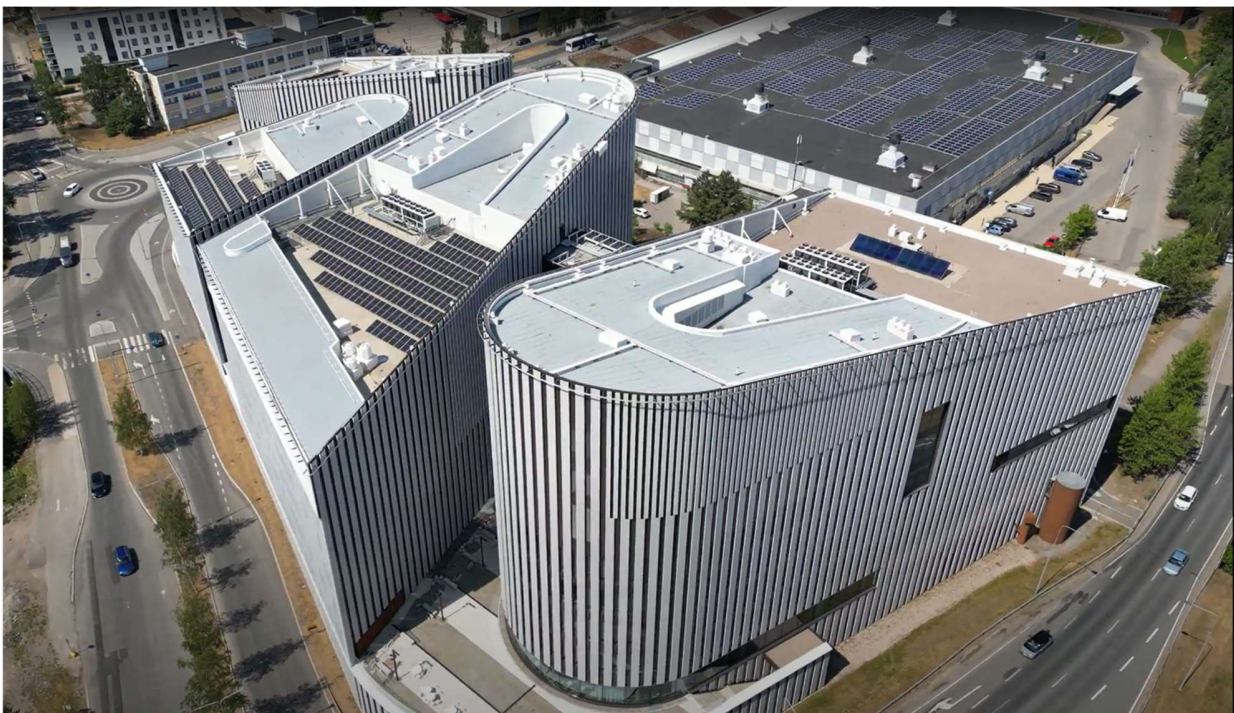
Rakennusten hyvä sijainti:

- Rakennus on tuulensuojassa, mutta pystyy hyödyntämään auringonsäteilyä.
- Maasto toimii tuulensuojana.
- Talo on maastossa korkealla, ei notkossa eikä mäen laella. Lämpötila nousee noin asteen 10 metrin korkeuserolla.
- Kasvillisuus suojaa rakennusta tuuilta. Lehtipuut ovat parhaita, havupuut varjostavat myös syksyllä ja keväällä.
- Rakennukset ovat tiiviissä rykelmässä etelärinteessä, lähekkäin mutta varjostamatta toisiaan. [Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen].



Kuva 22. Etelärinteessä rakennukset voivat olla tiiviimmin lähellä toisiaan varjostamatta toisiaan kuin pohjoisrinteessä. [Motiva]

Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen voi perustua myös lasitettuun tilaan rakennuksen etelän puoleisessa julkisivussa. Rakennuksen eteläjulkisivulle sijoitettu lämmittämätön viherhuone, lasikuisti tai lasitettu parveke voi muodostaa puskurivyöhykkeen, jossa lämpötila nousee lämmityskauden aikana ulkolämpötilaa korkeammaksi auringonsäteilyn vaikutuksesta. [Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen].



Kuva 20. Aurinkopaneeleita Metropolian kampuksen katolta Myllypurosta. [Arffman 2023].

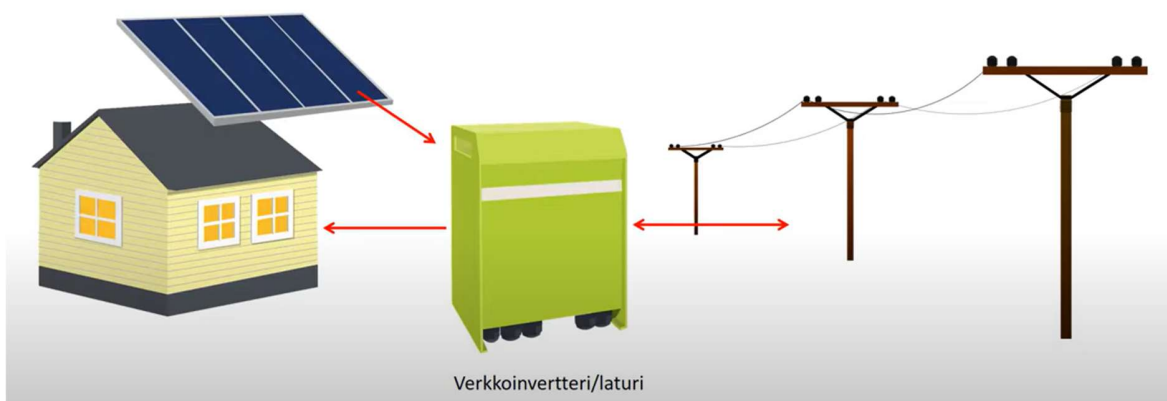
Järjestelmät, suuntaus ja varjostuksien vaikutus

On-Grid ja Off-Grid aurinkosähköjärjestelmät

Karkeana jaotteluna aurinkosähköjärjestelmille voidaan pitää verkkoon kytkettyjä On-Grid ja verkkoon kytkemättömiä Off-Grid järjestelmiä. Näille järjestelmille on olemassa myös välimuotoja, joita voidaan hyödyntää. On-Grid järjestelmässä on kytkeydytty valtakunnan sähköverkkoon ja se sähkönsä osuus mitä ei saada kohteessa kulutettua siirtyy valtakunnan verkkoon.

On-Grid järjestelmässä (Kuva 24.) paneelit on asennettu jonkun kiinteistön katolle tai läheisyyteen maa-asennuksena, ja ne ovat kytketty verkkoinvertertiin. Verkkoinverterti muuttaa sähkönsä käytettäväksi kiinteistössä sen laitteisiin ja näin voidaan hyödyntää mahdollisimman paljon ilmaista aurinkoenergiaa sähkölaitteilla. Silloin kun aurinkoenergia ei riitä kiinteistön sähköenergian tarpeeseen tai aurinkoenergiaa saadaan yli kulutustarpeen, niin ylimääräinen sähkö otetaan tai syötetään valtakunnan sähköverkkoon. Yleensä sähköverkkoon syötetystä sähköstä saadaan sähköyhtiöstä riippuen jonkinlainen korvaus. Saatava korvaus on monesti sen verran pieni (Spot-hinta), joten suurin hyöty saavutetaan mitoittamalla aurinkosähköjärjestelmä oman kohteen käyttökulutusta varten. Soveltuu hyvin alueille, joilla on vakaat sähköverkot. Yleensä kaupunkialueiden asennuksiin. Ei tarvetta varastoida sähköä (verkko toimii varastona). [Aurinkosähköjärjestelmät].

On-grid - järjestelmä



Kuva 21. On-grid järjestelmä. [Digma].

Off-Grid järjestelmä on itsenäinen verkosta irrallaan oleva järjestelmä, jonka tuottama sähköenergia käytetään paikallisesti tai varastoidaan myöhempää käyttöä varten akustoon. Yleisesti ottaen Off-Grid järjestelmiä käytetään kohteissa, jotka ovat liian kaukana yleisestä sähköverkosta. Yleisen sähköverkon ulkopuolella olevat kohteet:

- kesämökit
- veneet, matkailuautot
- majakat ja loistot
- Avaruussovellukset

Off-Grid järjestelmät ovat kokoluokaltaan paljon pienempiä kuin On-Grid järjestelmät. Off-Grid järjestelmien pienimmät latausjärjestelmät esimerkiksi veneissä ja matkailuautoissa saattavat olla muutamia kymmeniä tai satoja watteja. On-Grid järjestelmien koot alkavat kilowatista ylöspäin. Tästä syystä Off-Grid järjestelmät ovat edullisempia ja yleisempiä. [Aurinkosähköjärjestelmät].

Erot On-Grid ja Off-Grid järjestelmien välillä:

On-Grid:

- Edullisempi aloitus (akustoa ei tarvita)
- Kaksisuuntainen energiamittaus
- Vähemmän huoltoa ja ylläpitoa (paneelien puhdistus ja järjestelmän seuranta)
- Vähentää verkon kuormitusta tuottoisaan aikaan
- Joustava järjestelmä (sähkö voidaan ostaa verkosta tarvittaessa)

Off-Grid:

- Täydellinen vapaus
- Ekologinen, Täysin puhdas, täysin vihreä
- Ei kuormita sähköverkkoa
- Mahdollistaa sähkön saatavuuden verkon ulkopuolella
- Aurinkopaneelit tuottavat sähköä, joka varastoidaan akustoihin (akkujärjestelmä).

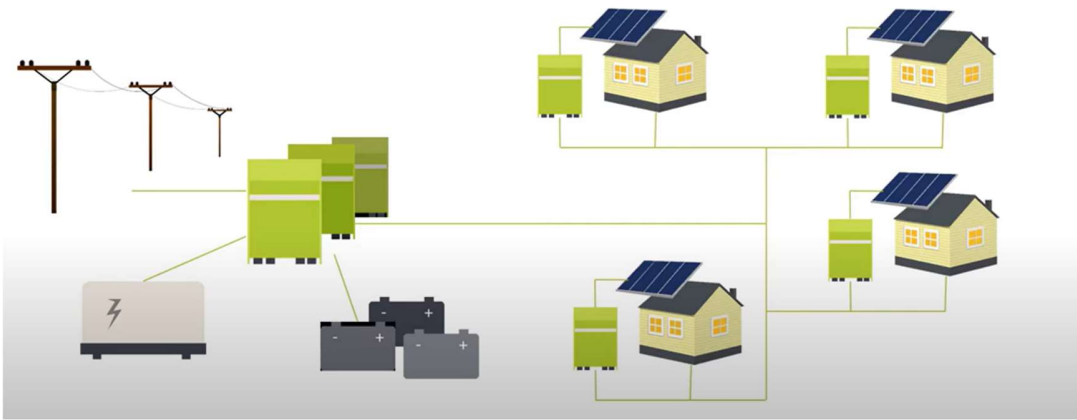
On-Grid ja Off-Grid järjestelmistä voidaan tehdä myös yhdistelmä, joka hyödyntää molempien järjestelmien hyviä puolia. Kuvassa 25. esimerkki hajautetusta järjestelmästä, jossa on yhdistetty On-Grid ja Off-Grid teknologiaa. Tässä järjestelmässä useiden rakennusten katoille on asennettu aurinkosähköjärjestelmiä, esimerkkinä siirtolapuutarhat, lomakylät, sairaalat. Osa tarvitusta sähköstä tuotetaan aurinkoenergialla. Sen lisäksi järjestelmään on liitetty akusto, jota voidaan käyttää näiden samojen kiinteistöjen tarpeisiin. Ja sen lisäksi järjestelmään on kytketty myös vara generaattori, joka tuottaa virtaa järjestelmään silloin kun valtakunnan verkko on pois käytöstä, vaikka sähkökatkon vuoksi ja aurinkoenergia ei riitä kaikkiin tarpeisiin. Näiden lisäksi järjestelmä on kytketty valtakunnan verkkoon ja sitä voidaan aina hyödyntää aina kun se on toiminnassa.

Tällaisella järjestelmällä saadaan maksimoitua kohteen energian saatavuus kaikissa olosuhteissa. [Aurinkosähköjärjestelmät].

On-Grid/Off-Grid - yhdistelmä:

- Off-Grid -järjestelmän riippumattomuus
- On-Grid -järjestelmän joustavuus
- Automatiikka ohjaa energian varastointia ja sähkön myymistä sekä ostamista

Hajautettu järjestelmä (On-grid/off-grid yhdistelmät)

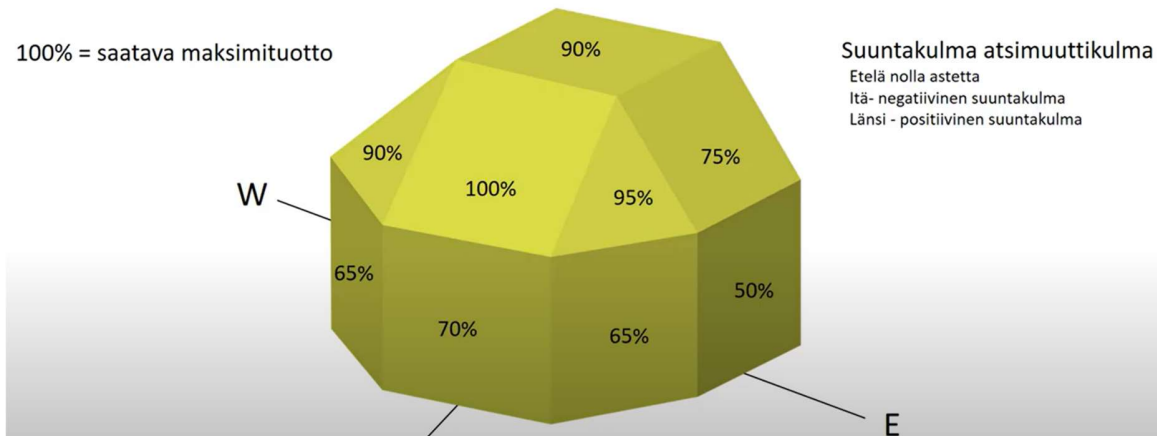


Kuva 22. Hajautettu järjestelmä (On-Grid/Off-Grid yhdistelmä). [Digma].

Suuntaus ja kallistuskulma

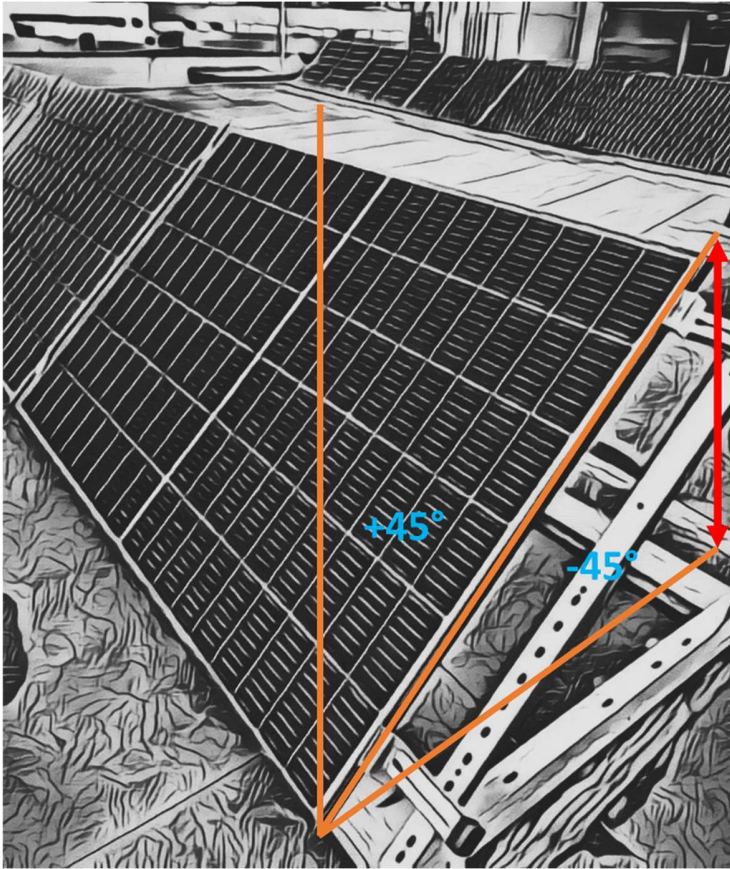
Aurinkopaneelien suuntaamisella ja kallistuskulmalla on iso merkitys järjestelmän tuotossa Kuva 26. havainnollistaa kuinka paljon suunta- sekä kallistuskulma vaikuttavat maksimituoton määrään. Suunnitellessa aurinkosähköjärjestelmää paneelien suuntaus ja kallistuskulma ovat yksi merkittävimmistä tekijästä. [Aurinkosähköjärjestelmät – Suuntaus ja varjot].

Paneelien suuntaus



Kuva 23. Kuvassa on esitetty eri kallistukset sekä suuntakulmat ja niiden vaikutus paneelin tuottoon [Digma].

Optimaalisin suunta on suoraan etelään, poiketessa itään tai länteen maksimituotto pienenee. Laskettaessa aurinkopaneelin suuntausta 0 asteen kulma on suoraan etelään. Kun mennään itään päin, puhutaan negatiivisesta suuntakulmasta ja lännen suunta on positiivinen suuntakulma. Aurinkopaneelin tuoton ajatellaan olevan 100 %, eli saatava maksimituotto silloin kun se on suunnattu suoraan etelään ja noin 40–45 asteen kulmassa. [Aurinkosähköjärjestelmät – Suuntaus ja varjot].



Kuva 24. Optimaalisin aurinkopaneelin olisi Suomessa suoraan etelään päin ja 45 asteen kallistuskulmassa. [Arffman 2023].

Paneelien kallistuskulmaa säätämällä voidaan vaikuttaa siihen, paljonko järjestelmä tuottaa eri vuodenaikoina. Jos kallistuskulma on yli 50 astetta, sähkön tuotto painottuu syys/kevät kaudelle ja alle 35 asteen kallistuskulma paneeli tuottaa enemmän kesäaikaan. Kuvassa 28. näkyy kuinka korkealta aurinko paistaa eri vuodenaikoina. [Aurinkosähköjärjestelmät – Suuntaus ja varjot].



Kuva 25. Auringonsäteilyn kulma eri vuodenaikoina. [Motiva].

Sama kallistuskulmateoria pätee myös aurinkolämpöjärjestelmien, eli keräinten asemointiin. Aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluohjelmiin tarvitaan suuntaus ja kallistuskulma tiedot, jotta saadaan järjestelmän tuottoarvio laskettua mahdollisimman tarkasti. Kulmien arvoja voidaan tarkistaa miten se vaikuttaa kokonaistuotantoon minkäkin kuukauden aikana. Kuvassa 29. voi nähdä, että maaliskuu-kesäkuu ajanjakso on kaikista tuottoisin aika vuodesta sähköntuotantoon Suomessa. [Aurinkosähköjärjestelmät – Suuntaus ja varjot].

Tuotannon jakautuminen kuukausille

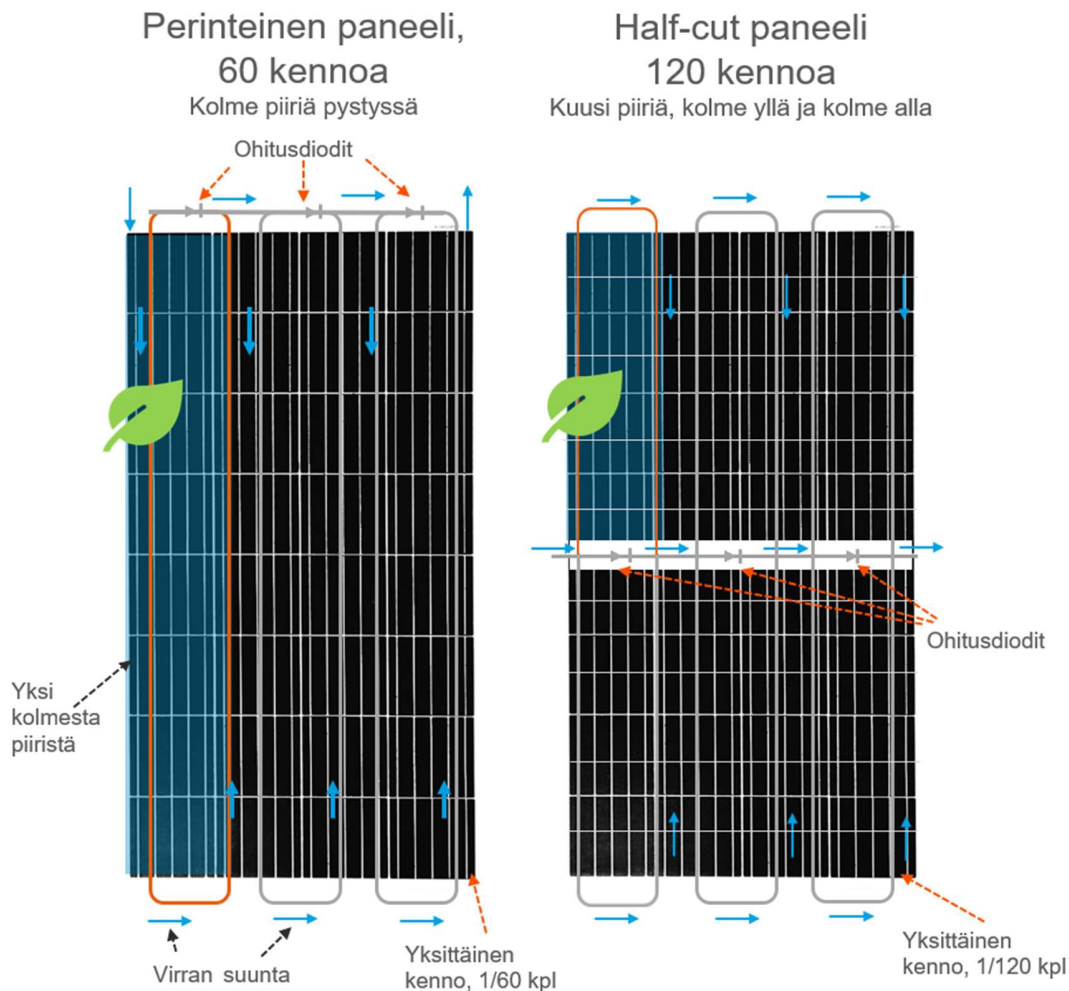


Kuva 26. SAMKin aurinkopaneelijärjestelmän tuotto vuosien 2011–2014 keskiarvo. [Digma].

Varjostusten vaikutus tuotantoon

Aurinkosähköjärjestelmissä tulisi välttää varjostuksia ja varjostusten vaikutuksia. Jo pienetkin varjostukset vaikuttavat merkittävästi järjestelmän tuottoon. Etenkin vanhemmissa tai halvoissa aurinkopaneeleissa on usein vain yksi sähköpiiri, johon kaikki paneelin kennot on kytketty sarjaan. Tämä aiheuttaa sen ongelman, että sarjaankytketyissä virtalähteissä järjestelmä toimii aina heikoimman osan mukaisesti. Aurinkopaneeleissa se tarkoittaa sitä, että jos yksi kenno on esimerkiksi peittynyt lumella, lehdellä tai roskalla putoaa koko paneelin tuotanto nolnaan. Lisäksi jos kyseessä on usean aurinkopaneelin järjestelmä ja paneelit ovat sarjaankytkettyinä vaikuttaa tämä myös muidenkin paneelien tehontuotantoon, vaikka ne eivät olisivatkaan varjostuneita.

Nykyisin aurinkopaneeleihin on usein asennettuna ohitusdiodeja, joiden ansiosta paneeli ei ole niin altis varjostuksille, sillä diodi mahdollistaa varjostuneen osan ohittamisen, jolloin se ei enää vaikuta koko paneelin tuotantoon. Perinteisissä isomman kokoluokan (n. 300 W) aurinkopaneeleissa on kolme kappaletta ohitusdiodeja alla olevan kuvan 30. mukaisesti. Eli jos puunlehti putoaa paneelin vasempaan reunaan ja peittää kennoja, mutta muut osat paneelista ovat auringonpaisteessa, putoaa paneelin tuotanto vain kolmanneksen, eli 33 %. Paneeli on siis suojattu yksittäisiä pystysuuntaisia varjostumisia tai likaantumisia vastaan, mutta jos esimerkiksi aurinkopaneeli on asennettu pihalla maatelineeseen ja paneelin alaosa peittyy lumella, putoaa paneelin tuotanto tällöin nolnaan. [Aurinkopaneelit].



Kuva 27. Perinteinen paneeli sekä half-cut paneeli [Arffman 2023].

Aurinkopaneelit tulee mahdollisuuksien mukaan asentaa aina paikkaan, jossa ne eivät pääse varjostumaan edes osittain. Esimerkiksi kesämökeillä tämä voi tuottaa päänvaivaa ja usein herää ajatus, että kyllähän se aurinko paistaa myös latvusten läpi riittävän hyvin. Käytännössä tällaisen hajasäteilyn hyödyntäminen sähköntuotannossa on erittäin vaikeaa ja hyvin suuri osa valosta myös jää saapumatta aurinkokennojen pinnalle. [Aurinkopaneelit].

Aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys

Aurinkosähköjärjestelmien hinta alentui 2010-luvulla ja etenkin sen alkupuolella voimakkaasti. Eniten hinnan laskuun on vaikuttanut aurinkopaneelien halpeneminen. Aurinkosähköjärjestelmien

hintaan kuuluu paljon muutakin kuin itse aurinkopaneelit – invertteri, säätölaitteet, tarvikkeet, sekä suunnittelu ja asennustyö, joten kokonaisen aurinkosähköjärjestelmän hinta ei ole laskenut yhtä jyrkästi. Viime vuosina hintojen lasku on tasaantunut ja vuonna 2022 järjestelmien hinnat ovat jopa hieman nousseet edeltäneen vuoden tasosta.

Suurin osa markkinoilla myytävistä aurinkopaneeleista valmistetaan Kiinassa, mutta myös Euroopassa on aurinkopaneelien tuotantoa. Aurinkopaneelien hyötysuhde tulee kasvamaan nopeammin raaka-aineen saatavuuden hankaloituessa. Tälläkin hetkellä markkinoilla on hyötysuhteeltaan eri tasoisia aurinkopaneeleita, tämä näkyy myös aurinkopaneelin hinnoissa.

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat suhteutetaan tavallisesti järjestelmän nimellistehoon. Pientalokokoluokan aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen-toimituksen arvonlisäverollinen hinta vaihtelee voimakkaasti ja oli keväällä 2021 noin 1–2 €/Wp. Hintaan vaikuttavat mm. järjestelmän koko, laitteisto, asennuskohde ja sen sijainti sekä sen toimittaja.

Tyypillisen pientalokokoluokkaan tarjottavan 5 kWp:n järjestelmän hinta olemassa olevaan rakennukseen asennettuna oli keväällä 2021 kuluttajalle arviolta 5 000–7 000 euroa (sis. alv. 24 %). Tällainen järjestelmä tuottaa vuodessa noin 4 000–4 500 kWh sähköä varjottomassa sijainnissa. Saatavan sähkön määrä riippuu muun muassa paneelien suuntauksesta, kallistuksesta, varjostuksista, maantieteellisestä sijainnista ja tarkasteluvuoden sääolosuhteista.

Aurinkosähköjärjestelmän hinta koostuu asennuksesta, suunnittelutyöstä ja järjestelmän laitteista (aurinkopaneelit ja niiden kiinnitysjärjestelmä, invertteri ja muut sähkölaitteet). Asennustyö sisältää kiinteitä kustannuksia, joten pienemmissä järjestelmissä asennuksen suhteellinen osuus hinnasta on korkeampi.

Uudisrakennuksissa on mahdollista säästää asennuskuluissa, jos järjestelmä voidaan asentaa muun rakentamisen yhteydessä.

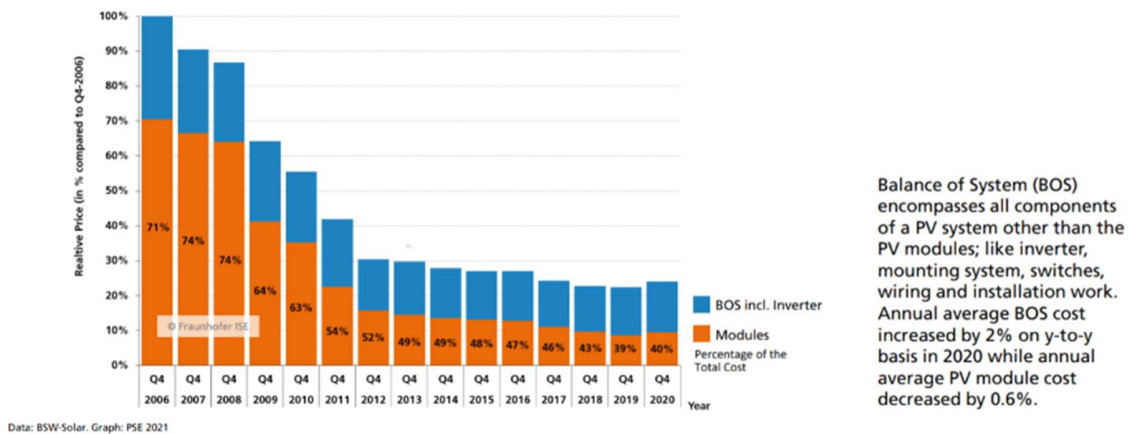
Aurinkosähköjärjestelmät tilataan tyypillisesti avaimet käteen periaatteella. Tällöin toimittaja vastaa laitteistojen hankinnasta, asennuksesta, mahdollisesta verkkoon kytkennästä ja usein myös tarvittavien lupien hankkimisesta. Mikäli järjestelmän osat hankitaan esimerkiksi itse ulkomailta ja asennus tehdään sallituilta osin omatoimisesti, on otettava huomioon lisäkustannukset, joita syntyy muun muassa kuljetuksista ja asennuksen luvanvaraisesta osuudesta.

Suomessa asennettujen aurinkosähköjärjestelmien hintakehityksestä ei ole kattavaa tilastoa. Hintakehitys seuraa kuitenkin muita Euroopan maita, joista kattavimmin tietoa on saatavilla Saksan markkinoista. Kuvassa 28 on esitetty rakennusten katoille sijoitettujen 10–100 kWp:n järjestelmien (sis. laitteisto ja asennus) hintakehitys Saksassa 2006–2020.

Loppuvuodesta 2020 katolle asennettujen 10–100 kWp järjestelmien kokonaishinta oli Saksassa Fraunhofer instituutin Photovoltaics Report -selvityksen mukaan keskimäärin 1040 eur/kWp

tasolla. Pienten, alle 10 kWp:n, järjestelmien hinnat ovat tyypillisesti korkeammat, mutta kustannusten kehitys on ollut samankaltainen. [Aurinkosähkölaitteiden hinta].

Price Development for PV Rooftop Systems in Germany (10kWp - 100kWp)



Kuva 28. Rakennusten katoille asennettavien 10–100 kWp aurinkosähkölaitteiden hintakehitys Saksassa. [Photovoltaics Report – Fraunhofer Institute].

Aurinkovoiman tulevaisuus

Aurinkosähkön osuus maailman sähköntuotannosta kasvaa joka vuosi merkittävästi. Arvioiden mukaan maailman aurinkoenergiakapasiteetti voisi olla jopa yli 5 terawattia vuonna 2030. Fingridin ennusteen mukaan aurinkosähkön tuotantokapasiteetti vuonna 2030 Suomessa on 7000 megawattia. Sähkönä se vastaisi noin kuutta prosenttia Suomen sähköntuotannosta. Aurinkosähkön tulevaisuudennäkymä maailmassa on aurinkoinen. Yhdysvallat, Eurooppa sekä Kiina sijoittavat isolla kädellä uusiutuvaan energiaan. Ennusteiden mukaan vuonna 2050 maailman sähköntuotannosta jopa 25–30 prosenttia on aurinkosähköä ja käyrä näyttää edelleen siitäkin ylöspäin. [Auringon nousu].

Aurinkopaneelien teknologia ja suorituskyky ovat kehittyneet merkittävästi viime vuosikymmenten aikana. Tämä kehitys on johtanut parempaan hyötysuhteeseen, kustannustehokkuuteen ja monipuolisempaan käyttöön aurinkoenergiassa. Tässä on joitakin keskeisiä kehityspolkuja aurinkopaneelien alalla:

Hyötysuhteen paraneminen: Aurinkopaneelien alkuperäinen kehitys koostui pääasiassa monikiteisistä piipohjaisista kennoista. Näiden perinteisten aurinkokennojen hyötysuhde on parantunut vuosien varrella, ja uudet tekniikat, kuten monijaksoiset kennot ja paremmat pintakäsittelymenetelmät, ovat nostaneet aurinkokennojen hyötysuhdetta. [Aurinkokennoissa nopeaa kehitystä].

Ohutkalvoteknologian kehitys: Ohutkalvoteknologiat, kuten amorfiset piipohjaiset kennot (a-Si), kupari-indium-gallium-selenidi (CIGS) ja kehittyneet orgaaniset materiaalit, ovat kehittyneet. Nämä tekniikat mahdollistavat joustavammat, kevyemmät ja integroitavat aurinkopaneelit. [Solar Panels].

Kustannustehokkuus: Aurinkopaneelien valmistuskustannukset ovat laskeneet merkittävästi, mikä on tehnyt aurinkoenergiasta taloudellisesti houkuttelevamman vaihtoehdon. Massatuotannon ja tehokkaampien tuotantomenetelmien ansiosta aurinkopaneelit ovat nyt huomattavasti edullisempia kuin muutama vuosikymmen sitten. [Aurinkosähköjärjestelmien hinta].

Innovaatiot materiaaleissa: Uusien materiaalien käyttö aurinkokennoissa on ollut keskeinen tekijä. Esimerkiksi perovskiitti-materiaalit ovat nousseet esiin potentiaalisina aurinkokennojen materiaaleina, ja niiden tutkimus ja kehitys jatkuvat. [Aurinkokennojen uusi aika].

Integrointi rakennuksiin ja laitteisiin: Aurinkopaneelien integrointi rakennuksiin, kuten aurinkokennojen integroiminen ikkunoihin ja rakennusmateriaaleihin, on noussut esiin. Tämä mahdollistaa aurinkoenergian tuottamisen ilman perinteisten aurinkopaneelien näkyvyyttä. [Rakenteisiin integroidut aurinkosähköjärjestelmät].

Varastointiteknologian kehitys: Aurinkoenergian varastointiratkaisut, kuten akkuteknologiat, ovat myös kehittyneet, mikä parantaa aurinkoenergian saatavuutta myös auringottomina aikoina.

On odotettavissa, että aurinkopaneelien teknologinen kehitys jatkuu, ja uudet innovaatiot tulevat edelleen parantamaan niiden suorituskykyä, tehokkuutta ja monipuolisuutta. Lisäksi, kun aurinkoenergian käyttö lisääntyy, standardien asettaminen ja kansainvälinen yhteistyö voivat edistää teknologian nopeampaa leviämistä ja kehitystä.



Kuva 29. Kuvituskuvaaurinkopaneelit [Arffman 2023]

Lähteet

Auringon nousu. Helen-lehti 1/2023. Verkkoaineisto. <<https://www.helen.fi/ajankohtaista/pinnalla-nyt/helen-lehti>>. Luettu 30.9.2023.

Auringon säteily ja aurinkoenergian historia. Verkkoaineisto. DIGMA Avoin oppiympäristö. <<https://www.youtube.com/watch?v=xrg-g6V1uO0&t=5s>>. Luettu 3.8.2023

Aurinkokennoissa nopeaa kehitystä. Verkkoaineisto. Tekniikan maailma. <<https://tekniikanmaailma.fi/lehti/11a-2021/aurinkokennoissa-nopeaa-kehitysta/>>. Luettu 2.10.2023

Aurinkokennojen uusi aika. Verkkoaineisto. Tekniikanmaailma. <<https://tekniikanmaailma.fi/lehti/16b-2022/monet-uskovat-etta-perovskiitti-on-graalin-malja-joka-tuo-halvan-sahkon/>>. Luettu 2.10.2023

Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen. Verkkoaineisto. Motiva.fi
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen>. Luettu 4.10.2023

Aurinkolämpöjärjestelmät. Verkkoaineisto. Motiva.fi
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat>. Luettu 5.10.2023

Aurinkopaneelit. Verkkoaineisto. Eroverkosta.com <<https://eroverkosta.com/page/13/aurinkopaneelit>>. Luettu 3.10.2023

Aurinkosähkön kapasiteetti kasvoi Suomessa yli 100 megawattia vuonna 2021. Verkkoaineisto. Energiavirasto.fi
<<https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-kapasiteetti-kasvoi-suomessa-yli-100-megawattia-vuonna-2021>>. Luettu 4.10.2023

Aurinkosähkön perusteet. Verkkoaineisto. Motiva.fi
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringsateilyn_maara_suomessa>. Luettu 4.10.2023

Aurinkosähköjärjestelmien hinta. Verkkosivu. Motiva.fi
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta>. Luettu 2.10.2023

Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (osa1) Verkkoaineisto. DIGMA Avoin oppiympäristö.
<<https://www.youtube.com/watch?v=zy9V4UTAGuc>>. Luettu 2.10.2023

Aurinkosähköjärjestelmän teho. Verkkoaineisto. Motiva.fi
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho>. Luettu 4.10.2023

Aurinkosähköjärjestelmät – On-Grid- ja Off-Grid-järjestelmät. Verkkoaineisto. DIGMA Avoin oppiympäristö.
<<https://www.youtube.com/watch?v=cp1sHZ0FXwU>> Luettu 3.8.2023

Aurinkosähköjärjestelmät – Suuntaus ja varjot. Verkkoaineisto. DIGMA Avoin oppiympäristö.
<<https://www.youtube.com/watch?v=uSjvsJfKLh0>>. Luettu 4.8.2023

Ilmakeräimet. Verkkoaineisto. Motiva.fi
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet>. Luettu 11.10.2023

Rakenteisiin integroidut aurinkosähköjärjestelmät. Verkkosivu. Energio.fi <<https://energio.fi/pages/rakenteisiin-integroidut-aurinkosahkojarjestelmat>> Luettu 2.10.2023

Nestekiertoiset keräimet. Verkkoaineisto. Motiva.fi
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet>. Luettu 11.10.2023

Solar Panels. Verkkosivu. Offgridstores.com <<https://offgridstores.com/collections/solar-panels>> Luettu 2.10.2023

Solar charge controllers BlueSolar PWM -lataussäädin. Verkkoaineisto. Victronenergy.com <<https://www.victronenergy.fi/solar-charge-controllers/bluesolar-pwm-charge-controller-lcd-usb>>. Luettu 9.10.2023

SmartSolar MPPT 100/30 & 100/50. Verkkoaineisto. Victronenergy.com <<https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers/smartsolar-100-30-100-50>>. Luettu 9.10.2023

Tyhjiöputkikeräimet. Verkkoaineisto. Motiva.fi <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet>. Luettu 11.10.2023

