



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

AURINKOSÄHKÖTEKNIIKAN TILANNEKATSAUS **Survey of the Current State of Solar Electricity** **Technology**

Juho Montonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Juho Montonen
Aurinkosähkötekniikan tilannekatsaus

2011

Kandidaatintyö.
39 sivua, 17 kuvaa, 3 taulukkoa

Tarkastaja: professori Juha Pyrhönen

Työssä tutkitaan aurinkoenergian tämän hetkistä tilannetta maailman energian tuotannossa. Tarkastelu aloitetaan aurinkokennon toimintaperiaatteen esittelyllä sekä eri kennotyyppien vertailulla. Pohditaan kennojen tulevaisuuden näkymiä. Työssä esitellään aktiivinen ja passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen sekä tarkastellaan aurinkosähköön liittyviä tulevaisuuden tavoitteita ja ongelmia. Pääpaino työssä on asetettu aurinkosähkön tutkimiseen. Työssä esitellään lyhyesti aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat komponentit ja pohditaan, millä eri tavoilla Suomessa voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa energiantuotannossa. Tarkastellaan aurinkosähkön verkkoon liitettyjä sekä verkkoon liittämättömiä järjestelmiä ja keskittäviä järjestelmiä aurinkoenergiantuotannossa.

Työn loppupäätelmänä on, että auringosta voidaan hyötyä monella tapaa, ja että aurinkosähköllä on otolliset mahdollisuudet menestyä myös Suomessa energian tuotannossa. Pitkät ja pimeät talvet muodostavat kuitenkin ongelman, koska akkutekniikat eivät vielä ole riittävän kehittyneitä ympärivuotiseen sähköntuotantoon aurinkosähkön alueella. Aurinkokennojen hyötysuhteet nousevat tulevaisuudessa merkittävästi ja aurinkoenergian hyödyntäminen yleistyy kaikkialla seuraavien vuosikymmenten aikana.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme in Electrical Engineering

Juho Montonen
Survey of the Current State of Solar Electric Technology

2011

Bachelor's Thesis.
39 pages, 17 pictures, 3 tables

Examiner: Professor Juha Pyrhönen

The focus of this bachelor's thesis is on the global status of solar energy production. The research begins by explaining the principle of a solar cell and by comparing different cell types. In addition, future scenes are considered. Furthermore, the active and passive utilisation of solar energy is introduced and future goals and problems of photo voltaic are examined.

The main focus is set on research of photo voltaic systems. The components involved in the photo voltaic system are briefly introduced as well as the utilisation of different ways on how to exploit solar energy in energy production in Finland. Both network-connected and non-connected systems and concentrated systems of photo voltaic grid are observed in solar energy production.

The conclusion of this thesis is that the sun can be exploited in many ways and that solar energy has a favourable potentiality of succeeding in Finland's energy production. However, long and dark winters form a problem, because the battery techniques are not yet sufficiently developed for year round electricity production in the photo voltaic field. The efficiencies of the solar cells are growing significantly in the future. The utilisation of solar electricity will significantly increase during following decades all through the world.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet	1
1. Johdanto	2
2. Aurinkoenergia	2
2.1 Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen	4
3. Aurinkokennot	5
3.1 Aurinkokennojen sukupolvet	7
3.1.1 Kiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot	7
3.1.2 Ohutkalvotekniikka	9
3.1.3 Kolmannen sukupolven aurinkokennot	11
3.1.4 Keskittävät aurinkokennojärjestelmät	12
3.2 Aurinkokennon <i>IU</i> -käyrä	12
3.3 Aurinkokennojen tulevaisuus	13
4. Aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmät	15
4.1 Aurinkopaneelit	15
4.1.1 Akut energiavarastoina	17
4.1.2 Mppt-säätö	19
4.2 Keskittävät järjestelmät	20
4.3 Aurinkokeräimet	23
4.3.1 Aurinkokeräintyyppit	25
5. Aurinkoenergian käyttömahdollisuudet ja sovellukset	25
5.1 Aurinkoenergia Suomessa	28
5.2 Aurinkopaneelin hankinta ja asennus	31
5.3 Aurinkosähkötekniikan sovelluksia	32
5.3.1 Sisätilojen sovelluksia	32
5.3.2 Ulkona käytettävät sovellukset	33
5.3.3 Muut sovellukset	34
5.4 Aurinkopaneelin hinnat ja markkinat	34
5.5 Aurinkosähkön tulevaisuus	35
6. Yhteenveto	37
Lähteet	38

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AGM	lasikuituakku
CdSe	Kadmiumselenidi
CdTe	Kadmiumtelluridi
CiSe	kupari-indiumdiselenidi
CIGS	kupari-indiumgalliumdiselenidi
CPV	keskittävä aurinkokenno (Concentrating Photo Voltaic)
CS	kupariselenidi
CSP	keskittävä järjestelmä (Concentrating Solar Power)
GaAs	galliumarsenidi
MPPT	lataussäädin (maximum power point tracking)
η	kennon hyötysuhde
I	virta
I	diodin virta
J	virtalähde
P	teho
t	aika
U	jännite
W	energia

Alaindeksit

a	vuosi
aur	aurinko
d	diodi
e	sähkö
h	huipunkäyttö
k	huippupaiste
ken	kenno
n	nimellinen, nimellis

1. JOHDANTO

Uusiutuvien energianlähteiden käytöstä on tullut asia, joka näkyy ja kuuluu mediassa. Hiilidioksidipäästöjä tulee vähentää, ja fossiilisten polttoaineiden varannot hupenevat. Nämä asiat muodostavat haasteen tulevaisuuden insinööreille kehittää korvaavia ja parempia energiamuotoja täysin uusiutuvista energialähteistä. EU on asettanut jäsenmailleen energiatavoitteita vuodelle 2020: 20 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä, 20 % uusiutuvan energian osuudeksi energian kulutuksesta ja 20 % parantunut energiatehokkuus.

Tämä työ rajoittuu tarkastelemaan aurinkoenergian kehitysnäkymiä pääasiassa aurinkosähkötekniikan kannalta. Työssä havainnollistetaan aurinkosähkön sovellus- ja käyttökohteita sekä arvioidaan aurinkosähkön käyttöä Suomessa. Työssä esitellään lyhyesti myös auringon käyttöä lämpöenergianlähteenä. Aiheen tutkiminen on tarpeellista, jotta tiedettäisiin Suomessa yleistyvän energian tuotantomuodosta ja hankittavista laitteista sekä laitevaihtoehdoista enemmän. Aloitetaan tutkimus tarkastelemalla ensin aurinkoa.

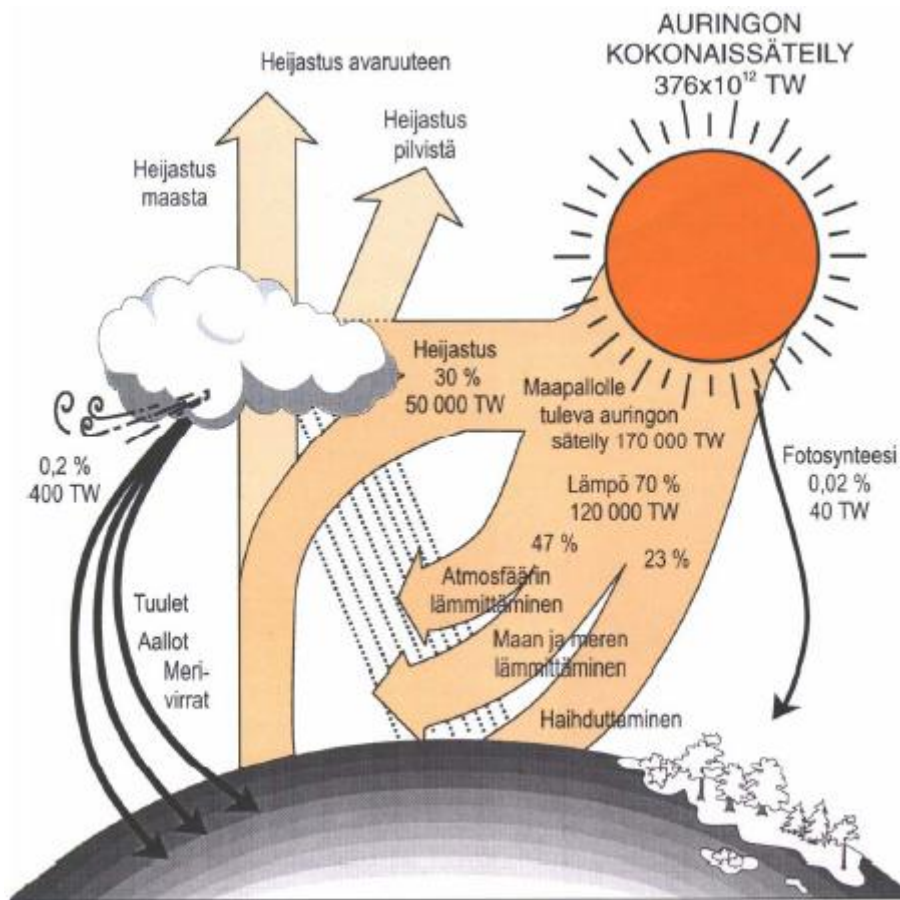
2. AURINKOENERGIA

Aurinkoenergia on tärkein uusiutuvan energian muoto, jota on maailmassa saatavilla eniten, ja joka ei lopu useaan miljardiin vuoteen. Aurinko on merkittävä energian lähteenä, sillä lähes kaikki uusiutuvan energian muodot pohjautuvat aurinkoon. Esimerkiksi vesivoima pohjautuu aurinkoenergiaan siten, että aurinko höyrystää vettä meristä ja järvistä, joka sitten sataa takaisin maalle muodostaen vesiputouksia. Tuulivoima pohjautuu myös aurinkoenergiaan, koska aurinko synnyttää lämpötilaeroja ja sitä kautta syntyy korkea- ja matalapaineita, joista tuuli aiheutuu. Aurinko on siis varsin merkittävä ja tärkeä energian lähde. Käytännössä aurinko vaikuttaa epäsuorasti tai suorasti kaikkiin muihin energiamuotoihin paitsi ydinvoimaan. (Larjola et al. 2009)

Auringosta maahan tulevan säteily määrän teho on noin 170000 TW, joka on todella suuri verrattuna sähköntuotannon asennettuun tehoon. Teho pinta-alaa kohti on kuitenkin pieni, sillä yhteen neliömetriin osuu kirkkaalla päivällä enintään noin 1 kW. (Energia Suomessa 1999, 239–241)

Ilmakehän ulkopuolella säteilyteho on tietenkin suurempi, 1,35–1,39 kW/m², joten ilmakehä absorboi merkittävän osan saatavasta säteilytehosta itseensä tai heijastaa pois. Kun myös konversiohyötysuhteet ovat matalia, aurinkoenergian hyödyntämiseen tarvitaan laajamittaisissa sovelluksissa myös todella laajat pinta-alat. Tämän takia aurinkopaneelit

ovatkin usein varsin isoja. Auringon kokonaissäteilyn malli on esitetty kuvassa 1. (Larjola et al. 2009)



Kuva 1. Auringon kokonaissäteilyn ja sen jakautumisen periaatekuva. (Aurinkoteknillinen yhdistys)

Kuvasta 1 huomataan, että maanpinnalle saapuva auringon säteily on jaettavissa kolmeen eri säteilyn osa-alueeseen: suoraan säteilyyn, heijastuneeseen säteilyyn sekä hajasäteilyyn. Pilvisellä säällä esiintyy vain hajasäteilyä, kun taas suoraa säteilyä on silloin, kun aurinko paistaa pilvettömältä taivaalta ilman mitään esteitä. Heijastunutta säteilyä esiintyy esimerkiksi talvisin erittäin voimakkaasti, sillä talvella lumihanki heijastaa auringon säteilyä. Eniten sähköä näistä kolmesta säteilyn osa-alueesta saadaan tietenkin suorasta säteilystä.

Aurinkoenergian käyttösovellutukset jaetaan kahteen osa-alueeseen – lämpöä ja sähköä tuottaviin. Auringon säteilyn muunto suoraan sähköksi perustuu valosähköisen ilmiön avulla toimiviin aurinkokennoihin. Aurinkosähköä tuotetaan myös termisissä aurinkovoimaloissa, joissa hyödynnetään auringon säteilyä voimakkaasti keskittäviä peilejä. Suuntaamalla peilien avulla säteily yhteiseen polttopisteeseen saadaan riittävästi lämpöä höyryvoimaproessiin. (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)

Aurinkoenergiaa voidaan siis hyödyntää myös lämmöntuotannossa. Lämpöä voidaan hyödyntää joko aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivisella aurinkolämmön hyödyntämisellä tarkoitetaan lämmön sitomista suoraan rakennuksien seinämiin ja erilaisiin rakenteisiin. Tällä tavalla auringon lämpöä on hyödynnetty jo useiden tuhansien vuosien ajan, jolloin ulkopuolisten lämmönlähteiden käyttö on voitu minimoida. Aktiivisesti aurinkolämpöä hyödynnetään erilaisten keräimien avulla. Lämpö kerätään niihin joko nesteeseen tai ilmaan ja siirretään putkia pitkin varaajaan. (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)

Aurinkoenergiaa ei vielä käytetä kuitenkaan laajemmalti sen suurten tuotantokustannusten ja pienen hyötysuhteen takia. Tällä hetkellä aurinkosähköllä tuotetaan maailman sähköstä noin 0,1 %:a. Ennustetaan kuitenkin, että vuoteen 2050 mennessä aurinkoenergiasta tulee merkittävä energiamuoto, aurinkosähköllä katetaan tällöin 11 %:a maailman sähkön tuotannosta. Tämä tarkoittaa 4500 TWh energian tuotantoa. Asennettua kapasiteettia tulisi olla 3000 GW edestä. Jos tähän suunnitelmaan päästään, tulee CO₂- päästöjä 2,3 Gt vähemmän. Aurinkoenergiaa on pakko siirtyä käyttämään laajemmin, sillä fossiilisten polttoaineiden saatavuus käy yhä niukemmaksi, ja muutenkin halutaan siirtyä energiatehokkuuden parantamiseksi uusiutuviin ja entistä vähäpäästöisempiin energianlähteisiin. Näin ollen aurinkosähköllä on hyvät edellytykset tulevaisuudessa. Aurinkosähkön laajentunut käyttö näkyy siinä, että vuodesta 2000 alkaen aurinkosähkön kysyntä on kasvanut noin 40 % vuodessa. (IEA 2010, 1–5)

2.1 Aurinkoenergian passiivinen hyödyntäminen

Tämän työn pääpaino on aurinkosähkössä ja aurinkolämmön hyödyntämisessä aktiivisella tavalla. Tarkastellaan kuitenkin hieman myös aurinkosähkön hyödyntämistä passiivisella tavalla.

Passiivinen aurinkoenergia tulee aina ottaa huomioon silloin, kun arkkitehti suunnittelee taloa, sillä passiivinen aurinkoenergia alentaa lämmityskustannuksia tuntuvasti. Passiivisessa aurinkolämmityksessä auringon lämpö varastoituu rakennusmateriaaleihin auringon paistaessa, ja vapautuu hiljalleen silloin, kun aurinko ei paista. Jokainen rakennus varastoi auringon lämpöä jollain tasolla, mutta tason suuruus riippuu monesta asiasta. Näitä lämmön varastointiin vaikuttavia seikkoja ovat muun muassa rakennuksen sijoittaminen, rakennuksen suuntaus, rakennuksen muoto, ikkunoiden koko ja lukumäärä sekä tietenkin rakennusmateriaali ja sen väri. Monilla rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan edistää lämmön saantia ja pienentää samalla lämpöhäviöitä. (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)

Rakennuksen sijoittamiselle otollisin paikka on etelän puoleinen rinne. Paikan tulisi olla tuulensuojassa, mutta kuitenkin niin, että auringon säteilyn hyödyntäminen on mahdollista. Sopivana tuulensuojana pidetään yleensä maastoa ja isoa lehtipuustoa. Suuria havupuita rakennuksen paikan välittömässä läheisyydessä tulisi välttää, sillä ne varjostavat huomattavasti enemmän kuin lehtipuut. Lehtipuiden etu on myös se, että talvella niiden ollessa lehdettömiä, ne eivät varjosta vähäistä auringon valoa, taas kesällä lehtipuut suojaavat erinomaisesti liialta auringon säteilyltä. Rakennusta ei tulisi sijoittaa notkoon, sillä siellä vallitsevat usein kylmät ilmavirtaukset. Talo kannattaa sijoittaa maastossa korkealle, sillä lämpötilaero voi olla jopa 1°C 10 metriä kohti. (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)

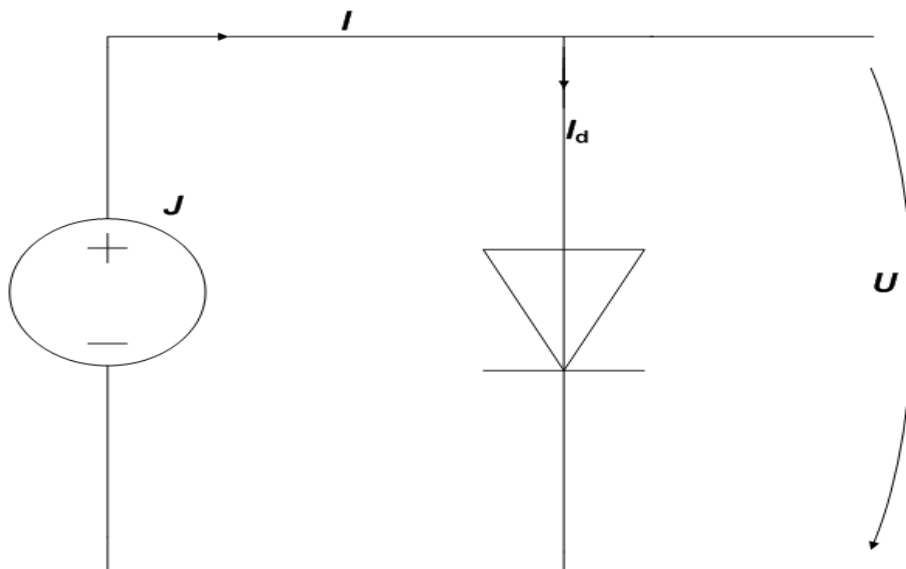
Rakennukseen tulee myös valita oikeanlaiset rakennusmateriaalit auringon lämmön hyödyntämiseksi. Täytyy valita hyvät eristeet ja lämpöä sujuvasti varaavia materiaaleja. Rakennuksen muodon tulee olla suunniteltu oikeanlaiseksi, ja esimerkiksi lasitetut kuistit ja viherhuoneet ovat optimaalisia aurinkoenergian hyödyntämisen kannalta. Kesällä täytyy muistaa huolehtia myös riittävästä rakennuksen tuuletuksesta ja varjostuksesta. Varjoa saadaan aikaan sopivanlaisilla räystäillä ja kattorakenteilla. Suunnitteluvaiheessa on hyvä varmistaa, että talvella tulevat matalat auringonsäteet pääsisivät huonetiloihin. Ikkunaukkujen sijainti on myös merkittävä osio aurinkoenergian passiivisessa hyödyntämisessä. Suurimmat ikkunat tulee suunnata etelään ja pienimmät talon pohjoispuolelle. Rakennuksessa eniten lämpöä vaativat tilat tulisi sijoittaa välittömästi suurten ikkunoiden taakse. Jos rakenteellisilla ratkaisuilla ei päästä suojaan yllämpenemiseltä, niin ikkunoihin voidaan asentaa tätä varten sälekaihtimet tai verhot. Rakennuksen läheisyyteen voidaan istuttaa myös esimerkiksi ruusupensaita, sireenejä ja lehtipuita sopivan varjoisuuden aikaan saamiseksi. (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)

3. AURINKOKENNOT

Aloitetaan aurinkosähkön tutkiminen aurinkokennojen toimintaperiaatteen määrittämisellä. Ensimmäinen toimiva aurinkokenno rakennettiin vuonna 1883 seleenistä. Kennon valmisti Charles Fritts. Nykyiseen muotoon kennot muokkautuivat kuitenkin vasta vuonna 1954, jolloin Bellin laboratoriossa keksittiin valosähköinen ilmiö piistä valmistetussa liitoksessa. Sen jälkeen ryhdyttiin hyödyntämään piitä aurinkokennon valmistusmateriaalina. Piin käyttö oli ylivoimaisen tehokas aikaisempiin aurinkokennoihin verrattuna ja sitä käytetään edelleen kennojen valmistuksessa. 1970-luvulla ollut öljykriisi vauhditti uusiutuvien energialähteiden kannatusta ja näin myös aurinkoenergia yleistyi valtavasti ja tulevaisuudessa aurinkoenergia on eräs tärkeimmistä energian hankintamuodoista. (Solar Cells 2008).

Aurinkokenno on suuriläpimittainen diodi, jonka toiminta perustuu puolijohderajapintaan, jonka molemmin puolin on n-tyyppin ja p-tyyppin puolijohde. N-tyyppin materiaalin tulee olla negatiivisesti varautunut eli siinä on paljon elektroneja. Vastaavasti p-tyyppin materiaalin tulee olla positiivinen ja siinä on vähän elektroneja eli paljon aukkoja. Tasapainotilassa atomien elektronien sanotaan olevan valenssivyöllä. Kun auringon lähettämä säteily osuu kennoon, saa tämä aikaan sen, että rungon piiatomeista irtoaa elektroneja eli ne siirtyvät valenssivyöltä johtavuusvyölle. Tätä prosessia kutsutaan yleisesti valosähköiseksi ilmiöksi. Elektronit siis kulkeutuvat n-tyyppin puolijohteelta p-tyyppin puolijohteelle. Näin muodostuu jännite kennon ylä- ja alapinnan välille. Kytkemällä useita kennoja sarjaan saadaan muodostettua jännite, joka voi varata akun. Loppujen lopuksi elektronien liikkeen avulla muodostuu siis sähkövirta, kun kennot yhdistetään kuormaan. (Energia Suomessa 1999, 239–241)

Kaikkien aurinkokennojen, jotka on valmistettu puolijohdetekniikalla, toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa fotonit ja elektronit vuorovaikuttavat keskenään muodostaen sähkövirran. Aurinkokennon toiminta ilman valaisua muistuttaa tavallisen pn-diodin toimintaa. Tästä johtuen aurinkokennon sijaiskytkentää voidaan yksinkertaisimmillaan kuvata virtalähteen ja pn-diodin rinnankytkentänä. Aurinkokennon sijaiskytkentä on esitetty kuvassa 2. Virtalähteen J suuruus riippuu täysin aurinkokennoon osuvan auringon valon voimakkuudesta. (Markwart & Castaner 2003, 587–631)



Kuva 2. Aurinkokennon sijaiskytkentä, missä J on virtalähde, I_d on diodin virta, I koko piirin virta ja U diodin yli menevä jännite.

Aurinkokennoja on olemassa nykyään monta eri tyyppiä. Piiteknologia on saanut rinnalleen lukuisia muita vartenotettavia mahdollisuuksia aurinkosähkön hankintaan. Tulevaisuudessa piillä ei välttämättä ole monopoliasemaa aurinkosähkön sovelluksissa. Vuonna 2008 tuotettiin aurinkokennoja nimellisteholtaan maailmanlaajuisesti 6,85 GW:a vastaava määrä. Luku on kaksinkertaistunut vuoden 2007 3,44 GW:sta. (Fraas & Partain 2010, 137–147)

3.1 Aurinkokennojen sukupolvet

Aurinkokennoteknologiat jaetaan niin sanottuihin sukupolviin, joista ensimmäisen muodostavat kiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot. Toisen sukupolven aurinkokennot koostuvat ohutkalvoteknologialla valmistetuista aurinkokennoista, kun vastaavasti kolmannen sukupolven kennoihin kuuluvat nanoteknologialla valmistetut tulevaisuuden aurinkokennot sekä muut tulevaisuudessa kehitteillä olevat teknologiat. Seuraavaksi esitellään aurinkokennojen eri sukupolvet yksitellen. (Fraas & Partain 2010, 137–147)

3.1.1 Kiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot

Aurinkokennon yleisin valmistusmateriaali on pii, jota voidaan käyttää joko yksikiteisenä, monikiteisenä tai amorfisena. Yksikiteisestä ja monikiteisestä piistä valmistettujen aurinkokennojen katsotaan muodostavan aurinkokennojen ensimmäisen sukupolven. Yksikiteisen piiaurinkokennon teoreettinen hyötysuhde on noin 25 %. Kun järjestelmähyötysuhde otetaan huomioon, eli kennoja kytketään aurinkopaneeliin, pienenee nykyisten aurinkokennojen sähköksi saatava hyötysuhde 20 %:n tuntumaan. Yksikiteisestä piistä valmistetun aurinkokennon hyötysuhde on parempi kuin monikiteisen kennon tai amorfisen ohutkalvokennon. Vastaavasti yksikiteisen piiaurinkokennon valmistaminen taas maksaa enemmän kuin muiden kennojen ja se kuluttaa myös paljon energiaa. Monikiteisten kennojen tyypilliset hyötysuhteet pyörivät välillä 10–15 %. Parhaimmillaan on niillä kuitenkin päästy 20 %:n luokkaan olevaan hyötysuhteeseen. Monikiteisen piin valmistus on helpompaa kuin yksikiteisen piin, sillä pii saadaan monikiteiseksi yhdistämällä sulaa piitä sen kiinteään olomuotoon. Monikiteisen piin huono puoli on taas se, että juuri monikiteisyydestä johtuen kiteessä on paljon enemmän hilavirheitä kuin yksikiteisessä piissä. Kiteiden väliset rajapinnat huonontavat myös monikiteisestä piistä valmistettujen aurinkokennojen toimintaa. Nämä seikat selittävät sen, miksi monikiteisten piikennojen hyötysuhteet jäävät yksikiteisestä piistä valmistettuja kennoja huonommiksi. Yksikiteisen ja monikiteisen piiaurinkokennon kuva on esitetty kuvassa 3. (Fraas & Partain 2010, 137–147),(Aarnio)



Kuva 3. Yksikiteisen piiaurinkokennon kuva vasemmalla ja vastaava monikiteisenä oikealla. (Aarnio)

Uusia tavoitteita ja rajapyykkejä on asetettu lähitulevaisuuteen ja kiteisestä piistä valmistetun aurinkokennon on ennustettu olevan hallitseva aurinkokennoteknologia vielä vuoteen 2020 asti, mutta sen jälkeen on tapahduttava merkittävää kehitystä, mikäli kiteinen pii halutaan saada pysymään aurinkokennojen tärkeimpänä mahdollisena rakennusaineena, sillä uudet aurinkokennosovellukset saavuttavat kiteisen piin asemaa koko ajan ja entistä parempia valmistusmateriaaleja löydetään ja kehitetään kovaa vauhtia. Vuonna 2020 kiteisestä piistä valmistettujen aurinkokennojen osuuden markkinoista on ennustettu olevan enää noin 50 %. Tämän takaa niiden luotettava teknologia, pitkät elinajat sekä piin runsas saatavuus. Ensimmäisen sukupolven aurinkokennot elävät siis kulta-aikaansa. Taulukossa 1 on esitetty teknologiatavoitteita yksikiteisestä ja monikiteisestä piistä valmistetuille aurinkokennoille tästä hetkestä tulevaisuuteen. (IEA 2010, 23–24)

Taulukko 1 Teknologiatavoitteita kiteiselle piiaurinkokennolle. (IEA 2010, 24)

Kiteinen pii	2010–2015	2015–2020	2020–2030
Hyötysuhdetähtäimet prosentteina, aurinkopaneeli	Yksikiteinen: 21 %	Yksikiteinen: 23 %	Yksikiteinen: 25 %
	Monikiteinen: 17 %	Monikiteinen: 19 %	Monikiteinen: 21 %
Tuotantonäkökulmat	Piin käyttö < 5 g/W	Piin käyttö < 3 g/W	Piin käyttö < 2 g/W
Tutkimus - ja kehityskohteet	Uudet piimateriaalit ja niiden käsittely	Laiterakenteiden parantaminen	Uudet korvaavat teknologiat
	Kennojen pinnat, säteilyominaisuudet	Tuotteliaisuus ja hinnan optimointi tuotannossa	Uudet laiterakenteet

Taulukosta 1 nähdään, että nykyhetken yksikiteisestä piistä valmistetun aurinkopaneelin hyötysuhteet nousevat 21 %:sta 23 %:iin vuoteen 2020 mennessä ja pitkällä aikavälillä aina 25 %:iin asti. Vastaavasti käy myös monikiteisen piin tapauksessa, sillä myös siitä valmistetun aurinkopaneelin hyötysuhde nousee 17 %:sta 19 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Lopulta viimeistään vuonna 2050 monikiteisestä piistä valmistettu aurinkopaneeli saa hyötysuhteekseen 21 %. Tärkeää on huomata se, että ennusteen mukaan yksikiteinen piiaurinkokenno on aina noin 4 prosenttiyksikköä parempi hyötysuhteeltaan verrattessa monikiteiseen piikennoon. Merkittävää on myös huomata, että piin määrä grammoissa wattia kohti pienenee tulevaisuudessa huomattavasti. Tämä kertoo materiaalien paranisesta. Vuosivälillä 2010–2015 tutkimus painottuu uusien piimateriaalien tutkimiseen ja jalostukseen sekä kennojen pintoihin. Aikavälillä 2015–2020 tuotekehittelyssä painopiste siirtyy paranneltuihin laiterakenteisiin ja tuotteliaisuuteen sekä tuotteliaisuuteen ja aurinkokennon tuotantohinnan optimointiin sen tuotannossa. Kauempana tulevaisuudessa keskitytään jo kehittämään muita piitä vastaavia teknologioita ja uusia laiterakenteita.

3.1.2 Ohutkalvotekniikka

Toisen sukupolven muodostavat ohutkalvotekniikkaan perustuvat aurinkokennot. Teknologian katsotaan saaneen alkunsa 1960-luvulla, jolloin tehtiin ensimmäiset ohutkalvokennot kupariselenidistä (CS) ja kadmiumselenidistä (CdS). Samoista materiaaleista koostuva aurinkokenno oli myös ensimmäinen ohutkalvokenno, jolla päästiin 10 % hyötysuhteeseen vuonna 1981. Hyötysuhteet ovat 1990-luvulla parantuneet ja uusia materiaaleja on otettu mukaan kehitykseen. Tällaisia materiaaleja ovat muun muassa galliumarsenidi (GaAs), kadmiumtelluridi (CdTe) ja kupari-indiumdiselenidi (CuInSe, lyh CIS) sekä kupari-indiumgalliumdiselenidi (CuInGaSe, lyh CIGS). Hyötysuhteet ovat CIGS-kennolla 19–20 %:n luokkaa, CIS-kennolla noin 18 % ja CdTe-kennolla hieman yli 16 %. Myös amorfisesta piistä valmistetaan ohutkalvotekniikkaan perustuvia aurinkokennoja ja niillä on päästy noin 10 % hyötysuhteeseen, kuitenkin hyötysuhteet jäävät varsin usein alle 10 %:n. (Fraas & Partain 2010, 137–147), (Aarnio)

Vaikka ohutkalvokennon hyötysuhde jää pienemmäksi, on sen kuitenkin todettu sietävän paremmin varjoa kuin muut aurinkokennot. Tämä siis mahdollistaa periaatteessa pienen sähkömäärän tuoton myös silloin kun aurinko ei paista kennoon aivan täydellä teholla. Ohutkalvotekniikkaa puoltaa myös se, että se soveltuu hyvin massatuotantoon ja vaatii huomattavasti vähemmän raaka-ainetta kuin kiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot. Niitä voidaan valmistaa myös suuremmalle pinta-alalle helpommin kuin piikennoja. Sen aktiivimateriaalin paksuus on nimittäin 1/1000 – 1/100-osa verrattuna yksikiteisestä tai monikiteisestä piistä valmistetuissa aurinkokennoissa käytettyihin materiaalipaksuuksiin.

Ohutkalvokennot ovat noin 1 µm paksuisia. EU tukee muutamia ohutkalvoteknologiaihin keskittyviä projekteja (European Commission 2009). Amorfisesta piistä valmistettu ohutkalvoaurinkokenno on esitetty kuvassa 4. (Fraas & Partain 2010, 137–147), (Aarnio)



Kuva 4. Amorfisesta piistä valmistettu ohutkalvoaurinkokenno. (Aarnio)

Eniten käytetty äsken luetelluista materiaaleista kennonvalmistuksessa on kadmiumtelluridi, sillä se pystyy vastaanottamaan äärimmäisen lyhytaaltoista auringonsäteilyä. Myös amorfista piitä suositaan kennojen valmistuksessa. Muista materiaaleista valmistetut aurinkokennot ovat kuitenkin hyötysuhteeltaan kiteisestä piistä valmistettuja aurinkokennoja huonompia. (Aarnio) Amorfisesta piistä, CdTe:stä ja CIGS:stä valmistettuja ohutkalvoaurinkokennoja on vertailtu toisiinsa taulukossa 2, jossa on myös esitetty arvioita kustakin materiaalista valmistetun kennon tulevaisuudesta ja kehityskohteista.

Taulukko 2 Tulevaisuuden teknologia – ja kehitysnäkymiä ohutkalvotekniikassa. (IEA 2010, 25)

Ohutkalvoteknologia	2010–2015	2015–2020	2020–2030
Hyötysuhdetähtäimet prosentteina, aurinkopaneeli	amorfinen pii: 10 %	amorfinen pii: 12 %	amorfinen pii: 15 %
	CIGS: 14 %	CIGS: 15 %	CIGS: 18 %
	CdTe: 12 %	CdTe: 14 %	CdTe: 15 %
Tuotantonäkökulmat	Pinnoittamisen korkea taso	Yksinkertaistunut tuotantoprosessi	Suuret korkeahyötysuhteiset tuotantoyksiköt
	Uudet tuotantotavat	Alhaisemmat kustannukset pakkauksessa	Tuotantomateriaalien saatavuus
	Pakkaaminen	Myrkyllisten materiaalien käsittely	Paneelien kierrätettävyys
Tutkimus - ja kehityskohteet	Tuotantomäärän kasvattaminen	Kennojen materiaalin kehittävyys	Materiaalien kehittäminen
		Kehittyneet valmistustekniikat	

Taulukosta 2 nähdään, että ohutkalvotekniikassa tähdätään lähivuosina entistä halvempaan aurinkokennon valmistukseen, tuotannon yksinkertaistamiseen, kierrätettävyyteen ja laajaan korkeatasoiseen tuotantoon. Uusien materiaalien kehittäminen aurinkokennon valmistukseen tulee olemaan tärkeässä roolissa tulevana vuosikymmeninä ohutkalvotekniikassa. Taulukosta 2 nähdään myös, miten hyötysuhteet kehittyvät vuosikymmenittäin ohutkalvotekniikalla valmistetuissa aurinkopaneeleissa.

3.1.3 Kolmannen sukupolven aurinkokennot

Nykytekniikassa käytetään myös kolmannen sukupolven aurinkokennoryhmän muodostavia nanotekniikkaan pohjautuvia aurinkokennoja, joista yleisimpänä sovelluksena mainitaan väriaineaurinkokenno. Tämän kaltainen kenno poikkeaa valmistustavoiltaan ja toiminnaltaan edellä mainituista kennoista. Väriainekenno on sähkökemiallinen kenno, jossa titaanidioksidinanopartikkelien pintaan kiinnittyneet väriainemolekyylit tuottavat auringon valosta sähköä. Väriaineaurinkokennon vahvuutena ovat edullinen tuotanto ja yksinkertaiset valmistusmenetelmät. Väriaineaurinkokennojen valmistukseen ei myöskään tarvita puhdistiloja, sillä ne voidaan valmistaa painotekniikoilla tavallisissa teollisuuden tuotantolosuhteissa. Väriaineaurinkokennoilla on päästy parhaimmillaan noin 11 % hyötysuhteeseen. Väriaineaurinkokennolla on myös erittäin hyvät ominaisuudet menestyä kannettavan ja painetun elektroniikan teholähteenä. Tällä hetkellä tämän kaltaisia kennoja käytetään muun muassa ikkunoissa ja rakennusten katoissa. (Aarnio), (Aaltoyliopisto 2010)

Kolmannen sukupolven kuuluvat myös orgaaniset aurinkokennot. Kennot koostuvat valo läpäisevien elektrodien väliin asetelluista polymeerisistä ohutkalvoista (TEK 2011). Kennon ytimessä tapahtuva elektronin siirto aiheuttaa sähkövirran. Orgaaniset aurinkokennot muodostavat haasteita tulevaisuudelle. Niissä käytetään materiaaleina yleisiä alkuaineita, joten materiaalien saatavuus ei ole ongelma. Orgaaniset aurinkokennot ovat myös merkittävästi kevyempiä kuin piikennot ja myös halvempia. Ainoastaan hyötysuhteessa ne jäävät merkittävästi piistä valmistettujen kennojen alapuolelle. Halpa tuotanto korvaa kuitenkin laatua, sillä kennon valmistus maksaa vain kymmenesosan vastaavaan piikennoon verrattuna. Maailmanennätys orgaanisten aurinkokennojen hyötysuhteelle on 8,3 % (TEK 2011). (Tekniikka ja talous 2007)

Aurinkokennoille on myös olemassa eräänlainen avaruusteknologia, koska aurinkosähköä käytetään laajalti esimerkiksi maata kiertävissä satelliiteissa sekä NASA:n avaruussukuloissa. Aurinkokennot joutuvat avaruudessa todella voimakkaan hiukkassäteilyn alaiseksi ja jottei niiden suorituskyky laske, täytyy aurinkokennojen olla valmistettu kestävästä ma-

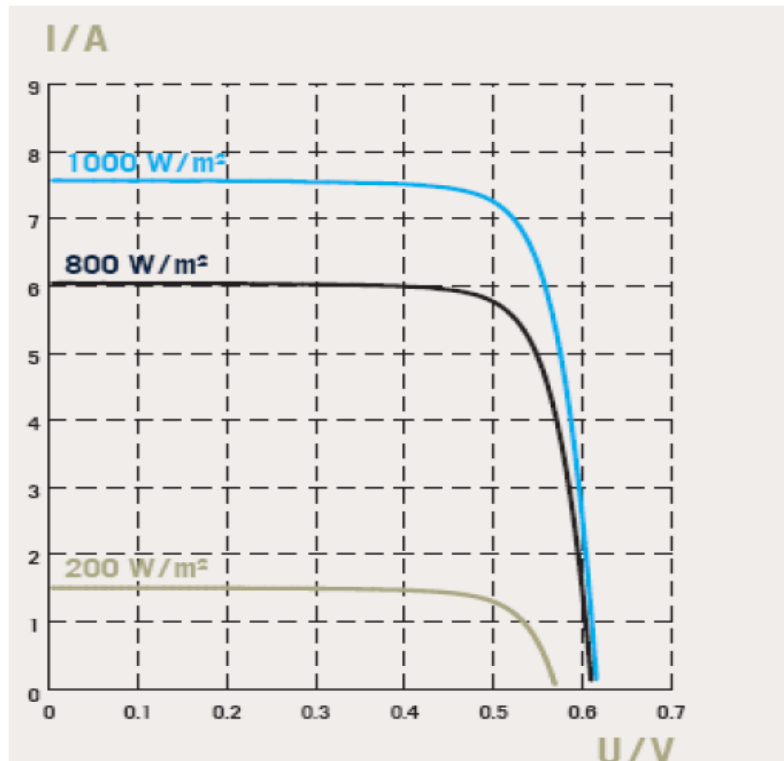
teriaalista. Tällainen materiaali on galliumarsenidi (GaAs), joka on todella kallista ja siksi harvinaisempi maanpäällisessä käytössä. Avaruusteknologian aurinkokennoista muodostettu aurinkopaneeli on tehty monikerrostekniikalla ja sillä päästään jopa 40 % hyötysuhteeseen. Monikerrostekniikan eri kerrokset vastaavat auringon spektrin eri aallonpituuksiin ja niiden avulla saadaan auringon säteilyn aallonpituudet paremmin hyödynnetyksi. (Aarnio)

3.1.4 Keskittävät aurinkokennojärjestelmät

Tällä hetkellä kehitystä kohdistetaan myös keskittäviin aurinkokennoteknologioihin (CPV). Teknologiassa keskitetään auringon suoraa säteilyä optisilla apuvälineillä suoraan aurinkokennon polttopisteeseen. Etuna tällä teknologialla on se, että keskittämisen ansiosta itse kennon ei tarvitse olla pinta-alaltaan suuri, mikä alentaa kustannuksia merkittävästi. Pienet ja keskitehoiset keskittävät järjestelmät toimivat piistä valmistettujen korkean hyötysuhteen omaavien aurinkokennojen kanssa. Korkean tason keskittävät järjestelmät vaativat toimiakseen yhdistetyistä puolijohteista valmistettuja aurinkokennoja. Tämän kaltaisella tekniikalla on laboratorio-oloissa päästy yli 40 % hyötysuhteeseen. Lähivuosina CPV pyritään kaupallistamaan. Laajaa tutkimusta tehdään optisten laitteiden, paneelien kokoonpanon kehittämisen, aurinkoseuraajien ja korkeahyötysuhteisten laitteiden parantamiseksi. (IEA 2010, 26)

3.2 Aurinkokennon *IU*-käyrä

Aurinkokennojen ominaisuuksia kuvaa *IU*-käyrä, jossa pystyakselilla on aurinkokennossa aikaansaatu virta ja vaaka-akselilla kennon napojen välinen jännite. Kaikille kennoille ominainen *IU*-käyrä mitataan aina standardoiduissa olosuhteissa. Erään valmistajan aurinkokennon *IU*-käyrä on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Tyypillisen aurinkopaneelin IU -käyrä. (AG, Q-Cells)

Kuvasta 5 on nähtävissä kolme eri käyrää eri säteilytehoja varten. Jokaisen kennon IU -käyrään vaikuttavat olennaisesti valon intensiteetti, kennon koko, kennon valmistuksessa käytetty teknologia sekä lämpötila, koska puolijohteiden ominaisuudet ovat lämpötilariippuvaisia. Valon intensiteetin muuttuessa käyrän muoto pysyy samana, mutta käyrä laskeutuu pienemmällä valolla alemmas ja tyhjäkäyntijännitepiste siirtyy vähän. Tyhjäkäyntijännitteestä puhutaan silloin, kun aurinkokennoa ei ole kytketty kuormaan, joten siinä ei kulje virtaa. Vastaavasti, kun navat on oikosuljettu, ei kennossa kulje jännitettä, ja tällöin puhutaan oikosulkuvirrasta. Kuvan 5 kolmelle säteilytehon käyrälle on ominaista niiden suunnilleen sama muoto. (Schneider 2009, 17)

3.3 Aurinkokennojen tulevaisuus

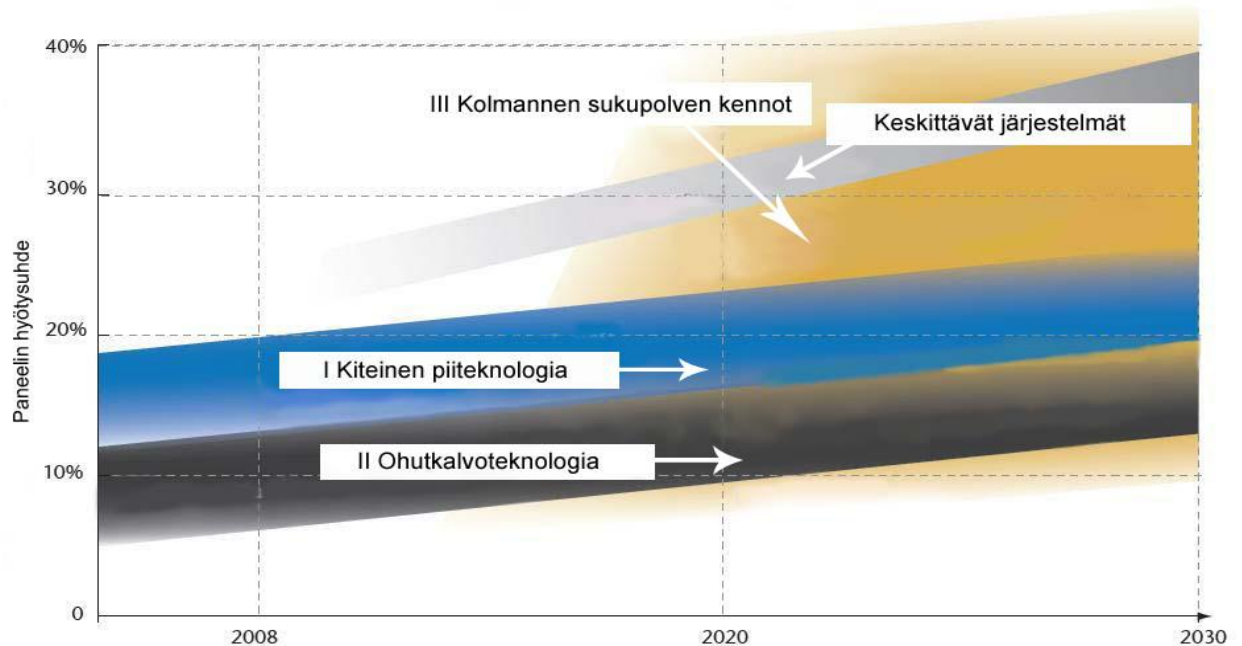
Aurinkokennoteknologia menee eteenpäin kovaa vauhtia, ja muiden energian tuottomuotojen haasteisiin on kyettävä vastaamaan. Aurinkokennoteknologian tulevaisuuden tavoitteita on esitetty taulukossa 3. Kuvassa on nähtävissä kennojen hyötysuhteet vuosina 2008, 2020, 2030 ja 2050, aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika vuosina sekä järjestelmän ihanteellinen elinikäodote. Huomataan, että aurinkokennon hyötysuhde paranee tulevaisuudessa merkittävästi ja sen hinta putoaa huomattavasti. Käyttöajat nousevat myös merkittävästi.

Taulukko 3 Aurinkokennoteknologian tulevaisuuden tavoitteita. (IEA 2010, 23)

Tähtäimet	2008	2020	2030	2050
Tyypillisen paneelin hyötysuhde	alle 16 %	alle 23 %	alle 25 %	alle 40 %
Takaisinmaksuaika 1500 kWh/kW _n järjestelmällä vuosina	2	1	0,75	0,5
Käyttöaika vuosina	25	30	35	40

Taulukosta 3 nähdään, että aurinkopaneelin hyötysuhteen ennustetaan nousevan 16 %:sta 25 %:in tuntumaan vuoteen 2030 mennessä ja siitä edelleen vuoteen 2050 mennessä lähes 40 %:iin. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että aurinkosähköllä on vielä valtavasti piilossa olevaa kasvupotentiaalia. Aurinkopaneeli määritellään yleensä nimellistehonsa mukaan. Järjestelmän, joka tuottaa energiaa 1500 kWh:a kW_n:n nimellistehoa kohhti, takaisinmaksuaika lyhenee merkittävästi vuoteen 2050 mennessä. Materiaalit, joista aurinkokennoja tulevaisuudessa valmistetaan, ovat paljon kestävämpiä, halvempia ja tehokkaampia kuin nykyään. (IEA 2010, 22–23)

Aurinkokennojen tulevaisuuden haasteisiin kuuluvat keskittävien aurinkosähköjärjestelmien sekä erityisesti kolmannen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvan väriaineaurinkokennon kehittäminen ja massatuotanto. Kuvassa 6 on esitetty niin sanottujen aurinkokennosukupolvien tämän päivän suorituskyky sekä lähitulevaisuuden ennuste hyötysuhteen kehittymiselle.



Kuva 6. Eri aurinkopaneelien hyötysuhteiden kehitys seuraavina vuosikymmeninä. (Muokattu lähteestä IEA 2010, 22)

Kuvasta 6 havaitaan, että ensimmäisen sukupolven ja toisen sukupolven aurinkopaneelien hyötysuhteet kasvavat tasaisesti tulevaisuudessa. Keskittävät aurinkosähköjärjestelmät ja kolmannen sukupolven nanoteknologiaan perustuvat aurinkosähköpaneelit kehittyvät tulevaisuudessa noin 40 %:n hyötysuhteisiin. Kolmannen sukupolven kennot käsittävä alue on laaja, sillä sinne mahtuvat noin 10 %:n hyötysuhteen saavuttavat orgaaniset aurinkokennot ja 15–20 %:n hyötysuhteisiin yltävät kehittyneet epäorgaaniset ohutkalvoteknologiaan pohjautuvat aurinkokennot. Parhaimpiin hyötysuhteisiin päästään avaruussovelluksiin käytettävillä kolmannen sukupolven kennoilla.

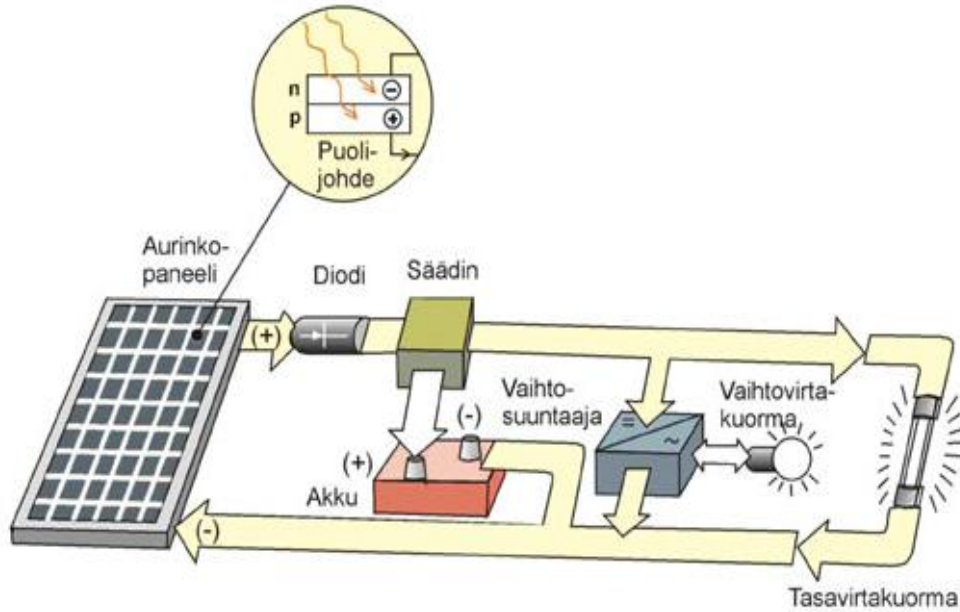
4. AURINKOSÄHKÖ- JA AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄT

Esitellään aurinkokennoista kootut aurinkosähköjärjestelmät tarvittavine laitteineen, keskittävät järjestelmät sekä aurinkolämpöjärjestelmät rajoittuen lähinnä vedenlämmityskäyttöön.

4.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit koostuvat lasista, alumiinisesta suojakuoresta ja aurinkokennoista. Aurinkopaneelit muuttavat auringosta tulevan säteilyn suoraan sähköksi ja mahdollistavat sähkön varastoinnin myös akkuihin. Tyypillisesti yksittäisten aurinkopaneelien teho on välillä 50–100 W. Paneelien koko ja teho vaihtelevat kuitenkin tuotekohtaisesti ja tämän vuoksi niitä on saatavissa aina 300 W:iin asti. Aurinkopaneelit, joita maailmalla esiintyy, ovat lähes 90 %:sesti valmistettu yksi- tai monikiteisestä piistä valmistetuista aurinkokennoista. Loput on valmistettu amorfisesta piistä tai muista aiemmin mainituista materiaaleista. (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)

Aurinkopaneelissa on useita aurinkokennoja kytkettynä sarjaan, jotta saadaan nostettua aurinkopaneelin maksimijännitettä. Vastaavasti kennosarjoja kytketään aurinkopaneelissa rinnan, jolloin saadaan aurinkopaneelin syöttämä virta mahdollisimman suureksi. Yhden kennon antama jännite on tyypillisesti luokkaa 0,6–0,7 V ja virta vastaavasti 7 A. Kun näitä kennoja kytketään sarjaan ja rinnan saadaan helposti suuria virtoja aikaiseksi. Aurinkopaneelin toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 7. (Fraas & Partain 2010, 219–225) (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)



Kuva 7. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. Kuvasta nähdään, että aurinkopaneeli sisältää useita aurinkokennoja. (Opetushallitus)

Kuvassa 7 on esitetty yksittäinen aurinkopaneeli, joka sisältää useita aurinkokennoja. Aurinkopaneeli on yhdistetty kuormaan, jolloin piiriin muodostuu sähkövirta. Kyseisessä järjestelmässä on nähtävissä myös vaihtosuuntaaja eli invertteri, jota käytetään koska aurinkosähköpaneeli tuottaa tasasähköä ja useimmat laitteet toimivat kuitenkin vaihtosähköllä. Vaihtosuuntaaja muokkaa sähkön laitteille sopivaksi vaihtosähköksi. Vaihtosähkökojeet ovat kuluttajalle usein helpommin ja halvemmin saatavissa kuin tasasähkölaitteet, joten vaihtosuuntaajan käyttö on varsin perusteltua taloudellisuuden kannalta. Vaihtosuuntauksessa on toki huonotkin puolensa, sillä tasasähkön vaihtosuuntaus lisää järjestelmän kustannuksia ja häviöitä. (Fraas & Partain 2010, 219–225) (Aurinkoteknillinen yhdistys 2004)

Aurinkopaneelista saatava energia pidemmälle aikavälille voidaan laskea yhtälöstä

$$W = \int P dt = P_n t_k \quad (1)$$

missä P_n on aurinkopaneelin tuottama nimellisteho ja t_k on kyseisen ajanjakson huippupaistetunnit (Larjola et al. 2009)

Vastaavasti aurinkopaneelista saatava sähköteho lasketaan yhtälöllä

$$P_e = P_{aur} \eta_{ke} \quad (2)$$

missä P_{aur} on auringosta saatava säteilyteho ja η_{ke} on aurinkokennon hyötysuhde.

Aurinkovoimaloille olisi tyypillistä saavuttaa jopa 2000 tunnin vuotuinen huipunkäyttöaika automaassa. Voimalaitoksia ja voimaloita määritetään paremmuusjärjestykseen huipunkäyttöajan perusteella. Huipunkäyttöaika määritellään yhtälöstä

$$t_h = \frac{W_a}{P_n}, \quad (3)$$

missä W_a on vuotuinen energiamäärä ja P_n on nimellisteho. (Larjola et al. 2009)

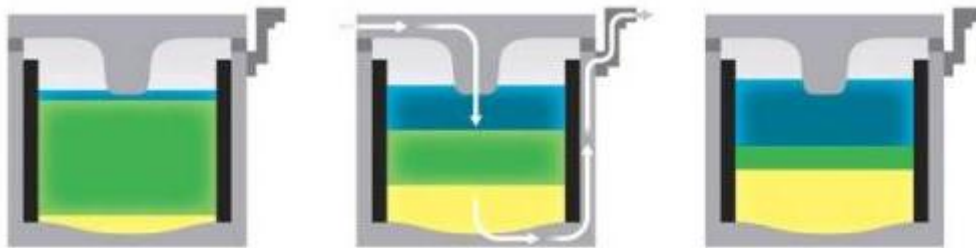
Yksittäisistä aurinkopaneeleista voidaan vaivattomasti muodostaa suurempia kokonaisuuksia kytkemällä useita aurinkopaneeleita sarjaan ja rinnan niin sähköisesti kuin mekaanisestikin. Tällaista järjestelmää kutsutaan aurinkopaneelistoksi. Kytkeminen tapahtuu samoin kuin aurinkokennoilla yksittäiseen aurinkopaneeliin. Jos halutaan kasvattaa aurinkopaneeliston jännitettä, kytketään aurinkopaneeleita sarjaan aurinkopaneeliketjuiksi. Vastaavasti haluttaessa kasvattaa järjestelmän virtaa kytketään aurinkopaneeliketjuja rinnan. Jos useampia aurinkopaneelijoita kytketään rinnan, saadaan todella suuria kokonaisuuksia, ja tällöin puhutaan aurinkosähkögeneraattoreista. Aurinkopaneeleja yhteen liitettäessä tulee käyttää aina erillisiä liitäntäkoteloloita ja kaapeleita. Liitäntäkoteloloissa on yleensä asennettuna suojalaitteita paneeliston vaurioitumisen estämiseksi. (Schneider 2009, 20)

4.1.1 Akut energiavarastoina

Aurinkopaneelit kytketään usein akkuun, jotta saadaan varastoitua energiaa siten, että sitä voidaan hyödyntää aikana jolloin aurinko ei paista. Toinen syy akun käyttöön on se, että niiden avulla saadaan tasattua aurinkopaneeliston jännitevaihteluja sekä saadaan mahdollistettua suuret hetkelliset kuormatehot. Tyypillisesti akut, joita aurinkopaneelien yhteydessä käytetään, ovat kapasiteetiltaan välillä 50–500 Ah. Akkutekniikoita kehitetään koko ajan paremmaksi, ja osittain myös senkin takia aurinkopaneelijärjestelmät yleistynevät lähitulevaisuudessa kovaa vauhtia. Tarkastellaan lyhyesti aurinkosähkön yhteydessä käytettäviä yleisimpiä akkuja. (Markwart & Castaner 2003, 587–631)

Uusin tutkimuksessa oleva akku on nestemäinen magnesium-magnesiumantimonidi-antimoni-akku. Ajatus magnesium-magnesiumantimonidi-antimoni-akuista perustuu Massachusetts Institute of Technology -korkeakoulun tutkijoiden akkuteknologiaan, jossa käytetään sulaa metallia varastoimaan aurinkokennoilla tuotettua sähköä. Magnesium-

magnesiumantimonidi-antimoni-akuissa on kolme erillistä kerrosta, kuten jo sen nimestä käy ilmi. Jokainen kerros on noin 700°C lämpötilassa ja kerrokset kelluvat toistensa päällä. Ylin kerros sisältää sulaa magnesiumia, keskimmäinen suolaa, jossa on magnesium-antimonidia ja alin kerros pelkästään antimonia. Akkua ladattaessa ylin ja alin kerros laajenevat, koska keskimmäinen kerros hajoaa magnesiumiksi ja antimoniksi. Vastaavasti akkua purettaessa keskimmäinen kerros laajenee, elektroneja vapautuu ja syntyy virtaa. Magnesium-magnesiumantimonidi-antimoni-akun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 8. (Physorg 2009)



Kuva 8. Periaatekuva magnesium-magnesiumantimonidi-antimoni-akun toiminnasta. Vasemmanpuoleisessa kuvassa akku on purettu, keskimmäisessä kuvassa akkua ladataan ja oikealla olevassa kuvassa akku on latautunut.

Magnesium-magnesiumantimonidi-antimoni-akkujen on todettu olevan paljon tehokkaampia kuin tavallisten litium-akkujen, sillä ne kestävät enemmän virtaa kuin muut akut. Ne soveltuvat hyvin aurinkosähkön varastointiin ja mahdollistavat energian varastoimisen yön ajaksi. Erityisen hyvä soveltuvuus aurinkosähköjärjestelmien yhteyteen johtuu siitä, että tämän kaltainen akku pystyy vastaanottamaan nopeasti suuren virtamäärän. Magnesium-magnesiumantimonidi-antimoni-akuissa käytettävät materiaalit ovat myös edullisempia kuin litium-akuissa käytettävät materiaalit, joten ne ovat kustannustehokkaita valmistaa. (Physorg 2009)

On olemassa myös muita, perinteisempiä akkutyyppejä, joita käytetään aurinkopaneelijärjestelmissä, kuten nikkeli-kadmiumakku sekä lyijyhappoakku. Nikkeli-kadmiumakkujen etuna on pitkä käyttöikä, kestävä rakenne ja alhaiset materiaalikustannukset. Se on vielä nykyisin varsin yleinen akkutyyppejä aurinkosähköjärjestelmässä. Nikkeli-kadmiumakuilla on myös todella laaja lämpötila-alue, mikä sopii hyvin Suomen ilmastoon. Ne kestävät hyvin pakkasta ja kuumuuttakin reilusti yli 40°C. Nikkeli-kadmiumakut pystyvät vastaanottamaan todella suuria latausvirtoja, mikä on erittäin hyvä ominaisuus akuille. Nikkeli-kadmiumakun haittapuolina ovat sen aiheuttamat ympäristöhaitat, sillä kadmium on myrkyllistä, sekä akun korkea hinta.

Toinen akkutyyppi nykypäivän aurinkosähköjärjestelmässä on jo edellä mainittu lyijyakku. Akun elektrodit on valmistettu lyijystä, ja sen elektrolyytinä toimii rikkihappo. Lyijyakkua hyödynnetään erityisesti pienissä aurinkopaneelijärjestelmissä, kuten omakotitaloissa tai kesämökeillä, mutta se ei toimi kuitenkaan yhtä laajalla lämpötila-alueella kuin edellä mainittu nikkeli-kadmium-akku. Lyijyakku on halvin mahdollinen akkuvaihtoehto aurinkosähköjärjestelmään. Tyypillisesti lyijyakut kestävät 2-10 vuotta, tosin jotkut niistä voivat kestää jopa yli 20 vuottakin. Lyijyakun materiaalit ovat haitallisia ympäristölle ja kaiken lisäksi akku ei ole kovinkaan pitkäikäinen.

AGM-akku (lasikuitu) on kehittynyt lyijyakku, jossa neste on sidottu lasikuitukankaaseen paksujen lyijykennojen väliin. AGM-akut kestävät todella hyvin suurta virtaa. Suljettujen AGM-akkujen latausta täytyy kontrolloida hajoamisen estämiseksi. AGM-akut eivät muodosta haitallisia kaasuja, joten sen käytössä ei pitäisi olla palo- tai räjähdysvaaraa. AGM-akku on mahdollista sijoittaa sisätiloihin.

Lyijyakkuteknologiassa on myös olemassa geeliakkuja, jotka soveltuvat aurinkosähköpaneelien yhteyteen. Geeliakuissa elektrolyytti on sidottu geeliin, jolloin se ei pääse vuotamaan ulos, vaikka akku olisi ylösalaisin. Geeliakulla on haittapuolensa, koska geeliakut ovat suljettuja akkuja, niihin ei voi lisätä elektrolyyttiä. Tämän seurauksena on se, että ilman toimivaa hallintajärjestelmää, geeliakku voi tuhoutua lyhyessä ajassa. Akku pystyy ottamaan ja antamaan suuria virtoja todella nopeasti. Geeliakut soveltuvat matalamman latausjännitteensä ansiosta parhaiten hitaaseen lataukseen ja purkaukseen. Geeliakkukin on mahdollista sijoittaa sisätiloihin ilman vaaraa.

(Markwart & Castaner 2003, 587–631), (Alanen et al. 2010, 22–27)

4.1.2 Mppt-säätö

MPPT-säätö (maximum power point tracking) on elektroninen piiri, joka säätää energian tuottoa optimaaliseksi reaaliajassa. MPPT-säätöä käytetään laajasti tuulivoimaloissa ja aurinkopaneeleissa. MPPT-säädön avulla saadaan kasvatettua aurinkopaneelin vuotuista sähkön tuottoa. Tekniikka perustuu aurinkokennon parhaan valosta sähköenergiaksi muuntavan pisteen etsintään ja ylläpitoon. Kyseisessä toimintapisteessä kennon virran ja jännitteen tulo on suurimmillaan. MPPT on siis laite, joka pyrkii asettamaan toimintapisteen maksimitehon pisteeseen. Aurinkokennoissa tehonvaihtelut ovat niin nopeita ja isoja, että akut kokevat todella monia lataus-purkausjaksoja. Tästä seuraa se, että akkujen elin-

iat jäävät lyhyiksi. MPPT-säätöä käytetään pienentämään aurinkokennon latauspurkausjaksojen määrää siten, että pyritään säätämään kennojen lähtöjännitettä sopivaksi. Se toimii siis lataussäätimenä. Laitteella muutetaan siis tasajännitettä, ja sitä kautta myös tasavirtaa. Tärkeimmät ominaisuudet MPPT:llä ovat sen nopeus ja tarkkuus. On erittäin tärkeää löytää toimintapiste kennosta mahdollisimman nopeasti pilvisellä säällä, jotta vältetään energiahäviöitä. Toisaalta taas on tärkeää löytää kirkkaalla säällä toimintapiste mahdollisimman tarkasti, jotta saadaan hyödynnettyä paras mahdollinen säteilyn voimakkuus vaikka se saattaa olla vaikeaa, kun aurinko paistaa kennon jokaiseen kohtaan samalla tavalla. (Schneider 2009, 20–21)

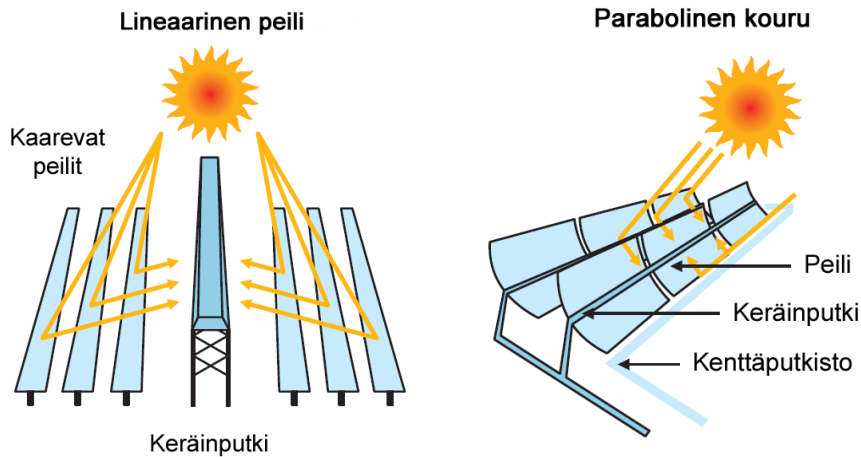
MPP-säädintä ohjataan DC-DC-hakkurilla, joka mahdollistaa akkujen lataustilanteessa sellaisen jännitteen, että saadaan aikaan mahdollisimman suuri latausvirta. DC-DC-hakkurilla pyritään siis säätämään akkujen latausvirtoja tasajännitettä muuntamalla.

4.2 Keskittävät järjestelmät

Aurinkosähkövoimalat ovat yleensä aurinkopaneeleista koottuja suuria aurinkopuistoja. Vaihtoehtona aurinkopaneeleista koostuville aurinkopuistolle ovat niin sanotut keskittävät järjestelmät, concentrated solar power (CSP), joissa peilien avulla keskitetään auringon säteily voimakkaasti yhteen polttopisteeseen. Tällaiset aurinkovoimalat hyödyntävät polttopisteen kuumuutta sähkön tuotantoon usein esimerkiksi höyrygeneraattorin avulla. Keskittäviä aurinkosähköjärjestelmiä pystytään käyttämään hiukan vähemmän aurinkoisissa maissa säteilyn keskityksen ansiosta. Keskittävät aurinkosähköjärjestelmät on yleensä liitetty suoraan sähköverkkoon, mikä mahdollistaa periaatteessa käytön ilman energiavaroja. Tämä mahdollistaa aurinkosähkön laajenemisen myös esimerkiksi pohjoisempaan Suomeenkin. (Alanen et al. 2010, 9)

Ensimmäisenä esimerkkinä keskittävästä aurinkosähköjärjestelmästä ovat lineaariset peilit, joilla ohjataan auringon säteily niin sanottuun kiinteään keräinputkeen. Peilit ovat tässä rakenteessa tasopeilejä tai hiukan kaarevia peilejä. Etuina tällaisessa sähkön tuotannossa on sen edullinen tuotantohinta, ja se ettei tällaisessa mekanismissa tarvita lämmitettävää nestettä ja lämmönsiirtimiä. Toinen tapa tällaisesta sähköntuotantojärjestelmästä on parabolinen kouru, jossa lämmitetään auringon lämmön avulla synteettistä öljyä, joka kulkeutuu putkistoa pitkin lämmönvaihtimeen, jossa aine lämmitetään, höyrystetään sekä tulistetaan. Tämän jälkeen tulistettu höyry etenee turbiiniin, jonka mekaaninen energia muutetaan sähköksi generaattorissa. Tämänkaltaisilla järjestelmillä saadaan auringon säteily

kohdistettua helpommin kuin polttopisteeseen perustuvissa järjestelmissä. Kuvassa 9 on esitetty lineaarisen peilin ja kourullisen peilin periaatteelliset rakenteet. (IEA 2010, 11–12)



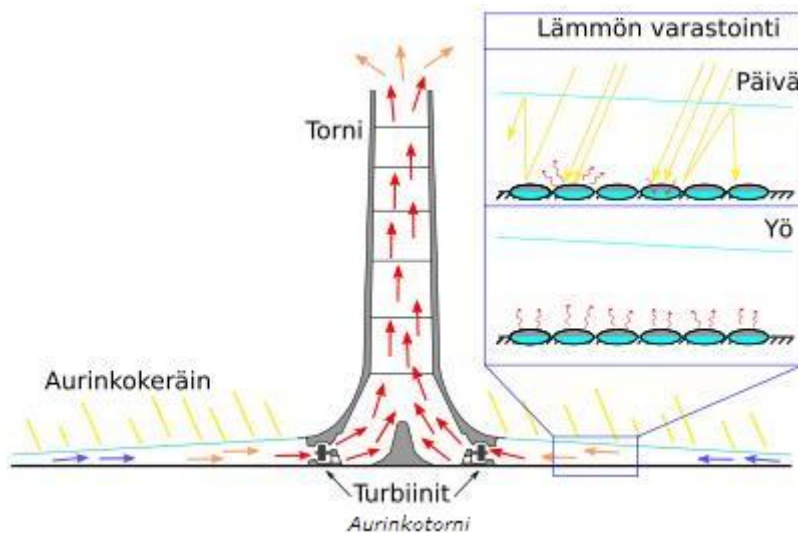
Kuva 9. Lineaarisen Fresnelin peilirakenteen ja parabolisen kourun periaatteellinen rakenne. (Muokattu lähteestä IEA 2010, 11–12)

Toisena keskittävänä järjestelmänä mainitaan parabolinen, vadin muotoinen peilipinta. Peilin parabolinen muoto keskittää auringonsäteet vadin yläpuolella olevaan polttopisteeseen ja siitä saadaan muodostettua sähköä, sillä useimmissa vadeissa on sen polttopisteen yhteydessä moottori tai generaattori. Tässäkään järjestelmässä ei tarvita mitään ulkoisia nesteitä tai lämmönsiirtimiä. Vadin muotoisesta peilistä mainittakoon vielä, että se on tehokkain keskittävä aurinkosähköjärjestelmä tällä hetkellä maailmassa. Tyypillisesti peilin pinta-ala on luokkaa 50–100 m². Peilin ainoa ongelma on se, että ne ovat varsin pieniä tehoiltaan, sillä suurimmat tällaiset peilit ovat tyypillisesti vain muutamien kymmenien kilowattien tehoisia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jos halutaan tehdä tämän kaltaisten parabolisten peilien avulla suuria aurinkovoimaloita, pitää niitä olla satoja tai tuhansia yhtäaikaaisesti toiminnassa. Myös parabolisen vadin korkea hinta on ollut ongelmana sen leviämiseksi laajempaan käyttöön. Kuvassa 10 on esitetty parabolisen vadin toimintaperiaate. (IEA 2010, 12), (Vogel & Kalb 2010, 51–55)



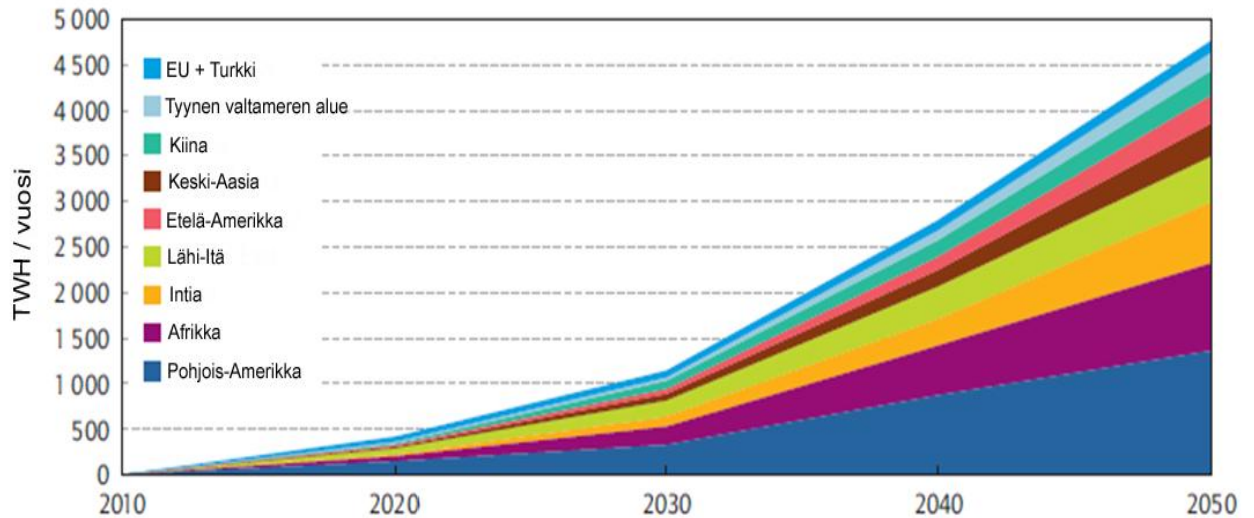
Kuva 10. Parabolisen peilipintaisen vadin toimintaperiaate. Polttopisteen yhteydessä on moottori tai generaattori. (Muokattu lähteestä IEA 2010, 12)

Kolmas esimerkki keskittävästä aurinkosähköjärjestelmästä on niin kutsuttu aurinkotornitekniikka. Aurinkotorni on eräs uusimpia sovelluksia aurinkosähkön kehittämiseen. Aurinkotornitekniikassakin hyödynnetään laajoja alueita, halkaisijaltaan jopa 7 km, jotka on katettu pleksillä tai läpinäkyvällä lasilla. Tällöin hyödynnetään katetun alueen alle jäävää ilmaa sähköntuotannossa ilman virtausten ja turbiinien avulla. Aurinkotornit vaativat kuitenkin valtavan suuren tilan mahdollisimman suuren hyödyn saamiseksi, ja niiden tulee olla useita satoja metrejä korkeita. Jopa tuhannen metrin korkuisia aurinkotorneja on harkittu rakennettavan. Kuvassa 11 on esitetty aurinkotornin periaatteellinen toiminta. Kuvasta nähdään, että auringon paistaessa ja lämmön varastoituessa päivällä tapahtuu lämpölaajenemista, joka taas nostaa ilman painetta. Paine ohjautuu torniin turbiineille ja täten turbiinien pyöriessä saadaan sähköä. (Meteorological Reactors 2010), (IEA 2010, 12)



Kuva 11. Periaatekuva aurinkotornin toiminnasta ilman peilejä. (Meteorological Reactors 2010)

Tarkastellaan seuraavaksi, miten keskittävien aurinkosähköjärjestelmien käyttö laajenee tulevaisuudessa maailmalla. Kuvassa 12 on esitetty keskitettyjen aurinkosähköjärjestelmien alueellinen laajeneminen vuoteen 2050 asti.



Kuva 12. Keskitettyjen aurinkosähköjärjestelmien tuotannon kasvu alueittain. (Muokattu lähteestä IEA 2010, 20)

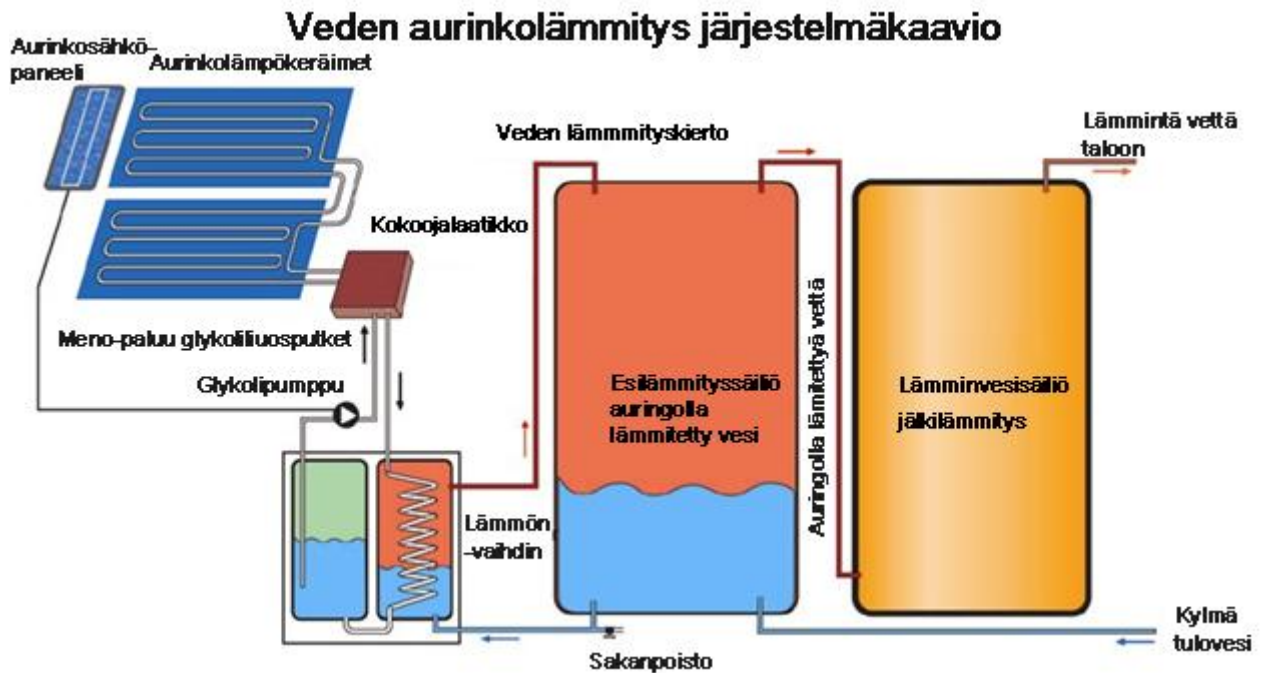
Kuten kuvasta 12 huomataan, jo pelkästään USA:ssa keskitettyjen aurinkosähköjärjestelmien käyttö kasvaa noin 1300 TWh:iin vuodessa vuoteen 2050 mennessä. Kuvasta nähdään, kuten aiemminkin on todettu se, että vuoden 2030 tienoilla keskitetyt aurinkojärjestelmät alkavat horjuttaa muiden aurinkokennojen ja -järjestelmien asemaa. Niiden massatuotanto on vuonna 2030 jo hyvässä vauhdissa ja niiden hinta-laatusuhde on erinomainen. Yksittäisistä maista Kiina ja Intia ovat keskittävien järjestelmien kehityksessä selvästi edistyneimmät.

4.3 Aurinkokeräimet

Tämän työn pääpaino on aurinkosähkössä, mutta esitellään lyhyesti myös auringosta saatavan lämpöenergian tuotantoa. Aurinkopaneelien lisäksi toinen tapa hyödyntää auringon säteilyä ovat aurinkokeräimet. Usein puhutaan niin sanotuista kattointegroiduista aurinkokeräimistä, jolloin aurinkokeräin on osa rakennuksen vesikattoa ja sitä kautta säästetään rakennuskuluissa. Aurinkokeräimiä voidaan myös sijoittaa rakennusten seiniin. Aurinkokeräimen toiminta perustuu siihen, että auringon valo lämmittää mustaa absorbtiolevyä, joka on pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella ja katettu selektiivisellä lasilla. Musta pinta luo erinomaiset edellytykset säteilyn keräämiselle, sillä sen emissiivisyys on lähes 1. Auringon säteet siis käytännössä siepataan aurinkokeräimeen. Absorbtiiolevy on täysin lämpöeris-

tetty, joten lämpöä ei pääse karkuun, vaan saadaan aurinkokeräimen putkissa oleva neste lämpiämään. Yleisin aurinkokeräinmalli on edellä mainittu nestekiertoinen aurinkokeräin. Nesteenä on tyypillisesti käytetty vesi-glykoliseosta. Aurinkokeräimen putkiston avulla neste kulkeutuu toiseen putkistoon, josta neste siirtyy varaajaan ja näin on saatu auringon säteilyä hyödynnetyksi lämmöksi. (Energia Suomessa 239–241)

Etäisyys aurinkokeräimen ja varaajan välillä kannattaa pitää mahdollisimman lyhyenä kustannusten minimoimiseksi. Juuri varastoinnin ansiosta aurinkokeräimetkin ovat yleistyneet, sillä varastoinnilla voidaan välttää tehokkaasti auringon säteilyn vuorokausivaihtelut. Kuvassa 13 on esitetty veden aurinkolämmityksen järjestelmäkaavio, jossa on nähtävissä lämpimän veden kulku aurinkokeräimestä eri putkistojen kautta lämminvesivaraajaan ja sitä kautta hyödynnettäväksi taloon.



Kuva 13. Tyypillinen aurinkokeräimien avulla tapahtuva vedenlämmitys. (RETscreen)
 Syynä aurinkolämmityksen lisääntymiseen veden ja rakennusten lämmityksessä ovat öljyn hinnan nousu ja ilmastolliset muutokset. Aurinkolämmityksen päästöttömyys on merkittävä aurinkolämmityksen puolestapuhuja. Rakennusten lämmityksessä suurin hyöty aurinkolämmityksestä saadaan yhdistämällä aurinkokeräin ja varaaja vesikiertoiseen lattia-
 lämmitykseen. Tällöin aurinkokeräinten avulla lämmitetty vesi lämmittää samalla myös koko asuinrakennusta. Tämä taas alentaisi kustannuksia, koska pattereita ei tarvitsisi käyttää. Aurinkokeräimiä käytetään myös kylmäilmakuivureissa esilämmitysasteena viljan kuivauksessa, mikä alentaa viljan kuivatuskuluja.

4.3.1 Aurinkokeräintyyppit

Esitellään seuraavana yleisimmät aurinkokeräintyyppit lyhyesti. Tasokeräin koostuu yleensä rungosta, eristekerroksesta, absorptiopinnasta ja lämmönsiirtoputkista. Jokaisessa lämmönsiirtoputkessa on lisäksi absorptiopintaa kasvattavat sivulevyt suurimman mahdollisen lämpöenergian imemiseksi. Lämmönsiirtoputkisto sekä sivulevyt ovat tasokeräimessä päällystetty lisäksi selektiivisellä pinnoitteella, jottei lämpöenergiaa pääse ulospäin. Lämmönsiirtoputkisto on sijoitettu koteloon, joka on päällystetty selektiivisellä erikoispinnoitetulla lasilla, sillä edellä mainittu lasityyppi läpäisee auringon säteilyn paremmin kuin normaali lasi. Tasokeräimen kehysmateriaalina käytetään useimmiten alumiinia. Alumiini takaa tasokeräimelle pitkän käyttöiän. Tasokeräinten lämpötilat nousevat auringon paistessa, joten ne täytyy eristää todella hyvin sijoitettaessa tasokeräimiä katoille tai tehtäessä niistä osa kattoa. Suuren vastaanottopintansa takia myös lämpöhäviö on tasokeräimellä suuri. Tasokeräimillä on korkea käyttövarmuus ja yksinkertaisen rakenteensa ansiosta ne tarvitsevat hyvin vähän huoltoa. Tasokeräimet täytyy suunnata etelään mahdollisimman suuren hyödynnettävyyden takia. (Komulainen 2006, 41–47)

Tyhjiöputkikeräin on toinen Suomessa yleisesti käytetyistä aurinkokeräinmalleista. Tyhjiöputkikeräimessä lämmönsiirtoputkisto on nimensä mukaisesti sijoitettu eristeenä toimivan tyhjiöksi imetyn lasiputken sisälle. Keräimissä käytetään joko yksinkertaisia tai kaksinkertaisia tyhjiöputkia. Yksinkertaisella rakenteella tarkoitetaan sitä, että absorptiolevy on tyhjiössä lasiputken sisällä. Kaksinkertaisessa rakenteessa tyhjiö on kahden lasiputken välissä ja absorptiopinta sijaitsee sisemmän lasiputken ulkopinnalla. Tyhjiöputken pinta on myös päällystetty selektiivisellä pinnoitteella, ja joidenkin valmistajien tyhjiöputkien alle on tehty heijastuspinta, joka mahdollistaa aurinkoenergian keräämisen suuremman hyödyntämisen. Heijastuspinta lisää putken absorboituvaa säteilyn määrää 25 %:lla. Tyhjiöputkikeräimillä voidaan hyödyntää myös hajasäteilyä pilvisellä säällä, eikä se ole yhtä riippuvainen säteilyn suunnasta kuin tasokeräin. Tyhjiöputkikeräinten muita etuja ovat helppo ja halpa asennus, pitkä käyttöikä ja korkea kustannustehokkuus sekä halvat huoltokustannukset. Konvektiosta aiheutuvat lämpöhäviöt saadaan poistettua tyhjiöputkikeräimestä miltei kokonaan poistamalla ilma kateosan ja absorptiopinnan välistä. Tällöin lämpöhäviötä aiheutuu ainoastaan johtumalla ja säteilemällä. (Komulainen 2006, 41–47)

5. AURINKOENERGIAN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET JA SOVELLUKSET

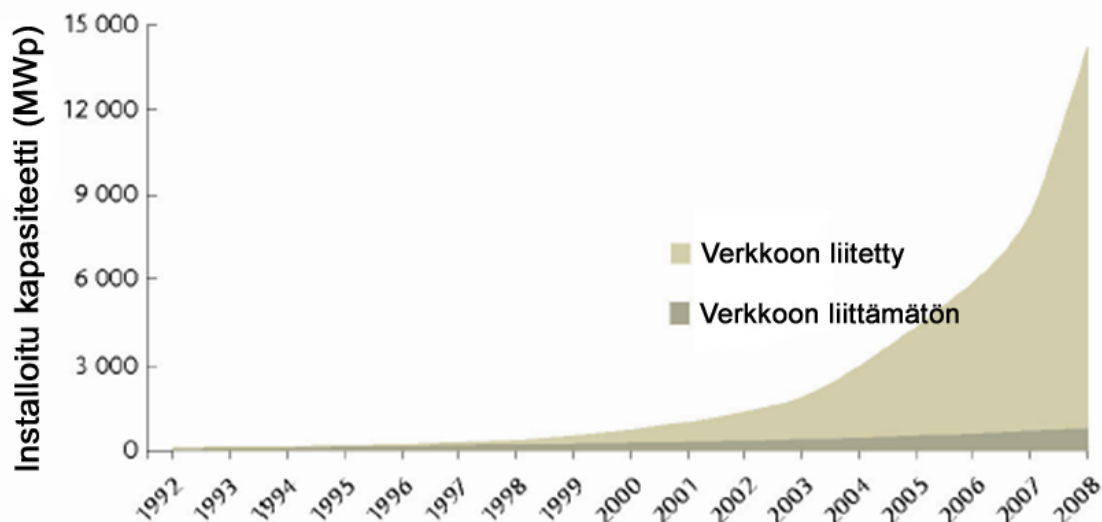
Maailmassa aurinkoenergialle kannattavinta aluetta ovat luonnollisesti päiväntasaajan alueella sijaitsevat maat, koska siellä ei ole juuri koskaan pilvistä päivää. Saksassa, Espanjassa, Portugalissa ja Japanissa aurinkosähköllä on jo merkittävä jalansija energian

tuotannossa. Saksaan, Espanjaan ja Portugaliin on rakennettu useita yli 20 MW:n aurinkosähköpuistoja. Espanjan Olmedillassa on 60 MW:n aurinkopuisto, joka tuottaa 85 GWh energiaa vuodessa. Se on eräs Euroopan suurimmista aurinkopuistoista. (Alanen et al. 2010, 9)

Ratkaisuksi Euroopan sähköntarpeeseen on esitetty nimenomaan aurinkosähköä lähitulevaisuudessa. Suunnitelmissa on Saharan autiomaan hyödyntäminen aurinkovoimaloilla siten, että koko Euroopassa tarvittavasta sähkömäärästä yksi kuudesosa saataisiin tulevaisuudessa pelkästään Saharassa sijaitsevien aurinkovoimaloiden avulla. Täten voimaloita tulisi rakentaa useita ja kustannukset kasvaisivat melkoisiksi. Fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu pienentää kustannuksia kuitenkin vuosi vuodelta. (Laatikainen 2007)

Aurinkosähköpaneelien verkkoonliitettävyydellä tarkoitetaan sitä, että aurinkosähköä voidaan käyttää omiin tarpeisiin tai voidaan myös käyttää aurinkosähköpaneelistoa voimalaitoksena, joka syöttää sähköä sähköverkkoon. Sähköverkosta saadaan täten ostetuksi tarvittava sähköteho, silloin kun aurinkoenergiaa ei ole saatavissa. Aurinkosähköpaneeli voidaan kytkeä sähköverkkoon vaihtosuuntaajan avulla. Verkkoon liittämättömiä järjestelmiä kutsutaan suljetuiksi järjestelmiksi.

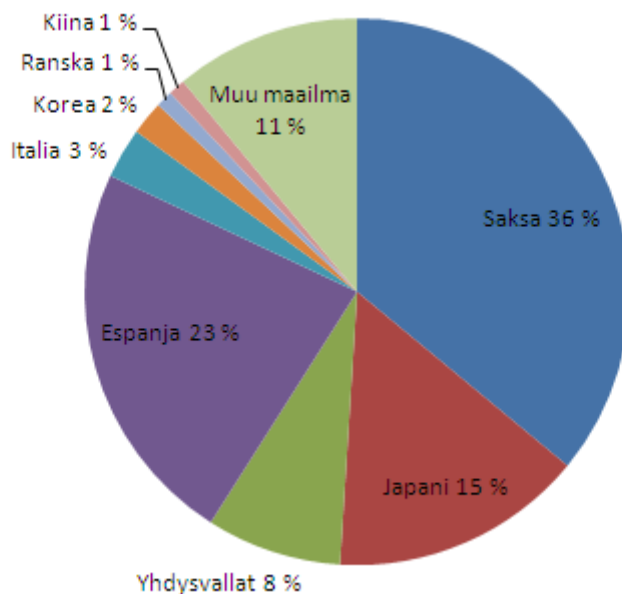
Nopeimmin kasvavat aurinkosähkön käyttösovellukset ovat sähköverkkoon kytketyt järjestelmät kotitalouksien ja toimistotalojen katoilla. Aurinkosähkön installoitu kapasiteetti koko maailmassa vuoteen 2008 asti on nähtävissä kuvasta 14. Kuva havainnollistaa verkkoon kytkettyjen ja verkkoon kytkemättömien järjestelmien kapasiteettiero.



Kuva 14. Aurinkosähkön installoitu kapasiteetti koko maailmassa. Kuvassa on eroteltu verkkoon kytketyt ja verkkoon kytkemättömät aurinkosähköljärjestelmät. (IEA 2010, 9)

Kuvasta 14 havaitaan, että vuosien 1992 ja 2008 välillä aurinkosähkön installoitu kapasiteetti on kasvanut tehosta 0,1 GW tasolle 14 GW. Tästä nähdään, kuinka paljon aurinkosähkön kysyntä on kasvanut viimeisimpien vuosien aikana. Ero vuosien 2007 ja vuoden 2008 välillä on noin 6 GW eli nyt huomataan installoidun kapasiteetin kasvun olleen erittäin voimakasta. (IEA 2010, 9–10)

Muutamit Euroopan maat ovat ottaneet käyttöön syöttötariffijärjestelmän edesauttamaan aurinkoenergian käytön leviämistä ja yleistymistä. Suomessa ei ole toistaiseksi käytössä syöttötariffijärjestelmää aurinkoenergiolle (Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 6 §). Syöttötariffilla tarkoitetaan järjestelmää, jossa energiayhtiöt maksavat yksityiselle sähköntuottajalle tuotetusta sähköstä takuuhinnan. Syöttötariffin ansiosta monissa maissa tuotetaan paljon sähköä auringon avulla. Aurinkoenergiolle myönnetään kuitenkin investointitukea Suomessa (Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista 4 §). Kuvaan 15 on eroteltu maailman aurinkosähkölkapasiteetin johtavien maiden osuudet koko aurinkosähkölkapasiteetista vuodelta 2008. (Fraas & Par-tain 2010, 488–489)



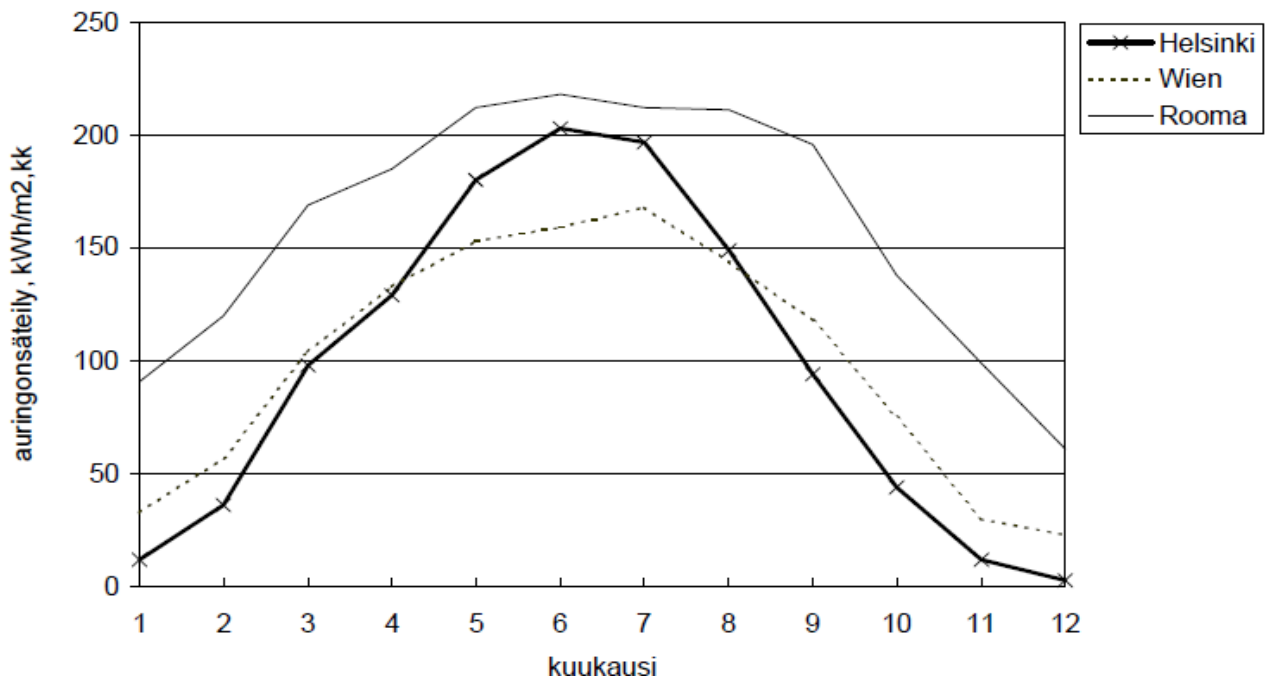
Kuva 15. Aurinkosähkön kapasiteetti suurimpien maiden osalta maailmassa vuodelta 2008. (IEA 2010, 10)

Kuvasta 15 nähdään, että Saksa on johtava maa maailman aurinkosähkön kapasiteetissa 36 %:n osuudella koko maailman aurinkosähkön tuotosta. Tämä lukema kertoo myös omalla tavallaan Suomen kaltaisen maan menestymismahdollisuuksista aurinkosähkön alalla sekä aurinkosähkön hyödynnettävyydestä Suomessa, koska Etelä-Suomessa on lähes yhtäläiset mahdollisuudet tuottaa aurinkosähköä kuin Pohjois-Saksassa. Espanjassa on erinomaiset olosuhteet hyödyntää aurinkosähköä maan eteläisen sijainnin vuoksi, mikä näkyy 23 %:n osuutena maailman aurinkosähkön tuotannosta. Teollisuusmaa Japani pitää kolmatta sijaa aurinkosähkön tuotannossa 15 %:n osuudella. Merkittävää on myös huomata Italian 3 %:n osuus, sillä siellä aurinkosähkön on yleistynyt lähes olemattomista luvuista muutamassa vuodessa merkittäviin ja näkyviin osuuksiin aurinkosähkön kapasiteetista. Mullistavan hyppäyksen odotetaan tapahtuvan lähivuosina aurinkosähkön alueella erityisesti Kiinassa. Tiedetään kuitenkin, että Kiina on tällä hetkellä maailman suurin aurinkosähköpaneelien tuottaja ja toimittaja, joten on vain ajan kysymys, kun kyseinen sähkön tuotantomuoto yleistyy myös siellä (Research and markets 2010).

5.1 Aurinkoenergia Suomessa

Suomessa ongelman aurinkosähkön menestymiselle muodostavat pimeät talvet, jolloin aurinko ei paista välillä päiväkausiin. Suomessa huonoa aikaa aurinkoenergialle on lokakuusta maaliskuuta. Pilvisyyden takia Suomessa suurimmat aurinkoenergian säteilyarvot saadaan

yleensä ennen kuin aurinko kohoaa korkeimpaan asemaansa, yleensä kesäkuun alkupuolella. Tämä on nähtävissä kuvasta 16. Päivittäiset säteilyn maksimiarvot saadaan myös pilvisyyden takia ennen keskipäivää. Auringonpaisteen suurin vuotuinen määrä saavutetaan Suomessa sen lounaisosissa, meri- ja rannikkoalueilla. Kilowattitunneiksi muutettuna Etelä-Suomessa saadaan auringon säteilyä keskimäärin vaakapinnalle vuodessa noin 1000 kWh/m^2 . Kuvassa 16 on esitetty kolmen kaupungin Wienin, Helsingin ja Rooman auringon säteily jokaiselle kuukaudelle, kun kyseessä on 30° kulmassa katon tasoon nähden oleva aurinkopaneeli. (Larjola et al. 2009)



Kuva 16. Auringon säteily kuukausittain 30° kulmassa katon tasoon nähden. (Alanen et al. 2010, 72)

Kuvasta 16 on nähtävissä se, että Helsingissä on kesäisin jopa paremmat mahdollisuudet aurinkosähkölle kuin Itävallassa. Suomessa kesän hyvä aurinkosähkön saatavuus johtuu siitä, että Suomessa kesäpäivät ovat paljon pidempiä kuin Keski-Euroopassa johtuen Suomen pohjoisesta sijainnista. On kuitenkin huomattava, että talvisin tilanne on taas parempi Wienissä, jolloin Suomessa päivä jää todella lyhyeksi. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että Suomessa aurinkosähkön ympärivuotinen hyödyntäminen on toistaiseksi vielä vaikeaa, sillä se edellyttäisi aurinkosähkön varastoimista kesästä talveen, sillä juuri talvella on Suomessa suurin sähkönkulutus. Roomassa on kuvan 16 perusteella paremmat edellytykset aurinkosähkön menestymiselle kuin Helsingissä ja Wienissä eikä teho menettäisi sydäntalvellaan kuten Helsingissä.

Edullisuuden tae aurinkoenergian käytössä on tilanne, jossa kaikki tuotettu aurinkosähkö kyetään käyttämään saman tien hyödyksi. Juuri tästä syystä aurinkosähkö ei vielä ole Suomessa yleistynyt yhtä huimaa vauhtia kuin Keski-Euroopassa. Suomessa aurinkokennoilla tuotettua sähköä jouduttaisiin varastoimaan akuilla pimeän ajan sähkönsaannin turvaamiseksi, mikä on toistaiseksi käytännössä lähes mahdotonta tai ainakin kustannukset nousisivat kestämättömiksi. Tästä johtuen Suomessa on lähes pakollista olla jokin muu energianmuoto varavoimanlähteenä aurinkosähkön rinnalla.

Suomessa aurinkosähköä käytetään lähinnä kesämökeillä. Usein kesämökit sijaitsevat kaukana tai hankalien sähkön kuljetusyhteyksien päässä, joten aurinkosähkö muodostaa erinomaisen ja usein myös halvimmän vaihtoehdon sähkön saantiin. Kaiken lisäksi kiinteistön arvo nousee, kun siihen asennetaan aurinkosähköjärjestelmä. Edellä mainitut sijoituskohteet ovatkin aurinkosähkön suurimmat markkina-alueet Suomessa. Niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa on paljon veneitä ja matkailuautoja, joihin aurinkosähkö sopii erinomaisesti. Koska energiantarve on kesämökeillä, veneissä ja asuntovaunuissa suurimmillaan juuri kesällä, jolloin aurinkosähköä on eniten saatavissa, muodostaa aurinkosähkö erinomaisen vaihtoehdon näiden kohteiden energian saannille. Aurinkopaneelit ovat yleisiä linkkiasemilla (sääasemat) sekä majakoissa. Aurinkopaneeleita on integroitu myös tuulivoimaloihin, mikä mahdollistaa sähkön tuoton erittäin laajasti. Myös moottoritien meluvalleihin on integroitu aurinkopaneeleita. (Alanen et al. 2010, 9–13)

Vertailtaessa aurinkolämmitysjärjestelmää aurinkosähköjärjestelmään huomataan niiden olevan kaksi täysin eri järjestelmää, vaikka keräinten ja kennojen kytkennät ja suuntaukset ovatkin samankaltaisia. Aurinkolämmitysjärjestelmässä pyritään lämmittämään keräimessä olevaa nestettä, kun aurinkosähköjärjestelmästä saadaan suoraan tasavirtaa.

Vuoteen 2050 mennessä Suomeen on suunniteltu saatavan aurinkoenergian avulla 36 PJ vuodessa aurinkolämpöä. Wattitunneiksi muutettuna määrä vastaa 10 TWh vuodessa. Vuonna 2050 aurinkosähköä pyritään saamaan 3 TWh. Suunnitelmissa on saavuttaa 1 TWh määrä aurinkosähköä vuoteen 2025 mennessä. (VTT 2003, 103–104)

Suomeen rakennettiin hiljattain Pohjoismaiden toistaiseksi suurin aurinkovoimala. Se sijaitsee Helsingin Pitäjämäessä ABB:n taajuusmuuntajatehtaan katolla. Voimalassa on kaiken kaikkiaan 870 aurinkokennoa, paneeliston kokonaisteho on 180,9 kW_n ja se tuottaa vuosittain 160 MWh sähköä. Voimala aloitti sähkön tuotantonsa vuoden 2010 kesäkuussa. (Aurinkoteknillinen yhdistys Soleco Oy)

5.2 Aurinkopaneelin hankinta ja asennus

Tarkastellaan seuraavana lyhyesti aurinkopaneelin asennusta ja hankintaa. Suljettuja aurinkosähköjärjestelmiä esiintyy yleensä kesämökeillä, koska ne sijaitsevat monesti alueella, jonne verkkosähkön saanti voi olla hyvin kallista. Tärkeintä on arvioida kohteen sähkönkulutus, jotta tiedetään, millainen järjestelmä tulisi hankkia. Seuraavaksi kannattaa selvittää, mitä hankittavaan pakettiin kuuluu. Peruseriaatteena on se, että pakettiin kuuluvat yleensä aurinkopaneeli, akku, säädin, akkukaapeli ja tarvittavat asennusjohdot. Joihinkin paketteihin kuuluu lisäksi sulakkeita, valaisimia, pistorasioita, kytkimiä ja jakorasioita. Yleensä akku, joka tulee paketissa, on 12 V:n lyijyakku. Järjestelmä vaatii erikoispistorasiat. Suurimmat kustannukset aurinkosähköjärjestelmässä menevät hyvän ja laadukkaan akun hankintaan ja huoltoihin. Järjestelmille myönnettävät takuut vaihtelevat, joten on hyvä selvittää myös takuuajan suuruus hankintahetkellä. Myös järjestelmän laajennettavuus kannattaa selvittää aurinkosähköjärjestelmää hankittaessa, jotta mahdolliset lisäinvestoinnit ovat mahdollisia. On myös kehitelty erikseen tehokkaita ja sähköä vähemmän kuluttavia laitteita, joten yksittäisten kotitalouksien kannattaa valita sellaisia aurinkosähköjärjestelmää käytettäessä. Aurinkosähköjärjestelmän voi tietenkin asentaa myös asuintaloon, jolloin se voidaan liittää sähköverkkoon, ja näin ollen akustoa ei tarvita, koska aurinkopaneelista saatava tasasähkö muutetaan vaihtosähköksi vaihtosuuntaajan avulla ja syötetään suoraan kiinteistön sähköverkkoon. Ylimääräinen sähkö ohjataan yleiseen jakeluverkkoon, ja näin saadaan sähköä myös silloin, kun paneelit eivät sitä tuota. (Aurinkosähkö.fi 2009)

Aurinkopaneelien asennuksessa tulee muistaa mahdollisimman lyhyet johdot akkujen ja paneelien välillä mahdollisimman häviöttömän järjestelmän saamiseksi. Kaikki kytkennät täytyy myös tehdä oikein suurimman hyödyn saamiseksi. Tavallisimpia ja kustannustehokkaimpia aurinkopaneelin sijoituspaikkoja ovat rakennusten katot ja ulkoseinät. Jos mahdollista, kannattaa integroida aurinkopaneeli osaksi kattoa, seinää, parvekettä tai jotakin muuta ulkonemaa talossa jo rakennusvaiheessa, jotta säästyään ylimääräisiltä rakennuskuluilta. Aurinkopaneeli voidaan kiinnittää rakennukseen myös pinta-asennuksena rakennusvaiheen jälkeen.

Aurinkopaneelia katolle asennettaessa tulee muistaa, että kannattavinta se on suunnata etelään 45° korotuskulmassa. Talvisin tosin kulmaa tulisi muuttaa noin 60°:een, ehkä jopa suuremmaksikin, auringon radan korkeuden mukaan. Aurinkopaneelin voi myös asentaa savupiipun reunaan, sillä noki ei juuri tartu aurinkopaneelin pintaan. Aurinkopaneeli tulee pyyhkiä keväisin, koska aurinkopaneeli saattaa kerätä siitepölyä jonkin verran pintaansa.

Asennuksessa tulee muistaa, ettei aurinkopaneelin eteen jää lipputankoa tai puiden oksia, jotta saadaan aurinkosähköpaneelistä maksimaalinen hyöty irti. (Aurinkosähkö.fi 2009)

Aurinkopaneelit voidaan myös varustaa aurinkoseuraajalla, jolla tarkoitetaan sitä, että aurinkoseuraaja kääntää aurinkopaneelin automaattisesti kohti aurinkoa. Tämä mahdollistaa parhaan kulman jatkuvan ylläpitämisen aurinkoon, ja auringosta saadaan koko ajan sähköä parhaalla mahdollisella hyötysuhteella. Tyypillisesti aurinkoseuraajalla saadaan paneelin energian tuotantoa kasvatettua 25–40 %. (Fraas & Partain 2010, 207–217)

Aurinkosähköpaneelin yhteyteen olisi hyvä asettaa myös mittauslaitteisto, joka tarkistaa järjestelmän toimivuuden. Jos järjestelmään tulee jokin vika, joka heikentää sen tehokkuutta merkittävästi, on tämä heti nähtävissä mittausdatasta. Mittauslaitteistolla on taloudellistakin hyötyä, koska jos syötetään takaisin tuotettua sähköä sähköverkkoon, voidaan siitä saada korvaus jakeluverkon haltijalta. Mittauslaitteistoon kuuluu tehomittareita, informaattoreita ja datayksiköitä. (Schneider 2009, 22)

5.3 Aurinkosähkötekniikan sovelluksia

Aurinkosähkötekniikkaa käytetään jo nykyäänkin monissa sovelluksissa. Tarkastellaan hieman, missä kohteissa sitä on jo hyödynnetty. Kaikkia mainittuja kohteita käytetään siten, että niitä ei tarvitse kytkeä sähköverkkoon.

5.3.1 Sisätilojen sovelluksia

Esitellään seuraavassa muutamia erityisesti sisätiloissa käytettäviä sovelluksia, joissa käytetään aurinkosähkötekniikkaa. Kannettavalle tietokoneelle on saatavana kantolaukkuja, joihin on integroitu pieniä, kevyitä ja kestäviä aurinkopaneeleja. Näin voidaan ladata tietokoneen akkua auringon avulla. Samalla periaatteella toimivia reppuja on myös alettu myymään. Näin puhelimen tai mp3-soittimen lataus käy melko vaivattomasti. Tällaisten laukujen ja reppujen hinnat pyörivät 150–500 euron välillä eli ne ovat vielä melko kalliita.

Aurinkokennojen avulla toimivia taskulaskimia on ollut markkinoilla jo pitkään. Aurinkosähköllä toimivia tuulettimia ja pumppujakin on ollut saatavissa jo jonkin aikaa. Laskimissa, tuulettimissa ja pumppuissa, jotka toimivat aurinkosähköllä, ei tarvita akkuja, sillä niiden käyttäminen ei sitä edellytä. Laskimet toimivat huoneen valossa niin kauan, kuin vain on valoa lukea laskimen näytöltä numeroita. Laskimissa on yleensä käytetty neljää hyvin pientä amorfisesta piistä valmistettua kennoa. Kennoston koko on yleensä pienempi kuin $1 \times 4 \text{ cm}^2$. Aurinkosähköllä toimiva tuuletin toimii periaatteessa aina, koska kun tuule-

tinta tarvitaan, yleensä paistaa aina aurinko ja on kuuma. Tämän takia tuuletusjärjestelmät ja aurinkosähkö sopivat hyvin yhteen, ja juuri siinä on loistava markkinasegmentti aurinkosähkölle. Monia pumppujakaan ei välttämättä esimerkiksi kasvimaan kastelussa tarvitse silloin, kun aurinko ei paista.

Aurinkosähköä hyödynnetään laajasti myös esimerkiksi rannekelloissa. On erittäin käytännöllistä, että kello toimii valolla, jottei pattereita kulu. Aurinkokelloja tuotetaan erittäin laajasti maailmassa ja niihin on kehitetty oma pyöreän muotoinen aurinkokenno kellon muodon vuoksi. Aurinkokelloissa, kuten taskulaskimissa, käytetään amorfista piitä sen takia, että amorfinen pii soveltuu paremmin muunkin kuin auringon valon hyödyntämiseen.

Nykyään myös monissa latauslaitteissa käytetään aurinkosähkötekniikkaa hyödyksi. Tämä on erittäin käytännöllistä, sillä monissa perheissä varsinkin lapset kuluttavat pattereita todella paljon esimerkiksi pelatessaan tai musiikkia kuunnellessaan. Aurinkosähköllä toimiviin latauslaitteisiin on kehitetty omat erikoispatterinsa, joita voi ladata yhä uudelleen ja uudelleen. Paras sijoituspaikka tällaiselle aurinkosähköllä toimivalle laturille on välitön ikkunoiden läheisyys, jotta laturi saa maksimaalisen auringon valon määrän, ja jotta patterin lataus kävisi nopeammin.

Aurinkosähköä käytetään myös esimerkiksi digitaalisissa vaaioissa, lämpömittareissa tai muissa mittareissa, monissa leluissa, ilmanraikastimissa, palovaroittimissa, toimistotarvikkeissa sekä kauppojen mainos- ja valotauluissa.

(Markwart & Castaner 2003, 771–789)

5.3.2 Ulkona käytettävät sovellukset

Suomalaiset pitävät valosta pimeinä syysiltoina ja talvisin. Monet ulkovalaisimet vaatisivat pitkien sähköjohtojen vetämistä pitkin pihvoja. Aurinkosähköllä toimivat valaisimet muodostavat ratkaisun johto-ongelmaan. Uudet Led-valaisimet antavat todella voimakasta valoa ja kuluttavat vähän tehoa. Aurinkosähköllä toimivissa valaisimissa on ladattava akku, jotta energiaa voidaan kerätä ja säilyttää päivän aikana sekä käyttää iltaisin. Monissa valaisimissa on myös järjestelmä, joka kytkee ne automaattisesti käyttöön heti, kun on pimeää. Valaisimia valmistetaan moneen eri tarkoitukseen: alueiden valaisuun, koristevaloina, merkkivaloina sekä turva – ja huomiovaloina. (Markwart & Castaner 2003, 771–789)

Auringon valoa hyödynnetään myös veden kanssa. Esimerkiksi suihkulähteissä, jotka lähtevät heti käyntiin, kun aurinko alkaa paistaa, käytetään niin sanottua aurinkopumppua.

Tällaiset suihkulähteet ovat yleistyneet sisäpihoilla ja parvekkeilla viime aikoina. Myös vedessä kelluvia aurinkosähkövaloja on kehitetty. Aurinkosähköä sovelletaan lähes kaiken, ja tämän johdosta uusia keksintöjä, johon käytetään aurinkoa, kehitetään koko ajan kovalla kiireellä. Myös aurinkosähköllä toimivia ruohonleikkureita on kehitetty. (Markwart & Castaner 2003, 771–789)

5.3.3 Muut sovellukset

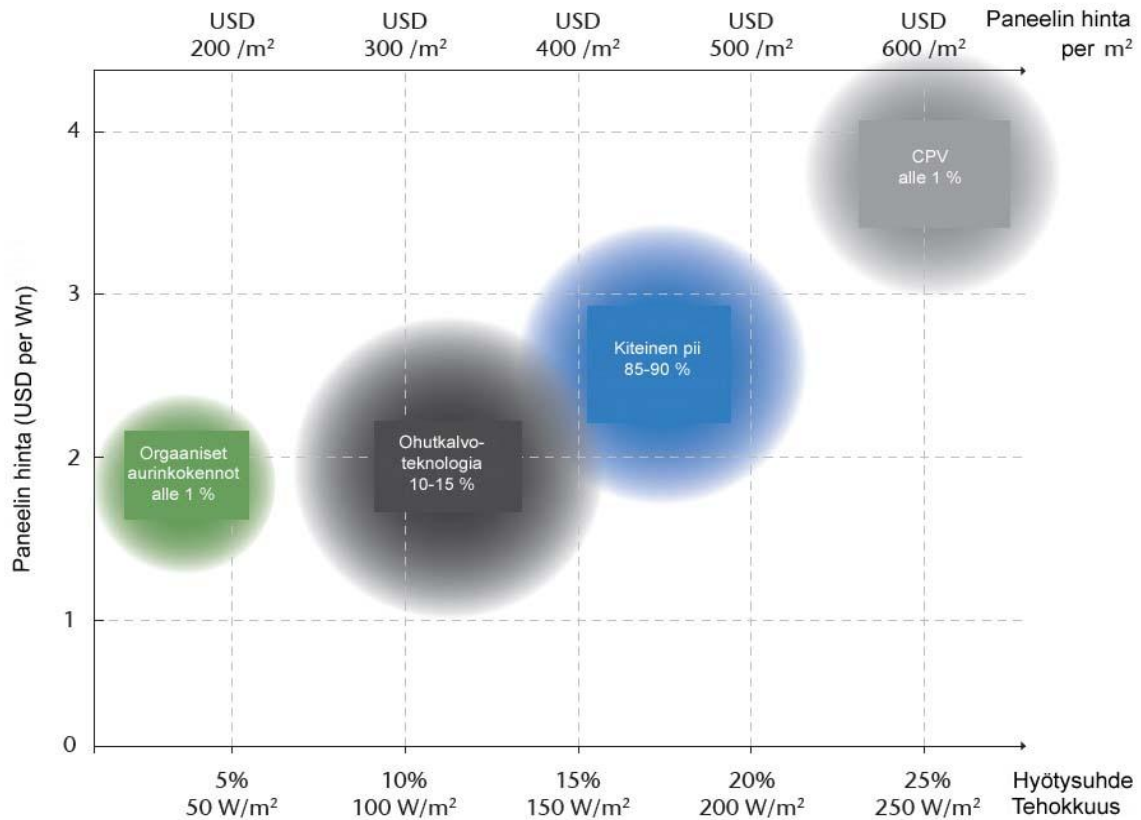
Aurinkosähköä käytetään laajasti myös esimerkiksi kotitalouksissa. Aurinkosähköllä esiintyviä lyhtyjä ja soihtuja on markkinoilla laajalti. Nykyään on saatavilla aurinkosähköllä toimivia jäähdytysjärjestelmiä niin kotitalouksien kuin lääketieteenkin käyttöön. Koulutus- ja vapaa-ajankäyttöön on myös kehitetty aurinkosähköllä toimivia televisioita. Muitakin vapaa-ajan laitteita on nykyään saatavina aurinkosähköistettyinä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi radiot, kännykät ja kannettavat tietokoneet.

Aurinkosähkötekniikkaa sovelletaan laajasti myös autoissa, asuntovaunuissa ja veneissä. Parkkimittarit toimivat myös nykyisin joissain kaupungeissa aurinkosähköllä, sillä parkkiaikaa tarvitsee ostaa vain valoisan aikaan, joten mittareita ei tarvita öisin tai pimeään aikaan.

Huomataan, että aurinkosähkö on mukana jokapäiväisessä elämässämme ja käyttämismme laitteissa. Tästä voidaan vetää johtopäätös siitä, että vain ihmisen oma mielikuvitus on rajana aurinkosähkötekniikan kehittymiselle eri sovelluksissa.

5.4 Aurinkopaneelin hinnat ja markkinat

Aurinkosähköjärjestelmien hankinta on yleistynyt valtavasti, tuotantokustannusten ja hankintakustannusten välistä kuilua on saatu tasoitettua melkoisesti. Yhä useampi kuluttaja hankkii nykyään aurinkosähköpaneelin omakotitaloonsa jonkun muun energian hankintamuodon tueksi. Järjestelmän itsensä takaisinmaksuaika on lyhentynyt useista vuosista kahteen tai kolmeen vuoteen riippuen tietenkin järjestelmän koosta. Kuvassa 17 on nähtävissä eri aurinkokennoista valmistettujen paneelien hintoja, hyötysuhteita ja tehokkuuksia.



Kuva 17. Aurinkopaneelin hintatarkastelu. Pystyakselilla on paneelin hinta dollareina nimellisteho kohden. Vaaka-akselilla ylhäällä on paneelin hinta dollareina neliometriä kohden ja alhaalla teho neliometriä kohden sekä paneelin hyötysuhde. Kuvaan on merkitty myös kennotyyppien yleisyys tällä hetkellä. (CPV, Concentrating Photo Voltaic) (Muokattu lähteestä IEA 2010, 8)

Kuvasta 17 huomataan, että tällä hetkellä paras hinta-laatusuhde on kiteisellä piillä, sillä sen hyötysuhteet ovat likimain 20 %:ssa ja hinta 400–500 dollaria neliometriltä kuulostaa kohtuulliselta laatuun nähden. Ohutkalvoteknologian aurinkopaneelit ovat halvempia kuin kiteisestä piistä valmistetut aurinkopaneelit, johtuen niiden helposta tuotannosta. Niiden tehokkuus ja hyötysuhde ovat kuitenkin kuvan 17 mukaan huonompia. Silti aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat vielä nykypäivänä suhteellisen korkeita, sillä kuvassa on esitettyä vasta pelkän paneelin hinta. Lataussäädin ja akku lisäävät järjestelmän kustannuksia tuntuvasti, koska ne ovat järjestelmän eniten huoltoa vaativat ja kalleimmat komponentit.

5.5 Aurinkosähkön tulevaisuus

Aurinkosähkön arvioidaan tuottavan tulevaisuudessa suunnilleen saman verran työpaikkoja Suomessa kuin metsäteollisuus tuottaa nykyisin. Aurinkosähköstä on tullut maailman nopeimmin kasvava energiateknologian alue, ja siihen investoitiin viime vuonna 50 miljard-

dia euroa. Aurinkosähkön markkinat kasvavat noin 40 % vuodessa, ja aurinkopaneelien hinnat putoavat ja niiden laatu paranee. (YLE 2010)

Tulevaisuudessa aurinkosähkön suurin huomio kohdistuu niin sanotun kolmannen sukupolven aurinkokennoihin eli nanoteknologiaan ja väriaineaurinkokennoihin. Niiden massa-tuotanto pyritään saamaan käyntiin kalliin piiaurinkokennon rinnalle. Kuitenkin tulevaisuudessa riittää vielä suuria haasteita, sillä kennon hyötysuhde on saatava nostettua samaan tasoon kuin piistä valmistetuilla aurinkokennoilla, kenno on saatava skaalattua suurempaan kokoon sekä väriaine kennon pinnalla on saatava kestämään nykyistä kauemmin.

Aurinkosähkön uusimpia sovelluskohteita ovat aurinkokennoilla päällystetyt sähköä tuottavat ikkunalasit. Niiden laajamittainen tuotanto on jo aloitettu Yhdysvalloissa (Markwart & Castaner 2003, 771–789). Myös sähköauto tarjoaa oivan mahdollisuuden aurinkosähkön sovelluksille. Suomi onkin eräs maailman suurimmista osajista juuri sähköautojen tuotekehityksessä ja suunnittelussa. Sähköauton kattoon pyritään asettamaan aurinkokennoja, jotta auto voisi ladata akkuja. Maailmalla on jo varsin yleistä se, että autotalliin katot on päällystetty aurinkopaneeleilla, jolloin virtaa saadaan nollapäästöillä. Tulevaisuuden tavoitteena on saada tuotettua sähköauton tarvitsema sähkö kokonaan uusiutuvilla energianlähteillä. Tähän tarkoitukseen aurinkosähkö soveltuu erinomaisesti.

Muita sovelluksia tulevaisuudessa ovat mm. matkustajakoneiden lentoliikenteen päästötömyys aurinkoenergian avulla. Sveitsissä on jo lennetty kokonainen vuorokausi pienkoneella aurinkoenergian avulla, joten tuskin on täydellinen mahdottomuus saada lentoliikennettä toimimaan auringon avulla. (wired.com, 2009)

Parannukset LED-tekniikan tehokkuudessa ovat jo aiheuttaneet nykypäivänä valtavan nousun aurinkosähköllä toimivien valojen markkinoilla. Tällä alueella on kuitenkin vielä tulevaisuudessa tilaa laajentua ja parantua, joten tuotekehitys jatkuu tulevaisuudessakin. (Markwart & Castaner 2003, 771–789)

Kenties kuitenkin kaikkein tärkein ja suurin alue, johon aurinkosähkötieteessä keskitytään lähitulevaisuudessa, on energian varastointi. Energiaa pystytään jo nyt varastoitmaan, mutta akkujen kapasiteetit eivät itsepurkaustasot ole vielä läheskään sellaisia kuin niiden tulisi olla todella massiivista ja pitkäaikaista varastointia silmälläpitäen. Akkuja tulisi kehittää kestävimiksi, halvemmiksi ja ennen kaikkea pienikokoisemmiksi sekä turvallisemmiksi. Sähköauton käyttöön ottaminen laajasti vaatii todella tehokkaat akut. Aurin-

kosähkö ja akut yhdessä integroituna sähköautoon muodostavat haasteen tulevaisuudessa sähköinsinööreille.

Aurinkosähköä tukee myös ajatus siitä, että se ei tuota lainkaan päästöjä käytön aikana. Ainoat päästöt, mitkä aurinkosähköön liittyvät aiheutuvat aurinkokennojen ja -paneelien valmistuksesta. Riskin muodostavat myrkylliset metallit ja kemikaalit, joita paneeleja valmistessa käytetään. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi kadmium, fluori ja kloori. (Solpros 2001, 18)

6. YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena on ollut selvittää, mitä erilaisia tekniikoita aurinkoenergian hyödyntämiseksi on olemassa. Työssä keskityttiin lähinnä aurinkosähkötekniikan tämän hetken suorituskyvyn tutkimiseen, olemassa olevien laitteiden ja kennojen tarkasteluun sekä sovelluksiin ja tulevaisuuden näkymiin. Tarkoituksena oli myös selvittää aurinkosähkön käyttö- ja hyödyntämismahdollisuuksia Suomessa.

Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että aurinkosähköllä ja aurinkolämmöllä on valtavasti kehityspotentiaalia ympäri maailman ja myös Suomessa. Aurinkosähkölaitteiden kaiken aikaa parantuva tehokkuus, alenevat tuotantokustannukset ja uusien materiaalien käyttö tuotekehityksessä aiheuttavat väijäämättä sen, että maailman nopeimmin kasvava energiamuoto lunastaa sille asetetut lupaukset. Viime vuodet ovat osoittaneet, että aurinkoenergia yleistyy kovaa vauhtia ja tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä kasvun kiihtyvän seuraavien vuosikymmenten aikana edelleen merkittävästi. Suomessa syöttötariffin hyväksyminen aurinkoenergialle olisi suuri askel tämän energian tuotantomuodon yleistymiselle. Aurinkosähkötekniikan yleistymisen suurena haasteena on se, että energian varastonnissa käytettävien akkujen tuotekehitykseen tulee panostaa paremman varastointitehokkuuden ja turvallisuuden saavuttamiseksi. Energiaa pystytään jo nyt varastoimaan, mutta akkujen kapasiteetti ei ole vielä läheskään sellainen kuin sen tulisi olla.

Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että suuren yleisön tietoutta aurinkoenergiasta tulisi lisätä Suomessa. Kouluihin tulisi järjestää opetusta alaan liittyen, jotta saataisiin yleinen uskomus aurinkoenergian tehottomuudesta häviämään. Työlle mahdollisena jatkotutkimuskohteena sopisi aurinkolämmön tutkiminen laajemmin. Insinöörien mielikuvitus on vain rajana aurinkoenergian sovelluksille.

LÄHTEET

- Aaltoyliopisto 2010 Väriaineaurinkokennotutkimusta myös aaltoyliopistossa. [verkkodokumentti]. [viitattu 1.11.2010]. Saatavilla http://www.tkk.fi/fi/ajankohtaista/uutiset/view/variaineaurinkokennotutkimusta_aalto-yliopistossa/
- Aarnio, P. Aurinkosähköteknologiat. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.12.2010]. Saatavilla <http://www.tkk.fi/Units/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>
- AG, Q-Cells. Q6LEP3 Product Specification. [verkkodokumentti]. [viitattu 18.10.2010]. Saatavilla Aurinkosähkö.fi. 2009. Järjestelmän valinta. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.2.2011]. Saatavilla <http://www.aurinkosähkö.fi/>
- Aurinkoteknillinen yhdistys ry. 2004. Aurinko-opas. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.10.2010]. Saatavilla <http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/opas/>
- Aurinkoteknillinen yhdistys Soleco Oy. Aurinkoenergian sovelluksia Suomessa. Seminaari 2010. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.1.2011]. Saatavilla <http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/aty2.pdf>
- European Commission. 2009. Photovoltaic solar energy: development and current research. 1.painos, ISBN 978-92-79- 10644-6, Belgia
Fraas, L. Partain, L. Solar cells and their applications. 2010. ISBN 978-0-470-44633-1 Wiley, cop. 2. painos
http://www.q-cells.com/medien/produkte_services/solarzellen/q6lep3/datenblatt_q6lep3.pdf.
- International Energy Agency. 2010. Technology Roadmap: Concentrating Solar Power. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.10.2010]. Saatavilla http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf
- International Energy Agency. 2010. Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy...[verkkodokumentti]. [viitattu 21.10.2010]. Saatavilla http://www.iea.org/papers/2010/pv_roadmap.pdf
- Komulainen, K. 2006. Aurinkolämpö – teknologia ja mahdollisuudet. [verkkodokumentti]. [viitattu 28.11.2010]. Saatavilla https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/8952/URN_NBN_fi_jyu-2006303.pdf?sequence=1
- Laatikainen, T. 2007. Saharan aurinkosähköä virtaa Eurooppaan jo 2020. Tekniikka & Talous. 21.12.2007
- Laki uusiutuvilla tuotetun sähkön tuotantotuesta. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.3.2011]. Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101396?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=uusiutu%2A>
- Larjola, J. Punnonen, P. Röyttä, P. 2009 kurssin Uusiutuva energia luentomoniste Markwart Tom, Castaner Luis. Practical handbook of photovoltaics fundamentals and applications. 1. painos. ISBN 1856173909,2003,p. 587-631
- Meteorological reactors. Solar Updraft Power. 2010. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.10.2010]. Saatavilla <http://www.solar-chimney.biz/solar-updraft-tower.php>
- Opetushallitus. Aurinkoenergia kysymykset ja vastaukset. [verkkodokumentti]. [Viitattu 18.11.2010] Saatavilla

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/aurinko/aurinkosahko_ja_kennot/aurinkosahkon_toimintaperiaate/index.html

Physorg. 2009. Liquid Battery Offers Promising Solar Energy Storage technique. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.1.2011]. Saatavilla <http://www.physorg.com/news155569564.html>

Research and markets. 2010. 2010 Deep Research Report on China Solar Power System RETscreen. Minister of Natural Resources Canada. 2006. [verkkodokumentti]. [viitattu 13.12.2010].

Saatavilla www.retscreen.net/download.php/fi/780/.../Course_swh_fi.ppt
Scheider Tom. Aurinkosähköjärjestelmien tuottaman tasavirran käyttö toimistorakennusten LED-valaistusjärjestelmissä. 2009. [verkkodokumentti]. [viitattu 1.10.2010] Saatavilla

<http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100106.pdf>

Solar Cells. The History Highlight of Solar Cells. [verkkodokumentti]. [viitattu 17.1.2011]. Saatavilla <http://org.ntnu.no/solarcells/pages/history.php>

Solpros. 2001. Aurinkoenergia suomen olosuhteisissa ja sen potentiaali ilmastomuutoksen torjunnassa [verkkodokumentti]. [viitattu 11.10.2010]. Saatavilla http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF

TEK. Tekniikan akateemisten jäsenlehti 2011. Valo korvasi kuumuuden ja kemikaalit.

Tekniikka & Talous. 2007. Orgaaniset aurinkokennot kiinnostavat tutkijoita. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.2.2011]. Saatavilla <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article25929.ece>

Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.3.2011]. Saatavilla

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020625?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=aurin%2A>

wired.com. 2009. Solar Airplane debuts before 'Round-the-World' Flight. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.2.2011]. Saatavilla <http://www.wired.com/autopia/2009/06/solar-impulse/>

Vogel Werner, Kalb Henry. Large-scale solar thermal power: technologies, costs and development VTT, Energy visions 2030 for Finland 3. painos. ISBN 951-37-3596-6 Edita Prima Ltd. Helsinki, 2003
VTT. 1999. Energia Suomessa: Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. 1. painos ISBN 951-37-2745-9. Oy Edita Ab. Helsinki.

VTT. Alanen, R. Heimonen, I. Hänninen, S. Lahti, P. Pihala, H. Sipilä, K. Aurinkosähkön mahdollisuudet Helsingin Östersundomin alueella [verkkodokumentti]. [viitattu 12.11.2010]. Saatavilla http://www.hel2.fi/ksv/julkaisut/yos_2011-12.pdf

YLE. 2010. Ala-Mettälä, H. Aurinkokennoilla paljon sovellusmahdollisuuksia [verkkodokumentti]. [viitattu 12.2.2011]. Saatavilla

http://yle.fi/uutiset/kotimaa/2010/06/aurinkokennoilla_paljon_sovellusmahdollisuuksia_1769501.htm