Joustavat aurinkopaneelit ja niiden käyttömahdollisuudet

Flexible solar panels and their possible applications

Taru Salmi

Kandidaatintyö
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

5.1.2023

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Taru Salmi
Joustavat aurinkopaneelit ja niiden käyttömahdollisuudet
2023

Kandidaatintyö.
21 s.
Tarkastaja: Juha Pyrhönen
Ohjaaja: Juha Pyrhönen

Tämä kandidaatintyö on kirjallisuuskatsaus joustavien aurinkopaneeleiden toimintaperiaatteista sekä käyttömahdollisuuksista. Työn tavoitteena on tarkastella joustavien aurinkopaneelien toimintaa, kehitystä sekä käyttömahdollisuuksia nyt ja tulevaisuudessa. Keskeistä kandidaatintyön suorittamisessa oli löytää luotettavia informaation lähteitä internetistä sekä kirjallisuudesta.

Kun joustavalle pohjamateriaalille lisätään ohuita kerroksia valoherkkää ainetta, saadaan joustavia aurinkopaneeleita. Mekaanista rasitusta kestävien ominaisuuksiensa avulla niitä voidaan asentaa paikkoihin, joihin perinteiset moni- ja yksikide aurinkopaneelit eivät sovellu. Joustavat aurinkopaneelit ovat kestäviä, joustavia sekä kevyitä.

Joustavia aurinkopaneeleita on käytössä maailmalla eri sovellutuksissa, mutta ne ovat vielä tutkimus- ja kehitysvaiheessa. Paneeleita hyödynnetään tällä hetkellä esimerkiksi kulkuneuvoissa veneiden purjeissa sekä autojen konepelleillä, jolloin ne vähentävät niiden verkkovirrasta saatavan sähkön tarvetta.

Joustavien aurinkopaneeleiden hyötysuhteen kehittäminen perinteisten aurinkopaneeleiden hyötysuhdetta paremmaksi johtaa tulevaisuudessa suurempaan kannattavuuteen, ja näin ollen niiden suurempaan käyttöasteeseen maailmalla. Massachusetts institute of technology (MIT) on saavuttanut tutkimuksillaan suurta kehitystä hyötysuhteen parantamiseksi. Heidän kehittämillään tulostettavilla paneeleilla voidaan tulevaisuudessa ratkaista sähkönpuutetta suuremmallakin mittakaavalla.

Paneeleilla voidaan tulevaisuudessa päällystää asioita ja lisätä paneeleita esimerkiksi kankaisiin. Vaatteisiin lisätyt paneelit toimisivat lisävirranlähteenä elektroniikalle retkeillessä. Luonnonkatastrofin sattuessa joustavilla aurinkopaneeleilla päällystetyt kriisiteltat tuovat turvaa ihmisille, mutta luovat myös aurinkosähköä verkkovirran puuttuessa.

Joustavat aurinkopaneelit ovat keskeinen osa tulevaisuuden aurinkoenergian tuotantoa perinteisten aurinkopaneeleiden rinnalla. Tulevaisuudessa joustavia aurinkopaneeleita voidaan käyttää aurinkosähkön tuotantolaitoksissa haastavammissakin maastoissa, kuten vuoristoilla.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Electrical Engineering

Taru Salmi
Flexible solar panels and possible applications
2023

Bachelor's Thesis.
21 p.
Examiner: Juha Pyrhönen

This bachelor's thesis is a literature review of the operating principles and application possibilities of flexible solar panels. The aim of the work is to examine the function, development, and application possibilities of flexible solar panels now and in the future. Finding reliable sources of information on the internet and in literature was central to completing this bachelor's thesis.

Flexible solar panels are made when thin layers of light-sensitive material are applied to a flexible base material. Because they can withstand mechanical stress, they can be installed in places where traditional solar panels are not suitable. Flexible solar panels are durable, flexible, and light.

Flexible solar panels are used in various applications around the world, but they are still in a research and development phase. The panels are currently used in vehicles including sales of boats and the hoods of cars, where they reduce the vehicles need for electricity from the grid.

The efficiency of flexible solar panels needs development to be better than the efficiency of traditional solar panels. Better efficiency of flexible solar panels will lead to greater profitability in the future, and thus to a better usage percentage in the world. The Massachusetts Institute of Technology (MIT) has achieved great progress with its research to improve efficiency. With the printable panels they developed, the electricity shortage can be solved on a larger scale in the future.

In the future, the panels can be used to cover things and add them to canvases. The panels added to the clothes would serve as an additional power source for electronics when hiking. In the event of a natural disaster, crisis tents covered with flexible solar panels provide safety for people, but also generate solar electricity in the absence of the electrical grid.

Flexible solar panels are a key part of future solar energy production alongside traditional solar panels. In the future, flexible solar panels can be used in production facilities in even more challenging terrains, such as mountains.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä
Abstract
Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1. Johdanto 5
   1.1 Tausta 5
   1.2 Tavoitteet 5
   1.3 Työn rakenne 6
2. Aurinkopaneelien toiminta 6
   2.1 Perinteiset aurinkopaneelit 6
   2.2 Osittain joustavat aurinkopaneelit 9
   2.3 Ohutkalvoteknologia 10
      2.3.1 Joustavat aurinkopaneelit 10
3. Tutkimustulokset ja käyttökohteet 11
   3.1 Kulkuneuvot 11
      3.1.1 Veneet 11
      3.1.2 Autot 12
      3.1.3 Ilma-alus 13
   3.2 Sisustus 14
   3.3 Vaatteet 16
4. Joustavien aurinkopaneeleiden tulevaisuus 17
5. Yhteenveto 20
LÄHTEET 21

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

VTT	Teknologian tutkimuskeskus
NREL	National Renewable Energy Laboratory
MIT	Massachusetts institute of technology
TUIT	Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al Khwarizmi

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Sähkön tarve kasvaa maailmassa jatkuvasti teknologian kehittyessä ja yhä uusia käyttötarkoituksia kehitetään, joten perinteisten sähköntuotantotapojen rinnalle kehitetään myös uusia tapoja tuottaa sähköä. Ilmastonmuutoksen myötä uusiutuvan sähköenergian tuotanto on kehittyvä trendi maailmalla, ja aurinkopaneelit ovat siinä tärkeässä osassa.

Aurinkopaneeleiden kehittäminen entistä energiatehokkaammiksi, ja näin ollen kannattavammiksi, on ollut vuosia suosittuna tutkimuskohteena. Teknologian kehittyessä paneeleita voidaan käyttää myös uusissa käyttökohteissa, joihin perinteiset jäykät aurinkopaneelit eivät ominaisuuksiltaan sovellu. Aurinkopaneeleja sovelletaan verkkosähkön tuotannon lisäksi yhä laajemmin erilaisiin ns. energianlouhintatehtäviin. Ihmiset käyttävät mobiileita elektroniikkalaitteita, joihin sähkön toimittaminen on jatkuva haaste. Yhden uuden mahdollisuuden tarjoavat joustavat aurinkopaneelit, joita voi integroida esim. vaatetukseen.

Joustavat aurinkopaneelit ovat tutkimus- ja kehitysvaiheessa maailmalla, mutta niitä on jo käytössä eri sovellutuksilla. Ne vastaavat ohutkalvoteknologiaa, mutta niiden valoherkkä materiaali painetaan joustavalle alusmateriaalille, kuten esimerkiksi taipuisalle muoville (Motiva 2022). Taipuisuuden ansiosta ne kestävät rasitusta paremmin kuin perinteiset paneelit, joten käytännöllisiä sovelluksia voi tulevaisuudessa olla lukuisia.

1.2 Tavoitteet

Kandidaatintyön tavoitteena on tarkastella joustavien aurinkopaneelien toimintaa, kehitystä sekä käyttömahdollisuuksia nyt ja tulevaisuudessa. Aihetta rajataan seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

1) Miten joustavat aurinkopaneelit toimivat ja mitä eroavaisuuksia niillä on verrattuna normaaliin aurinkopaneeliin?
2) Missä käyttötarkoituksissa ja kohteissa joustavia aurinkopaneeleita on mahdollista käyttää?

3) Mitä tutkimustuloksia joustavista aurinkopaneeleista on ja miten niiden tehokkuutta ja käytännöllisyyttä voidaan parantaa? Ovatko ne kannattavia?
4) Miten joustavia aurinkopaneeleja voi käyttää tulevaisuudessa ja miten ne vaikuttavat aurinkopaneeleiden tulevaisuuteen?

1.3 Työn rakenne

Luvussa 2 perehdytään perinteisten aurinkopaneeleiden sekä joustavien aurinkopaneeleiden toimintaan ja eroavaisuuksiin. Luvussa 3 esitellään erilaisia joustavien aurinkopaneeleiden tutkimustuloksia ja käyttökohteita. Luvussa 4 pohditaan joustavien aurinkopaneeleiden tulevaisuutta. Luvussa 5 tarkastellaan, mitä joustavista aurinkopaneeleista saatiin selville, ja vastataan tutkimuskysymyksiin.

2. AURINKOPANEELIEN TOIMINTA

2.1 Perinteiset aurinkopaneelit

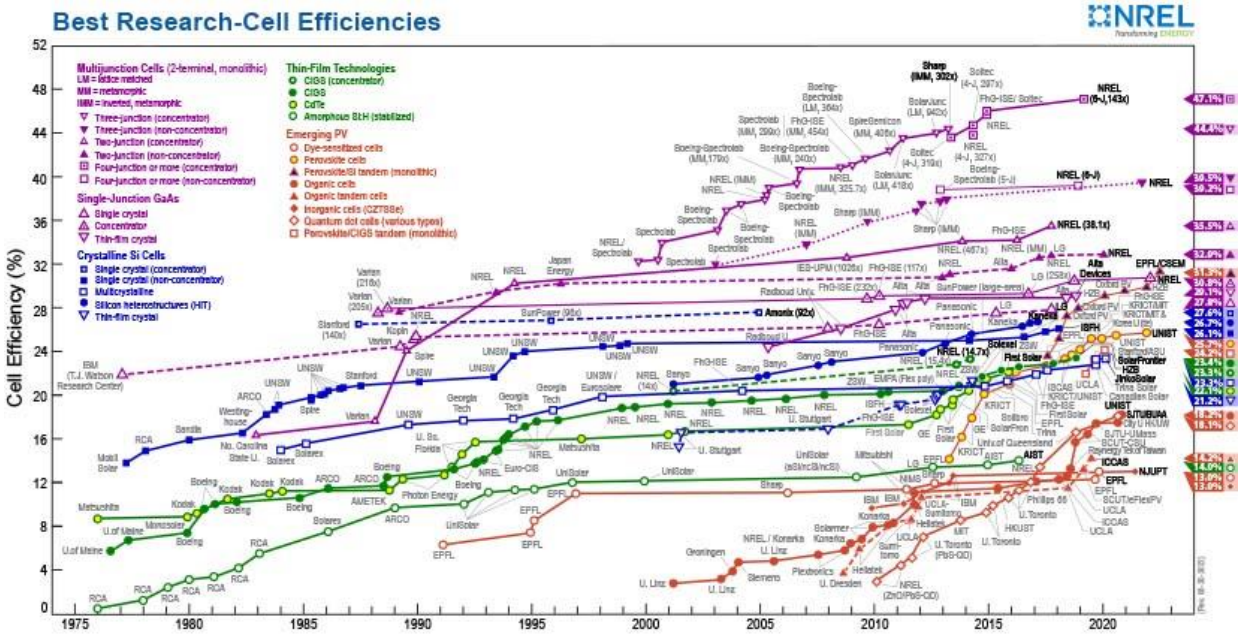
Kaupallisessa käytössä olevat yksi- ja monikiteiset aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, joiden toiminta perustuu auringon säteilyn muuntamiseen sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla. On kaksi pääperiaatetta: saapuva fotoni vapauttaa absorboivassa puolijohteessa varauksenkuljettajia, jotka ohjataan käyttöön. Aurinkosähköä voidaan tuottaa myös näkyvän valon ulkopuolisella taajuusalueella.

Käytännössä aurinkopaneeli koostuu puolijohteiden PN-liitoksista, jolla kerätään auringon säteilyenergiasta sähköenergiaa. Markkinoilla olevista kennoista noin 90 prosenttia on piikidekennoja. Perinteisiä aurinkopaneeleita käytetään esimerkiksi talojen katoilla, seinillä, katoksissa ja erikseen rakennetuilla telineillä tehtäessä suuria aurinkopaneelikenttiä. (Motiva 2022)

Yksikiteisten kennojen hyötysuhde on noin 17 % - 21 % eli ne kykenevät muuntamaan saapuvasta säteilytehosta 17–21 % sähköenergiaksi. Monikiteisten kennojen hyötysuhde on hieman huonompi kuin yksikiteisten kennojen eli noin 16 % - 19 %. Monikiteiset aurinkopa-

neelit ovat kuitenkin halvempia kuin yksikiteiset, joten hyötysuhdetta voi kompensoida suuremmalla paneelimäärällä. Monikiteiset kennot ovat samanlaisia kuin yksikiteiset kennot, mutta ne koostuvat useammista pienistä kiteistä. (Perälä 2017)

Aurinkopaneeleiden kehityspotentiaali on kuitenkin merkittävä, nimittäin vuonna 2019 on saavutettu aurinkokennojen tehokkuuden maailmanennätys 47,1 %. Se saavutettiin keskittävällä moniliitosaurinkokennolla, jotka on kehitetty National Renewable Energy Laboratoryssa, Goldenissa Coloradossa USA:ssa. Kuvassa 1 nähdään NREL:n moniliitosaurinkokennon hyötysuhteen suuruusero muiden tutkijoiden aurinkokennoihin verrattuna vuodesta 1975 lähtien. (NREL 2022)



Kuva 1. Erityyppisten tutkimusaurinkopaneeleiden hyötysuhteen kehitys (NREL 2022)

Perinteisissä kennoissa on etyyli-vinyyli-asetaattikalvo, joka suojaa puolijohdemateriaalia ultraviolettisäteilyltä ja kosteudelta. Kennot liitetään usein jäykälle komposiittipohjalevylle ja paneelin pinnalle asennetaan paksu lasi, joka kestää säänvaihtelua. Tällaiset piikidekennot ovat jäykkiä, eivätkä ne kestä taivutusta rikkoutumatta. Paneeliin lisätty paksu lasi sekä pohjalevy kasvattavat muuten kevyiden kennojen painoa huomattavasti. (Perälä 2017)

Yksi- ja monikiteisten aurinkopaneeleiden sähköntuotannon optimoinnissa pitää ottaa huomioon mahdolliset varjostukset sekä auringonsäteiden tulokulma. Pienikin varjostus voi aiheuttaa suuria sähköntuotannon vähenemisiä, sillä yksikin paneelille pudonnut lehti voi jopa

puolittaa kennojen sähköntuotannon. Muiden paneeleiden tuottama virta kulkee pimennossa olevan kennon kautta, jolloin kenno voi kuumentua niin, että se on vaarassa tuhoutua. (Perälä 2017)

Tämä johtuu siitä, että säteilyä sähköenergiaksi muuntava PN-liitos toimii osittain virtalähteen tavoin. Jos yksikin sarjaan kytketty PN-liitos on pimennossa, se muodostaa esteen virran kululle. PN-liitoksella on siis virtalähdeominaisuus virtaa rajoittavassa mielessä, mutta sarjassa olevat, valoa saavat kennot eivät kuitenkaan kykene todellisen virtalähteen tavoin nostamaan jännitettään niin korkeaksi, että pimennossa olevan liitoksen virta voitaisiin väkisin kohottaa muiden edellyttämälle tasolle. Varjostushaittaa pyritään ratkomaan jakamalla paneeli osiin ja asentamalla paneeleihin ns. ohitusdiodeja. Näin koko paneeli tai kokonainen paneelisto ei menetä tehoaan, kun yksi PN-liitos on pimennossa.

Kuva 2 esittää LUTin laboratoriotornin eteläseinälle ja laboratoriosiiven katolle asennettuja perinteisiä aurinkopaneeleita. Käytännössä eteläseinän paneelisto on osoittanut kyvykkyytensä talvella. Parhaimmillaan matalla paistava tammikuunkin aurinko on tuonut merkittävän tehon juuri tältä paneelistolta.

Kuva 2. Perinteisiä aurinkopaneeleita LUTin korkean laboratoriorakennuksen eteläseinällä. (LUT)

2.2 Osittain joustavat aurinkopaneelit

Yksi- ja monikiteiset aurinkokennot kestävät jonkin verran taivutusta, jos niitä ei ole asennettu jäykälle pohjalevylle sekä suojattu lasilevyllä, jotka käytännössä estävät niiden taivuttamisen. Kuvan 3 mukaisia osittain taipuvia aurinkopaneeleita voidaan siis valmistaa laminoimalla kiteiset aurinkokennot jäykkien materiaalien sijaan kahden puolijäykän muovilevyn väliin.

Perinteisillä aurinkopaneeleilla on parempi teho kuin osittain joustavilla aurinkopaneeleilla, mutta muovilaminoinnin seurauksena ne ovat kuitenkin huomattavasti ohuempia ja kevyempiä, mikä mahdollistaa uudet käyttökohteet. Kyseiset osittain joustavat aurinkopaneelit voi asentaa lievää rasitusta ja taivutusta vaativiin paikkoihin, kuten veneiden runkoihin tai autojen kattorakenteisiin. (Perälä 2017)

Kuva 3. Osittain joustava aurinkopaneeli (K-rauta 2022)

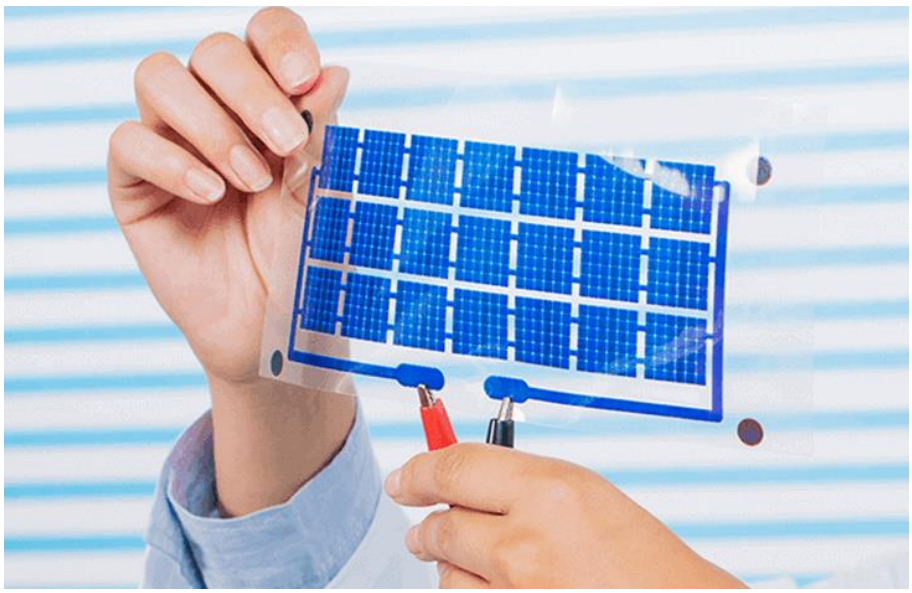
2.3 Ohutkalvoteknologia

Kun kennon pohjamateriaalille, kuten muoville, lisätään ohuita kerroksia valoherkkää ainetta, saadaan ohutkalvokennoja. Yksi- ja monikiteisiin aurinkopaneeleihin verrattuna ohutkalvopaneeleilla saadaan kerättyä auringonsäteiden hajasäteilyä hieman tehokkaammin, mutta pidemmällä aikavälillä ero on vähäinen. Hyödynnettävä valo läpäisee ohutkalvopaneelin enemmän kuin perinteisen yksi- ja monikiteisen aurinkopaneelin. Kennon läpäisevät fotonit eivät irrota PN-liitoksessa varaustenkantajia, joten ohutkalvokennojen sähköntuotanto ei ole yhtä tehokasta kuin perinteisten kennojen (Motiva 2022)

2.3.1 Joustavat aurinkopaneelit

Kuvassa 4 on joustava aurinkopaneeli. Joustavat aurinkopaneelit ovat ohutkalvopaneeleita, mutta niissä valoherkkä aine painetaan joustavalle pohjamateriaalille. Ne kestävät nimensä mukaisesti taivuttamista, jolloin niitä voi asentaa kohteisiin, joissa perinteinen paneeli rikkoutuisi. (Motiva 2022) Ne ovat myös kevyitä, jolloin ne sopivat myös liikkuvaan käyttöön, esimerkiksi vaatteisiin.

Joustavien aurinkopaneeleiden hyötysuhde on perinteisten paneeleiden hyötysuhdetta selvästi huonompi, vain 9 % – 13 %. Joustavien paneeleiden käyttöikäkin jää lyhyeksi, sillä myös niiden sähköntuottokyky pienenee ajan myötä nopeasti. Lämpötila vaikuttaa kuitenkin niihin vähemmän kuin perinteisiin paneeleihin ja ne toimivat myös hämärässä tehokkaammin. (Perälä 2017)



Kuva 4. Joustava aurinkopaneeli. (Greenmatch 2022)

3. TUTKIMUSTULOKSET JA KÄYTTÖKOHTEET

3.1 Kulkuneuvot

Joustavat aurinkopaneelit ovat keveytensä vuoksi hyödyllisiä erilaisissa kulkuneuvoissa, sillä paneeli ei lisää kulkuneuvon painoa yhtä paljon kuin kiteiset aurinkopaneelit, jolloin kulkuneuvon massa ja energiankulutus lisääntyvät mahdollisimman vähän. Joustavat aurinkopaneelit ovat myös rasitusta kestävämpiä kuin edeltäjänsä, mikä on hyvin hyödyllistä vaikeissakin olosuhteissa, kuten merellä tuulen ja aaltojen armoilla.

3.1.1 Veneet

Joustavia aurinkopaneeleita käytetäänkin esimerkiksi veneissä akkujen lataamiseen. Aurinkopaneeleita voidaan käyttää myös pienempien sähkönkuluttajien, kuten valojen tai mittareiden, tarpeisiin. (Alanen 2010)

Veneissä joustavat aurinkopaneelit mahdollistavat aurinkoenergian hyödyntämisen maksimoinnin. Paneelit voidaan asentaa eri paikkoihin ja kulmiin, jolloin aurinkoenergiaa saadaan enemmän kuin perinteisillä aurinkopaneeleilla, joiden asentamispaikan valikointi on paljon rajoittuneempaa.

Joustavia paneeleita voidaan sijoittaa moneenkin eri paikkaan esimerkiksi veneen katolle, kannelle, purjeisiin, kankaisiin tai kuomupeitteisiin, kuten kuvista 5 ja 6 huomataan. Ratkaisuja on kehitteillä myös joustavien aurinkopaneeleiden hyödyntämisessä veneiden pinnoituksessa. (Alanen 2010)

Kuva 5. Joustavia paneeleita veneen kankaassa. (Alanen 2022)

Kuva 6. Purjepussin suojana oleva joustava aurinkopaneeli puomiin kiinnitettynä. (Alanen 2022)

3.1.2 Autot

Aurinkokennoja voi integroida myös sähköautoihin, jolloin pyritään ratkaisemaan sähköautoilun kahta ongelmaa, akunlatausta ja latauksesta saatua ajomatkaa. Aurinkokennojen avulla sähköautoilija ei ole täysin riippuvainen latausasemista, vaan auto voi päivän aikana ladata itse itseään.

Valmet Automotive valmistaa yhdessä Lightyear yhtiön kanssa sähköautoja, joiden muotoiluun on yhdistetty noin viiden neliömetrin verran aurinkopaneeleita kuvan 7 mukaisesti. (Tekniikan maailma 2021) Kuvasta 8 voidaan todeta, että aurinkopaneeleiden integroiminen autoihin energiatehokkaalla muotoilulla on mahdollista ulkonäöstä tai käytännöllisyydestä tinkimättä.

Yhtiö on ilmoittanut, että Espanjassa on mahdollista ajaa jopa 70 kilometriä päivän aikana kerätyllä aurinkoenergialla. Ympäristöystävällisillä ratkaisuilla valmistetulla sähköautolla on mahdollista ajaa jopa 20 000 kilometriä vuodessa pelkällä aurinkoenergialla. (Valmet 2021)

Kuva 7. Konepellille integroidut aurinkopaneelit (Lightyear 2022)

Kuva 8. Auton ulkomuoto. Auton katto ja konepelti muodostavat varsin merkittävän alustan joustaville aurinkopaneeleille. (Lightyear 2022)

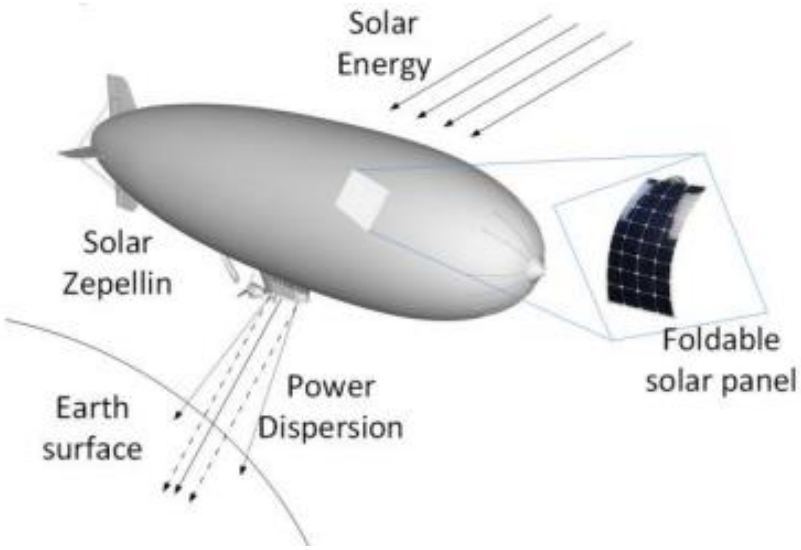
3.1.3 Ilma-alus

Tashkent University of Information Technologies (named after Muhammad al Khwarizmi (TUIT)) on tehnyt tutkimusta miehittämättömien ilma-alusten hyödyntämisestä aurinkosähkön tuotannossa. Tavoite ilma-aluksen hyödyntämisessä on saada ilmaa kevyempi sähköenergian tuotantolaitos kuljetettua nopeasti sekä turvallisesti tarvittavalle paikalle. Integroimalla kuvan 9 mukaisesti kevyitä joustavia aurinkopaneeleita mahdollisimman paljon aluksen runkoon saadaan pidettyä ilma-aluksen paino tarvittavan pienenä sekä samalla optimoitua aurinkosähkön tuotanto taivaalla. (Khudaybergenov 2021)

Ilma-alus pysyisi samalla korkeudella ilmakehässä ja keräisi aurinkoenergiaa pysymällä paikallaan. Aurinkosähköenergian siirto ilma-aluksen aurinkopaneelilta maan pinnalle tapahtuisi kohdistetulla mikroaaltosäteilyllä, minkä jälkeen se muunnettaisiin DC- tai AC-muotoon ja jaettaisiin kuluttajalle. (Khudaybergenov 2021)

Ilma-aluksen suunnittelussa on otettu huomioon myös sen mahdollinen liikkuminen paikaltaan turbulenssin seurauksena. Tuotantopaikka kolmessatoista kilometrissä pysyy samana, sillä ilma-aluksessa sähkömoottorit korjaavat virheelliset liikkumiset vertaamalla paineenmuutoksia aluksen rungossa. Sähkömoottorit saavat sähkönsä alukseen integroiduista aurinkopaneeleista. (Khudaybergenov 2021)

Kylmässä lämpötilassa joustavien aurinkopaneeleitten hyötysuhde paranee ja ne tuottavat enemmän sähköä kuin lämpimässä. Ilmakehän lämpötila ei myöskään muutu samalla tavalla, kun lämpötila maan pinnalla. Ilma-aluksen hyvä puoli on myös se, että sitä voi hyödyntää melkein missä vain, sillä se ei ole sidonnainen maastoon perinteisten tuotantolaitosten lailla. (Khudaybergenov 2021)



Kuva 9. Periaatekuva aurinkopaneeli-ilma-aluksesta (Khudaybergenov 2021)

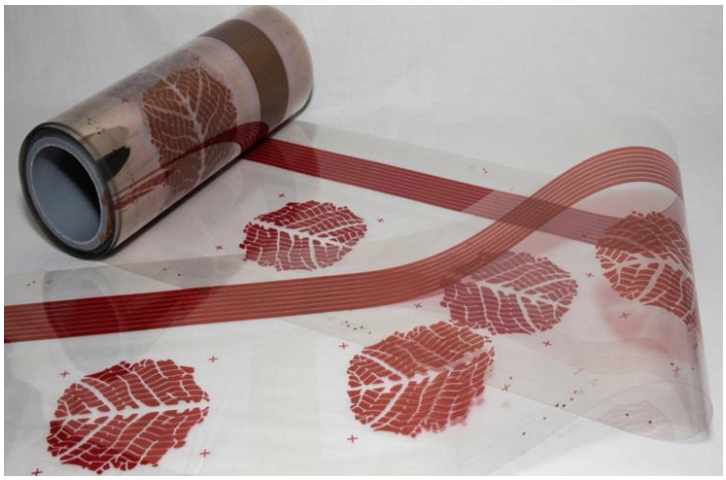
3.2 Sisustus

Koska joustavat aurinkopaneelit ovat kevyitä sekä kestävät rasitusta ja taivutusta, on tulevaisuudessa niiden käyttö myös mahdollista sisustuksessa, mikäli auringon säteily osuu niihin. Teknologian tutkimuskeskus VTT on tehnyt tutkimusta joustavien aurinkopaneeleiden sisustusmahdollisuuksista. Koristeena seinällä tai vaatteissa oleva kuvio onkin aurinkopaneeli, joka voi antaa virtaa läheisyydessä olevalle pientä virtaa tarvitsevalle sensorille. Tällöin talon kokonaisenergiankulutuksessa ei tarvitsisi ottaa huomioon pienempien laitteiden energiankulutusta. (Paananen 2015)

Kuva 10 esittää Teknologian tutkimuskeskuksen kehittämää joustavaa tulostettavaa aurinkopaneelia. Kyseistä paneelia voisi käyttää esimerkiksi tapettina. Aurinkopaneeli on 0,2 mm paksu ja siihen voi lisätä elektrodi- ja polymeerikerrosten lisäksi myös graafisen kerroksen, jolloin käyttömahdollisuudet sisustuksessa lisääntyvät. (Paananen 2015)

Testeissä paneeliin on painettu lehden muotoisia aurinkokennoja, joissa yhden lehden valoon reagoiva pinta-ala on noin kämmenen kokoinen. 200 aurinkokennolehteä sisältää noin yhden neliömetrin verran valoon reagoivaa pinta-alaa, ja ne tuottavat optimaalisissa olosuhteissa sähkövirtaa 3,2 ampeeria 10,4 watin teholla. Aurinkokenno, jonka halkaisija on 21 cm, saa riittävästi aurinkoenergiaa ylläpitämään lämpötilaa, ilmanpainetta, kosteutta ja valoa aistivaa sensoria. (Paananen 2015)

Tulostettavan aurinkopaneelin kestävyydessä on kuitenkin kehitettävää. Paneelilla on molemmilla puolilla polymeerilaminointi, joka suojaa hapettumiselta sekä kosteudelta, mutta laminointiin syntyy vuotokohtia sen sivuihin. Mikromurtumat muodostavat myös vuotokohtia. Vuonna 2015 tulostettavien paneeleiden käyttöikä sisällä oli korkeintaan 5 vuotta ja ulkona noin 1,5 vuotta. Kestävyyttä voidaan parantaa tulevaisuudessa suojaamalla paneeli taipuisalla lasilla. Tällöin tulostettavaa paneelia ei kuitenkaan pystyisi integroimaan vaatteisiin. (Paananen 2015)



Kuva 10. Teknologian tutkimuskeskuksen kehittämä lehtikuvioinen joustava aurinkopaneeli (Paananen 2015)

Tapetin lisäksi sisustuksessa mahdollisia käyttökohteita tulevaisuudessa ovat kankaat. Esimerkiksi ikkunoiden eteen vedettävät verhot voisivat sisältää joustavia aurinkopaneeleita, jolloin aurinkoenergiaa saadaan hyödynnettyä auringon paahtaessa ikkunoihin.

Parvekkeilla rajallisen tilan vuoksi perinteisten paneeleiden asentaminen voi olla mahdotonta, joten parvekekalusteiden pehmusteissa olevat joustavat aurinkopaneelit voisivat la-

data pientä virtaa vaativia sähkönkuluttajia, kuten valaisimien akkuja. Valojen lisäksi esimerkiksi kännykän lataaminen tai lämpömittarin ylläpito parvekepehmusteiden paneeleilla olisivat mahdollisia käyttökohteita.

Parvekepehmusteisiin integroitavat joustavat paneelit kestäisivät myös säänmuutoksia ja istuessa tapahtuvaa mekaanista rasitusta. Pehmusteet lataisivat akkuja silloin, kun niiden päällä ei istuttaisi.

3.3 Vaatteet

Vaatteissa olevat aurinkopaneelit voisivat toimia lisäsähköenergialähteenä elektroniikalle, kuten matkapuhelimille. Paneeleita voisi lisätä vaatteisiin joko lisäämällä erillisiä joustavia paneeleita kankaan päälle tai integroimalla paneelit kankaaseen. Lataus tapahtuisi ihmisen liikkuessa ulkona, joten aurinkopaneelivaatteet olisivat hyvin hyödyllisiä esimerkiksi retkeillessä, veneillessä tai työmaalla. Vaatteiden lisäksi erilaiset asusteet, kuten reput tai hatut, voisivat tuoda uusia käyttömahdollisuuksia joustaville paneeleille.

Joustavien paneeleiden keveys ja mekaanisen rasituksen kesto joustaessa on oleellista vaatteen käyttömukavuutta ajatellen. Vaatteiden tulee olla mukavia, helppokäyttöisiä sekä luotettavia. Vaatteille on mielenkiintoa markkinoilla, mutta ongelmana on niiden vähäinen saatavuus sekä joustavien aurinkopaneeleiden riittämätön hyötysuhde. (ScienceDirect 2006)

Joustavien paneeleiden käyttömahdollisuuksia vaatetuksessa on tutkittu Stuttgartin yliopistossa vuonna 2006 kuvan 11 mukaisesti lisäämällä paneeleita takkien taskuihin ja liittämällä niihin MP3-soittimen. Tällöin 3 h valon alla oleskelun jälkeen soitinta on mahdollista kuunnella 40 tuntia. (ScienceDirect 2006)

Kuva 11. Joustavia aurinkopaneeleita sisältävä takki (ScienceDirect 2006)

4. JOUSTAVIEN AURINKOPANEELEIDEN TULEVAISUUS

Aurinkopaneelit ovat riippuvaisia säästä sekä vuodenajasta, sillä auringonsäteilyn suuruus vaikuttaa suuresti niiden kannattavuuteen. Tämän vuoksi aurinkopaneelin oston kannattavuus Suomessa ei ole niin suurta kuin esimerkiksi päiväntasaajalla. Markkinoilla olevien joustavien aurinkopaneeleiden hyötysuhde on vielä pienempi kuin perinteisten paneeleiden, joten hyötysuhteen huonouden, hinnan ja rajallisten käyttökuukausien vuoksi niiden käyttö on Suomessa vielä verrattain vähäistä.

Joustavat aurinkopaneelit ovat kuitenkin hyödyllisiä myös Suomessa, jos niiden käyttöaika ajoittuu valoisille kuukausille. Esimerkiksi veneilysesonki ajoittuu luonnollisestikin keväälle, kesälle ja alkusyksylle, jolloin on myös valoisampaa kuin talvella. Tällöin joustavista paneeleista saadaan kaikki hyöty irti valoisina kuukausina.

Aurinkopaneeleita asennetaan perinteisesti katoille, mutta jos rakennusten seinämille asennettaisiin myös joustavia paneeleita, maksimoisivat ne rakennusten aurinkoenergiantuotantoa, jolloin rakennusten kokonaisenergiantuotanto olisi vähemmän riippuvainen tuotantolaitoksista sekä olisi myös suurempaa pimeämpinä kuukausina. Myös katon päällystäminen joustavilla aurinkopaneeleilla maksimoisi koko katon pinta-alan hyödyntämisen.

Elektroniikan soveltaminen kasvaa jatkuvasti maailmassa, joten tällä hetkellä lisävirtalähteenä toimivat joustavat aurinkopaneelit voisivat tulevaisuudessa olla ratkaisu niiden pääasiallisena virranlähteenä. Tällöin liikkuvassa käytössä olevien laitteiden kuten puhelimien lataus ei olisi riippuvainen verkkovirrasta, vaan niiden akut latautuisivat aurinkoenergialla, jolloin rakennusten kokonaisenergiantarve pienenisi. Tämä vaatii kuitenkin hyötysuhteen parantamista sekä joustavien paneeleiden runsasta yksityiskäyttöä. Ongelmana on tietysti aurinkoenergian saatavuus, sillä puhelinta pitää pystyä lataamaan vuoden ympäri säästä, vuorokaudenajasta ja vuodenajasta riippumatta.

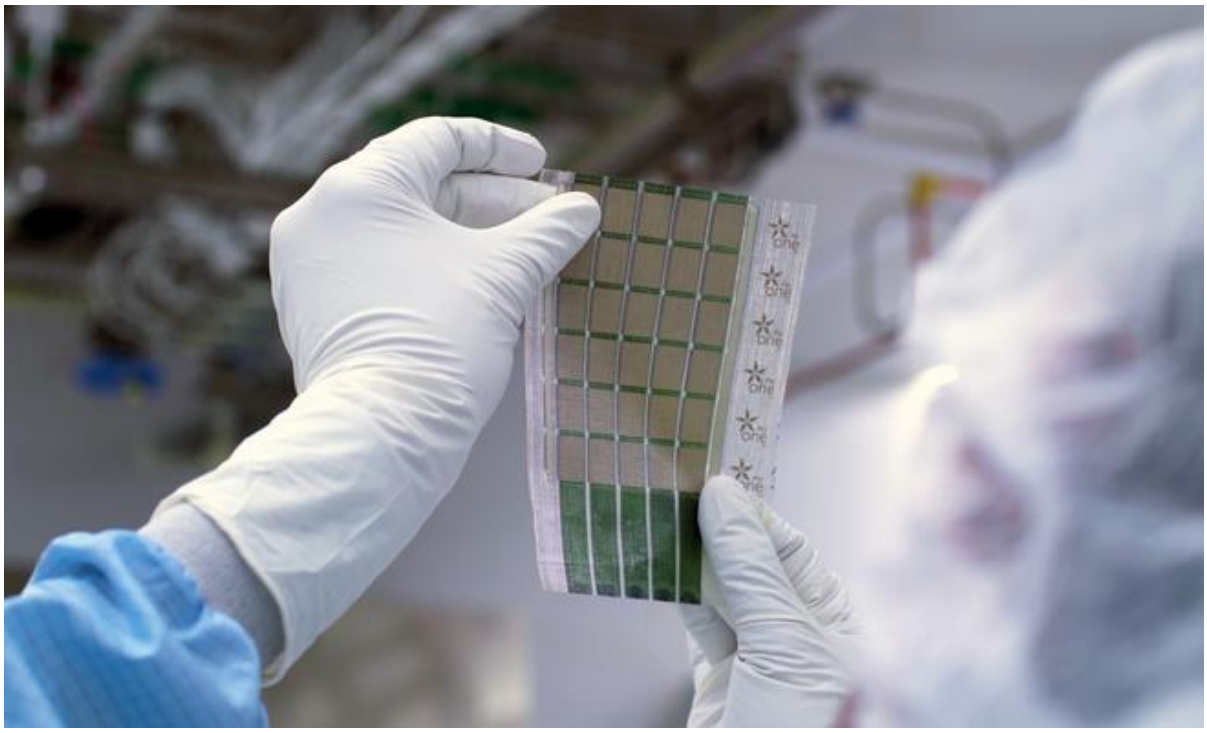
Joustavat aurinkopaneelit ovat tällä hetkellä enemmänkin lisävirtalähteenä kuin suuremman kaavan sähköenergian tuotannossa. Koska perinteisillä aurinkopaneeleilla on parempi hyötysuhde, on niitä kannattavampaa käyttää sähköenergian tuotannossa. Tulevaisuudessa hyötysuhteen parantuessa joustavat aurinkopaneelit voivat kuitenkin saada jalansijaa myös tuotantolaitoksissa, sillä niiden asentamispaikaksi ei tarvitse suuria pinta-aloja tasaisia kenttiä, vaan niitä voidaan asentaa myös seinille ja erilaisiin maastoihin. Joustavat aurinkopaneelit ovat myös kevyempiä kuin perinteiset paneelit, jolloin uusien sähköntuotantolaitosten perustaminen olisi helpompaa myös haastaviin paikkoihin, kuten vuoristoille tai kaupunkien keskustoihin. Paneeleiden liikuttaminen olisi myös nopeaa niiden keveyden vuoksi, jolloin niitä voidaan asentaa käyttöön pienelläkin aikataululla hätävirtalähteeksi esimerkiksi luonnonkatastrofien sattuessa.

Joustavien aurinkopaneeleiden hyötysuhteen ja kannattavuuden parantamisessa on tehty suuria harppauksia. Kuva 12 esittää Massachusetts institute of technology: n (MIT) kehittämää joustavaa aurinkopaneelia. Tulostettava paneeli on 15 mikrometriä paksu eli hyvin ohut, sillä se on jopa ihmisen hiusta ohuempi. Paneeli on kuitenkin hyvin kestävä, sillä testeissä huomattiin, että kun tätä joustavaa paneelia oli rullattu yli 500 kertaa rullalle, se tuotti silti yli 90 prosenttia alkuperäisestä energiantuotannostaan. (Zewe 2022)

MIT:n kehittämässä paneelissa käytetään nanomateriaaleja, jotka ovat tulostettavia elektronisia musteita. Aurinkokenno päällystetään lisäämällä kerroksia elektronista materiaalia vain kolme mikronia paksulle irrotettavalle muovialustalle. Silkkipainatustekniikalla rakenteeseen lisätään elektrodi. Silkkipainatusta käytetään myös esimerkiksi paitojen kuvioiden painatuksessa. Valmis aurinkopaneeli irrotetaan muovialustasta, jolloin jäljelle jää vain tulostettu paneeli. (Zewe 2022)

Tulostettu paneeli kevyt ja ohut, mutta hauras ja haastava käsitellä. Ongelmien ratkaisemiseksi paneeliin lisätään pohjamateriaaliksi 13 grammaa neliömetriä kohden painava komposiittikangas Dyneema, joka on kevyt, joustava ja erittäin luja. Aurinkokennot lisätään kankaaseen käyttämällä muutaman mikronin paksuista ultraviolettivalolla kovettuvaa liimaa. Tuloksena on hyvin kevyt ja joustava sekä erittäin kestävä aurinkopaneeli. (Zewe 2022)

Kyseinen paneeli on massaltaan noin sadasosa perinteiseen paneeliin verrattuna ja tuottaa 18 kertaisen tehon kilogrammaa kohti. Koska paneeli on tulostettu kankaalle, sitä voi käyttää päällystyksessä. Kevyt ja ohut paneeli voi tulevaisuudessa olla apuna hätätilanteissa esimerkiksi kriisitelttojen päällystyksessä. Tulevaisuudessa tulostusprosessia on mahdollista toteuttaa myös suuremman mittakaavan tuotannossa. (Zewe 2022)



Kuva 12. MIT:n kehittämä joustava aurinkopaneeli (Zewe 2022)

5. YHTEENVETO

Tulevaisuudessa aurinkoenergian tuotannon tarve kasvaa entisestään. Joustavien aurinkopaneeleiden kehittyessä tulee aurinkoenergian tuotantoon uusia tuotantopaikkoja sekä käyttömahdollisuuksia, joihin perinteiset aurinkopaneelit eivät sovellu.

Tutkimuksia on tehty joustavien paneeleiden käytöstä esimerkiksi kankaissa sekä päällystyksessä, ja vaikka tutkimustulokset ovat lupaavia, kehitettävää on vielä kannattavuuden parantamiseksi. Paneelit ovat kuitenkin hyödyllisiä lisävirtalähteenä esimerkiksi veneissä, sillä veneily ajoittuu valoisaan aikaan, jolloin energiantuotanto on parhaimmillaan ja käyttö suurinta.

MIT on kehittänyt vuonna 2022 joustavan aurinkopaneelin, joka voi olla ratkaisu joustavien aurinkopaneeleiden ongelmakohtiin. Paneelin hyötysuhde on edeltäjiään huomattavasti suurempi ja kyseisen paneelin tuotanto on mahdollista tulevaisuudessa myös suuremmassa mittakaavassa.

Joustavien aurinkopaneeleiden hyötysuhteen sekä kannattavuuden parantaminen pienlaitteiden lisävirtalähteenä ja suuremman mittakaavan aurinkoenergian tuotannossa ovat tulevaisuuden kehityskohteita, jotka luovat uusia mahdollisuuksia aurinkoenergian hyödyntämiseen.

LÄHTEET

Alanen, R. VTT. 2010. Finnboat. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.finnboat.fi/linked/fi/Vene-Ene_VTT_W154.pdf

Khudaybergenov, Timur. IEEE. 2021. Study on Aircraft Lightweight fuselage Structure Design Using flexible solar panel for Solar-Powered Aircraft. [Verkkodokumentti] Saatavissa: https://ieeexplore.ieee.org/document/9670372

K-rauta. 2022. [Verkkosivu] https://www.k-rauta.fi/tuote/aurinkopaneeli-topray-mono-110w-caravan/6438056287368

Lightyear. 2022. Freedom to move anywhere. [Verkkosivu] Saatavissa: https://lightyear.one/lightyear-0

LUT. [Verkkosivu] Viitattu 3.8.2022. Saatavissa: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/lut-n-aurinkovoimalan-julkisivuasennukset-meneillaan

Motiva. 2.8.2022. Aurinkosähköteknologiat. [Verkkosivu]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

NREL. 2022. Best Research-Cell Efficiency Chart. [Verkkosivu] Saatavissa: https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html

Paananen, M. Yle. 29.04.2015. Tapetista ratkaisu lisääntyvään energian tarpeeseen. [Verkkosivu]. Saatavissa: https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/04/29/tapetista-ratkaisu-lisaantyvaan-energian-tarpeeseen?_escaped_fragment_=&qt-tabs_under_article=2

Perälä, R. 2017 Aurinkosähköä. Helsinki, Alfamer / Karisto. s. 43–45. ISBN 978-952-472-273-5

Schubert, M., Werner, J. ScienceDirect. 2006. Flexible solar cells for clothing. [Verkkosivu] Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702106715425

Tekniikan maailma. 20.7.2021. Valmet Automotive alkaa valmistaa Suomessa Lightyear-autoa, jolla voi ajaa 710 kilometriä yhdellä latauksella – Autossa on viisi neliömetriä aurinkopaneeleita. [Verkkosivu] Saatavissa: https://tekniikanmaailma.fi/valmet-automotive-alkaa-valmistaa-suomessa-lightyear-autoa-jolla-voi-ajaa-710-kilometria-yhdella-latauksella-autossa-on-viisi-neliometria-aurinkopaneeleita/

Valmet. 19.7.2021. Valmet Automotive aiesopimukseen sähköautovalmistaja lightyearin kanssa. [Verkkosivu] Saatavissa: Valmet Automotive aiesopimukseen sähköautovalmistaja Lightyearin kanssa | Valmet Automotive (valmet-automotive.com)

Vourvoulias, Aris. Greenmatch. 2022. [Verkkosivu] Saatavissa: https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-panels/flexible

Zewe, A. MIT. 9.9.2022. Paper-thin solar cell can turn any surface into a power source. [Verkkosivu] Saatavissa: https://news.mit.edu/2022/ultrathin-solar-cells-1209