

Venla Kivimäki

AURINKOPUISTOT SUOMESSA

Kennoteknologioiden vertailu,
hankkeiden tarkastelu ja
tulevaisuuden mahdollisuudet

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Pauli Losoi
Huhtikuu, 2025

TIIVISTELMÄ

Venla Kivimäki: Aurinkopuistot Suomessa: Kennoteknologioiden vertailu, hankkeiden tarkastelu ja tulevaisuuden mahdollisuudet

Solar parks in Finland: Comparison of Cell Technologies, Examination of Projects and Future Opportunities

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Tekniikan ja luonnontieteiden kandidaattiohjelma, ympäristö- ja energiatekniikan opintosuunta

Huhtikuu 2025

Tutkielma tarkastelee aurinkoenergian tuotannon kehitystä Suomessa keskittyen aurinkopuistojen rooliin ja kehitysnäkymiin. Vuoteen 2024 asti Suomen aurinkoenergiantuotanto on perustunut pääosin pientuotantoon, eli yksityisten kiinteistöjen aurinkopaneelisiin. Vuodesta 2025 alkaen tilanne on kuitenkin muuttumassa merkittävästi, kun suurten aurinkopuistojen rakentaminen yleistyy ja niiden osuus energiantuotannosta kasvaa merkittävästi.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millaisia mahdollisuuksia aurinkopuistojen tuotannolla on kasvaa Suomessa ja mitä haasteita niiden kehittämiseen liittyy. Lisäksi tutkielmassa vertaillaan eri aurinkokennoteknologioita sekä arvioidaan teknologioiden soveltuvuutta teollisen mittakaavan tuotantoon.

Yleisin käytetty teknologia on perinteinen yksikidepiikkenno. Se yhdistää hyvän hyötysuhteen (15–20 %), luotettavuuden ja skaalautuvuuden suuriin voimaloihin. Lisäksi kaksipuolinen kennoteknologia mahdollistaa säteilyn hyödyntämisen paneelin molemmilta puolilta. Muita tarkasteltuja teknologioita ovat monikiteiset piikennot, ohutkalvokennot sekä uudet kehitteillä olevat teknologiat, kuten mustapiikennot, perovskiittikennot ja moniliitoskennot. Näillä uusilla ratkaisuilla on potentiaalia, mutta niiden hyödyntämistä rajoittavat toistaiseksi kustannukset, materiaalien saatavuus ja tekniset haasteet.

Lisäksi tutkielmassa kuvataan aurinkopuiston tekninen rakenne ja sähköntuotannon periaate. Aurinkopuisto on teollisen mittakaavan sähkövoimala, joka koostuu laajoista aurinkopaneelientistä ja tuottaa vähintään yhden megawatin tehon. Sähköntuotanto perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa auringon säteily muutetaan sähköksi aurinkokennojen avulla. Aurinkopuistojen rakenteisiin kuuluvat myös invertterit, jotka muuttavat tasavirran vaihtovirraksi, sekä tukirakenteet ja sähköliitännät. Tuotannon tehokkuuteen vaikuttavat muun muassa säteilyn määrä ja maaston ominaisuudet.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että aurinkopuistojen rooli Suomen energijärjestelmässä tulee kasvamaan merkittävästi seuraavien vuosien aikana, ja tuotantokapasiteetin ennustetaan jopa kymmenkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. Sähkön kysyntä kasvaa yhteiskunnan sähköistyessä, mikä tukee uusiutuvan energian investointeja. Haasteita tuovat kuitenkin sähkömarkkinoiden hinnanvaihtelut ja investointien kannattavuuden epävarmuus ilman tukimekanismeja. Tulevaisuudessa keskeistä on panostaa sähkövarastointiin, kennoteknologian kehitykseen, aurinkopaneelien telineratkaisuihin ja sähkönmyyntimallien uudistamiseen.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

Kandidaatintyössä käytetyt tekoälytyökalut ja niiden käyttötarkoitukset on kuvailtu alla:

ChatGPT - 4:
Tekstin muotoilu, kielen tarkastus

Scopus AI
Lähteiden etsiminen

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien tekoälyllä tuotetut osat, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. AURINKOSÄHKÖN TUOTANTO AURINKOPUISTOISSA	3
2.1 Valosähköinen ilmiö	3
2.2 Aurinkopaneelien toiminta	4
2.3 Aurinkopuistojen rakenne	7
2.4 Ympäristön vaikutukset aurinkosähkön tuotantoon	8
3. KENNOTYYPIT	11
3.1 Kiteinen pii	11
3.2 Ohutkalvokennot	13
3.3 Uudet teknologiat	14
3.4 Yhteenveto eri kennoteknologioista	15
4. AURINKOPUISTOHANKKEET SUOMESSA	18
4.1 Aurinkopuistojen vertailu	18
4.2 Aurinkopuistojen tulevaisuus	21
5. AURINKOPUISTOJEN MAHDOLLISUUDET ENERGIANTUOTANNOSSA	23
5.1 Aurinkoenergian tuotannon ennusteet Suomessa	23
5.2 Asenteet aurinkoenergiaa kohtaan	26
5.3 Aurinkopuistojen kehitysnäkymät Suomessa	27
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	29
LÄHTEET	31
LIITE A: TUOTANNOSSA OLEVAT AURINKOVOIMALAT	34

1. JOHDANTO

Aurinko on kaiken elämän ja energian perusta. Lähes kaikki Maapallolla hyödynnetty energia on lopulta peräisin auringosta, jossa vety muuttuu heliumiksi ydinfuusion seurauksena ja vapauttaa valtavan määrän energiaa. [1] Joka tunti maapallolle saapuu tarpeeksi auringonsäteilyä kattamaan koko maailman vuotuinen energiatarve [2]. Aiemmin tätä energiaa on hyödynnetty lähes yksinomaan fossiilisten polttoaineiden muodossa, mutta sitä voidaan hyödyntää myös suoraan aurinkopaneelien avulla. Aurinkopaneelien käyttö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, jotka puolestaan lämmittävät ilmastoa.

Pitkään on ajateltu, ettei Suomessa ole riittävästi aurinkoenergiapotentiaalia tehokkaaseen energiantuotantoon. Kuitenkin eteläisessä Suomessa auringon kokonaissäteilytasot ovat samansuuruiset kuin Saksassa, jossa aurinkoenergia on jo vakiintunut osa energiantuotantoa. [2,3] Suomen erityispiirteet, kuten viileät lämpötilat, pitkät kesäpäivät ja laajat maa-alueet, tarjoavat erinomaisia mahdollisuuksia aurinkosähkön tuotantoon. Viime vuosina aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet merkittävästi, mikä on tehnyt aurinkovoiman investoinneista entistä houkuttelevampia [4].

Vaikka aurinkovoima on toistaiseksi pieni osa Suomen energiantuotantoa, aurinkopuistojen rakentaminen on voimakkaassa kasvussa [5]. Markkinan kehittymättömyys ja teknologian uutuus tekevät siitä kiinnostavan tutkimuskohteen, erityisesti eri aurinkokennoteknisuuden osalta.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on perehtyä Suomessa rakennettuihin teollisen mitaluokan aurinkovoimaloihin eli aurinkopuistoihin, joiden teho ylittää yhden megawatin (MW) ja jotka ovat pinta-alaltaan vähintään yhden hehtaarin kokoisia. Työssä keskitytään aurinkosähkön tuotantoon, joten aurinkokeräimet rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Tarkastelu perustuu julkisesti saatavilla oleviin lähteisiin ja tiedotteisiin, mikä voi rajoittaa työn kattavuutta ja vaikuttaa tulosten tarkkuuteen, koska kaikkia hankekohtaisia tietoja ei ole julkisesti saatavilla. Tässä työssä pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä eri kennoteknologioita voidaan hyödyntää aurinkovoimaloissa?
2. Mitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia on Suomen rakennettujen ja rakenteilla olevien aurinkopuistojen toteutuksessa?

3. Mitä mahdollisuuksia aurinkopuistoilla on energiantuotannossa Suomessa?

Teknologisen kehityksen ja investointien kasvun myötä aurinkovoima voi muodostua merkittäväksi osaksi Suomen energiantuotantoa, ja tämä tutkielma pyrkii valottamaan kehityksen suuntaa ja mahdollisuuksia.

Työn toisessa luvussa käsitellään aurinkosähkön perusteet ja selvitetään, miten valosähköisestä ilmiöstä muodostuu sähköenergiaa aurinkopaneelien avulla. Lisäksi tarkastellaan aurinkopuistojen peruskomponentteja ja niiden vaatimuksia ympäristön näkökulmasta. Kolmannessa luvussa syvennyttään erilaisiin aurinkokennoteknologioihin ja vertaillaan niiden mahdollisuuksia teollisen mittakaavan sovelluksissa. Neljännessä luvussa analysoidaan Suomeen jo rakennettuja aurinkopuistoja niiden sijainnin ja tuotantomäärien perusteella sekä tarkastellaan suunnitteilla olevia hankkeita. Viidennessä luvussa esitellään Suomen energiantuotantorakenne ja arvioidaan aurinkovoiman roolia siinä nyt ja tulevaisuudessa. Lopuksi käsitellyt aiheet vedetään yhteen ja johtopäätöksinä pohditaan aurinkovoiman kasvun mahdollisuuksia ja haasteita Suomessa.

2. AURINKOSÄHKÖN TUOTANTO AURINKO- PUISTOISSA

Aurinkopuisto tarkoittaa sähkövoimalaa, joka koostuu monista kymmenistä aurinkopaneeleista ja tuottaa tehoa vähintään yhden megawatin (MW) ja on pinta-alaltaan vähintään yhden hehtaarin suuruinen. [6] Aurinkosähkön tuotanto aurinkopuistoissa perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa auringon säteily muutetaan sähköksi aurinkopaneelien avulla. Auringonsäteily, joka voidaan hyödyntää aurinkopaneeleissa, on pääosin näkyvän valon alueella [7 s.9]. Säteily koostuu fotoneista, jotka törmätessään aurinkopaneelin kennoihin synnyttävät sähkövirran. Paneelit valmistetaan yleisimmin kiteisestä piistä [8], mutta muitakin materiaaleja voidaan käyttää. Aurinkopuistot koostuvat laajoista paneelientistä, joita täydentävät invertterit, jotka muuttavat tasavirran vaihtovirraksi. Lisäksi aurinkopuistossa on muita rakenteellisia komponentteja, kuten sähköliitäntäpisteitä, telineitä ja paaluja. Teollisen mittaluokan voimalat tuottavat pääsääntöisesti sähköä jakeluverkkoon. Puiston sijainti ja ympäristötekijät, kuten säteilyn määrä ja maaston ominaisuudet, vaikuttavat merkittävästi energiantuotannon tehokkuuteen. [9]

2.1 Valosähköinen ilmiö

Valo on sähkömagneettinen aalto. Sähkömagneettisen säteilyn vaikutuksesta syntyy valosähköinen ilmiö. Valosähköisessä ilmiössä fotonit eli valohiukkaset törmäävät metallisiin elektroneihin ja törmäyksen seurauksena elektronit saavat energiaa irrotakseen. Valosähköisessä ilmiössä sähköä syntyy vasta, kun säteilyn taajuus ylittää kynnystaajuuden. Edes tarpeeksi voimakas intensiteetti ei riitä, jos säteilyn taajuus ei ole tarpeeksi korkea. Säteilyn intensiteetti maanpinnalle on noin 1000 W/m^2 . Aurinkosovelluksissa tarkastellaan vuotuista auringon kokonaissäteilyä, joka sisältää sekä suoran auringonsäteilyn että ilmakehän, pilvien ja maan pinnan aiheuttaman hajasäteilyn. Etelä-Suomessa säteilyn määrä on noin 980 kWh/m^2 , kun taas Pohjois-Suomessa noin 750 kWh/m^2 [7 s.10]. Jokaisella fotonilla on energiaa

$$E = hf \tag{1}$$

verran, missä h on Planckin vakio ja f taajuus. [10] Planckin vakio on $6,6261 \text{ J/s}^{34}$, jonka pienuuden takia ihminen ei pysty havaitsemaan yksittäisiä fotoneita arkielämässä [11]. Hiukkasmallin mukaan intensiteetin kasvaminen lisää pelkästään fotonien määrää eikä kasvata fotonien energiaa. Ilmiössä ei tapahdu myöskään ollenkaan viiveitä, koska energian muuntuminen tapahtuu törmäyksen seurauksena. Tämä on mielenkiintoista

energiatuotannon kannalta, sillä ilmiön välitön tapahtuminen mahdollistaa nopeat ja tehokkaat energiakonversiot eli valoenergian muuntumisen sähköenergiaksi [7 s.11].

Aurinkokennon hyötysuhde tarkoittaa sitä, kuinka suuri osa siihen osuvasta auringonvalon energiasta muuttuu sähköksi. Tämä hyötysuhde voi vaihdella eri valaistusolosuhteissa, kuten suorassa auringonpaisteessa ja hajavalossa. Hajavallo syntyy, kun auringon säteet hajaantuvat ilmakehän molekyylien tai pilvien kautta ennen kuin ne osuvat aurinkokennoon. Aurinkokennon valmistusmateriaali vaikuttaa sen kykyyn hyödyntää erilaista valoa. Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on puolijohteen kaistaväli (bandgap), joka määrää, minkä energian omaavaa valoa materiaali voi muuntaa sähköksi. Esimerkiksi piillä, yleisimmin käytetyllä aurinkokennomateriaalilla, on tietty kaistaväli, joka on optimoitu suoralle auringonvalolle. [13 s.28]

Jos kaistaväli on normaalia suurempi, aurinkokenno pystyy ottamaan enemmän irti hajavalosta, sillä se hyödyntää tehokkaammin lyhytaaltoista säteilyä. Tämä parantaa aurinkokennon hyötysuhdetta pilvisinä päivinä tai varjostetuissa olosuhteissa. Tämän vuoksi kaistavälin optimointi on tärkeä osa aurinkokennojen suunnittelua, jotta ne toimisivat mahdollisimman hyvin erilaisissa valaistusolosuhteissa. [13 s.28]

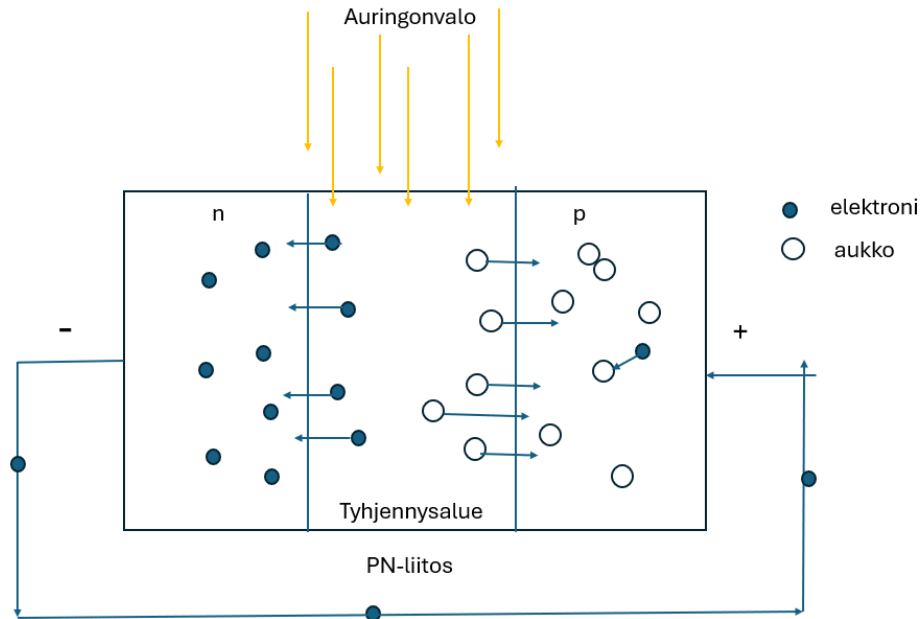
2.2 Aurinkopaneelien toiminta

Aurinkopaneeleja on monenlaisia, mutta tässä käydään läpi yleisimmän piikennon rakenne ja toiminta. Piikennot koostuvat kahdesta erilaisesta puolijohteesta. Pii (Si) on yksi tällainen puolijohde. Puolijohdeet ovat materiaaleja, jotka johtavat sähköä paremmin kuin eristeet, mutta huonommin kuin johteet. Piikiteellä on niin sanottu timanttikiderakenne, jossa jokaisella atomilla on neljä lähintä naapuria tetraedrin kärjissä. Tämä rakenne muodostuu piin sidoksista, joissa atomin neljä ulointa elektronia osallistuvat sidoksiin. Kaikki valenssielektronit ovat näin ollen mukana sidoksissa. Monet muut teollisesti tärkeät puolijohdeet kiteytyvät samankaltaisiin hila-asetelmiin, ja niillä on samanlainen sidoselektronien järjestäytyminen. Kiderakenne vaikuttaa puolijohteen sähköisiin ja optisiin ominaisuuksiin merkittävästi. [7]

Aurinkokennojen toiminnan ytimessä on puolijohdeiden välinen rajapinta eli pn-liitos, jossa syntyy sähkövirta valon vaikutuksesta. Tätä varten piihin lisätään tarkoituksella epäpuhtauksia, jotta saadaan aikaan kahta erityyppistä materiaalia: N-tyyppiä ja P-tyyppiä. N-tyypin puolijohdeessa on ylimääräisiä negatiivisia elektroneja, kun taas P-tyypissä on aukkoja. Aukot ovat negatiivisen varauksen puutetta ja ne voidaan ajatella toimivan positiivisina varauksina. Puolijohde voi johtaa sähköä vain, jos siihen tuodaan varauk-

senkuljettajia. [7 s.10] N-tyyppin puolijohde syntyy, kun siihen lisätään ryhmän 5 alkuainetta, kuten fosforia. Fosforiatomilla on viisi ulkoelektronia, mutta piiatomit tarvitsevat vain neljä sitoutuakseen toisiinsa. Ylimääräinen elektroni jää vapaaksi ja siirtyy johtavuusvyöhön, jolloin materiaali saa lisää varauksenkuljettajia ja muuttuu negatiiviseksi johteeksi. P-tyyppin puolijohde puolestaan syntyy, kun materiaaliin lisätään ryhmän 3 alkuainetta, kuten booria. Boorilla on vain kolme ulkoelektronia, vaikka kovalenttisen sidoksen muodostamiseen piin kanssa tarvittaisiin neljä. Tämä jättää valenssivyöhön aukkoja, jotka toimivat varauksenkuljettajina ja käyttäytyvät kuin positiiviset varaukset. [7 s.10 ,13 s.47]

Näiden kahden puolijohteen välissä on pn-liitoskerros, johon auringonvalon fotonit törmäävät. Fotonit sisältävät energiaa, jotka irrottavat elektroneja ja aukkoja. Liitoksesta syntyy sähkökenttä, joka ajaa elektronit n-johteeseen ja aukot p-johteeseen. Tätä kutsutaan generaatioksi. Vastakkaista ilmiötä kutsutaan rekombinaatioksi. Molempia ilmiöitä tapahtuu koko ajan, jolloin ne tasapainottavat toisiaan. Potentiaaliero puolijohdeiden välissä saa elektronit virtaamaan ulkoisessa virtapiirissä. Puolijohdeessa syntyvä sähkövirta kerätään solun etu- ja takapuolella olevien kontaktien kautta. Rajapinta suuntaa elektronien ja aukkojen liikettä ja se päästää virtaa vain yhteen suuntaan. Jännitelähteen plusnapa on p-puolijohdeessa ja miinusnapa n-puolijohdeessa, kuten Kuvassa 1 on esitetty. Liitoksen rajapinta toimii diodina. Diodi on siis puolijohdekomponentti, joka johtaa sähkövirtaa vain yhteen suuntaan. [1 s.35]



Kuva 1: PN-liitoksen toimintaperiaate aurinkokennossa. Auringonvalo synnyttää elektroni–aukkopareja tyhjennysalueella, ja sähkökenttä erottaa ne toisistaan. Elektronit liikkuvat n-alueelle ja aukot p-alueelle. Tämä liike tuottaa sähkövirran ulkoiseen piiriin [6 s.11].

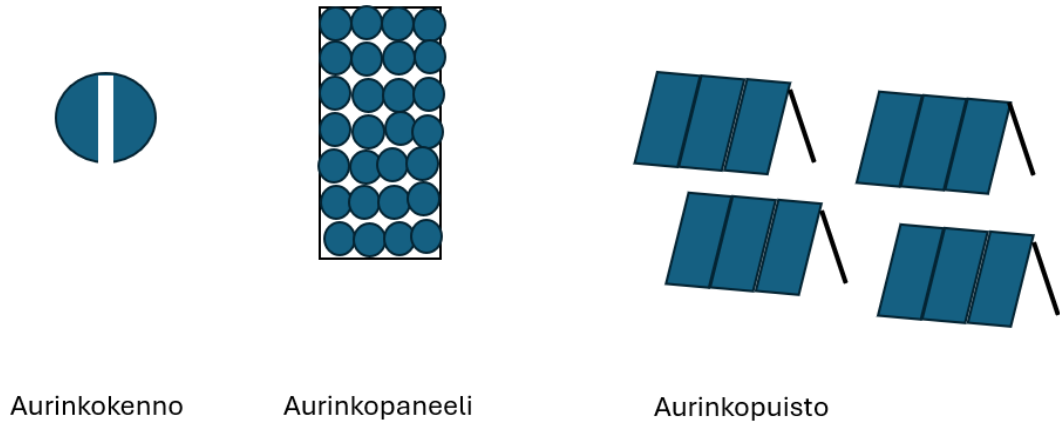
Auringonvalo saavuttaa puolijohteen rajapinnan, jossa diodina toimiva rakenne ohjaa valon vapauttamat elektronit ja aukot eri puolille rajapintaa. Diodi estää näiden varauksenkuljettajien rekombinaation, mikä mahdollistaa sähkövirran synnyn.

Pienen diodin rajapinnan pinta-ala on kuitenkin hyvin pieni, minkä vuoksi sen tuottama sähkövirta on vähäinen. Virran määrää voidaan kasvattaa valmistamalla suurempia aurinkokennoja. Tavallisissa diodeissa suojakuori estää valon pääsyn puolijohteeseen, joten kuori on poistettava, jotta sähkövirta voi muodostua. Näistä avoimista piidiodeista syntyy aurinkokennoja, jotka muuntavat auringon säteilyn sähköenergiaksi. [1 s.38]

Aurinkopaneeli taas koostuu monista aurinkokennoista, jotka voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan riippuen, millainen virta ja teho halutaan. Yksittäisen aurinkokennon tuottama jännite on pieni, mutta sitä kasvatetaan kytkemällä kennoja sarjaan. Yhteiseksi jännitteeksi tulee yksittäisten paneelien summa. Rinnankytkennässä kokonaisvirraksi tulee virtojen summa. [1 s.52]

Aurinkopaneeli koostuu itse kennosta, jossa valosähköinen ilmiö tapahtuu ja sitä suojaa vieraista elementeistä. Aurinkokennoja kytetään riittävä määrä sarjaan ja ne kootaan alustalevylle vieretysten, kuten Kuvassa 2 on esitetty. Vesitiivis suojakalvo asennetaan mo-

lemmin puolin kennoa ja sen päälle kasataan vielä pinnoitettu lasi ja alumiinikehys. Pinnoite vähentää valon heijastumista solun pinnasta, mikä parantaa kennon tehokkuutta. Aurinkokennon alapuolella on taustalevy, joka on materiaaliltaan esimerkiksi komposiittia. Lisäksi paneeliin kuuluu kytkentärasia. [13]



Kuva 2: Aurinkosähkön tuotannon rakenne, muokattu lähteestä [13 s.85].

Aurinkopuisto koostuu suuresta määrästä aurinkopaneeleja. Maa-asenteisessa aurinkopuistossa paneeleja voidaan sijoittaa vierekkäin ja päällekkäin halutun määrän mukaan. Mitä useampaan kerrokseen paneeleja asennetaan päällekkäin, sitä korkeammaksi asennus muodostuu ja sitä suuremman rivivälin rakentaminen vaatii, jotta varjostukselta vältytään. [6]

Aurinkopaneeleista voidaan tehdä myös kaksipuolisia korvaamalla alumiinikehysten pohja lasilla. Tällöin myös paneelin takapuolelta saadaan säteily talteen. Kaksipuoliset paneelit sopivat erityisesti aurinkopuistoihin, jossa paneelit asennetaan sellaiseen kulmaan, että paneelin taakse pääsee valoa. Erityisesti kevättalvella lumesta syntyvä heijastus saadaan hyvin talteen kaksipuolisilla paneeleilla. Myös edellisestä paneelirivistä tuleva heijastus voidaan hyödyntää. [15]

2.3 Aurinkopuistojen rakenne

Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähkijärjestelmien eli niin sanottujen On-grid järjestelmien komponentit ovat aurinkopaneelit ja niiden telineet sekä elektroninen infrastruktuuri. Turvakytkimet, sähköpääkeskukset ja sähkömittarit kuuluvat myös kokonaisuuteen. Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, joka täytyy muuttaa verkkoon sopivaksi vaihtovirraksi vaihtosuuntaajan avulla. [7 s.49] On-grid-järjestelmiä on kahdenlaisia: toisissa aurinkopaneelien tuottama sähkö siirretään suoraan sähköverkkoon muuntajan

kautta, kun taas toisissa energia varastoidaan ensin akustoon ja yhdistetään sitten sähköverkkoon. Akusto auttaa tasapainottamaan sähkönsyöttöä ja varmistamaan energian saatavuuden myös tuotannon vaihteluissa. [13 s.229]

Invertteri on aurinkopaneelijärjestelmän keskeinen laite, johon paneelit kytketään. Se toimii vaihtosuuntaajana, joka muuntaa paneelien tuottaman tasavirran verkon vaatimusten mukaiseksi vaihtovirraksi. Invertterin tuottaman vaihtosähkön jännitteen ja taajuuden on vastattava sähköverkon ominaisuuksia. Aurinkopaneelien tuottama energia syötetään invertterin ja muuntajan kautta suoraan sähköverkkoon. Muuntaja nostaa jännitteen sopivaksi siirtoverkkoon. [7 s.57]

Suuret aurinkopuistot rakennetaan yleensä maahan telineiden varaan, tasaiselle käyttökelpottomalle maalle. Asennusmahdollisuuksia on monia ja ne riippuvat hyvin pitkälti maaperästä. Telineet valmistetaan usein betonista tai teräksestä, sillä niiden on kestävä vaihtelevia ympäristöolosuhteita. Yleisimmät perustamismenetelmät ovat pora- tai lyöntipaalaus sekä massanvaihto. [16] Happamat sulfaattimaat, joita esiintyy erityisesti rannikoilla voivat aiheuttaa korroosiota eli materiaalien rappeutumista rakenteisiin, mikä tulee huomioida telineiden valinnassa [9].

Aurinkopuistot vaativat laajoja maa-alueita, joten niiden ympäristövaikutukset ovat tärkeitä huomioida. Paneelirivien väliin jätetään tilaa, jotta kasvillisuus voi säilyä ja eläimet pääsevät liikkumaan esteettä. Ihmisille suojavyöhykkeeksi on määritetty 50 metriä. Suojavyöhyke tarkoittaa aluetta, joka pidetään vapaana turvallisuuden ja mahdollisten haittavaikutusten, kuten häikäisyn, minimoimiseksi. Lisäksi puistoja ympäröiviin aitoihin voidaan jättää aukkoja, jotka mahdollistavat pienten eläinten kulun alueen läpi. [9,17]

2.4 Ympäristön vaikutukset aurinkosähkön tuotantoon

Ympäristön olosuhteet, kuten erityisesti varjostukset, lämpötila ja intensiteetti, vaikuttavat aurinkoenergian tuotantoon merkittävästi Aurinkopaneelit tulee sijoittaa niin, että suuntaus ja kallistuskulma on optimaaliset. Suuntauksella voidaan myös vaikuttaa siihen, mihin vuorokauden aikaan tuotetaan sähköä. [7 s.19–21]

Perinteisesti on ajateltu, että vuosituotanto Suomessa ei ole enää optimaalinen, jos kallistuskulma on alle 30 astetta tai yli 90 astetta [1 s.27]. Uuden tutkimuksen myötä optimaalisin kallistuskulma Oulun korkeudella on 28 astetta ympäri vuoden. 28°:n kallistuskulmassa oleva aurinkopaneeli tuotti vuositasolla 3 % enemmän energiaa verrattuna paneeleihin, joiden kallistuskulmat vaihtelivat välillä 23°– 46°. Kallistuskulman vaihteluilla voidaan eri kuukausina tuottaa eri määrä energiaa. Pystysuorat paneelit tuottavat enemmän syksyllä ja talvella, kun taas kesällä tuottavampia ovat pienemmällä kulmalla olevat

paneelit. Matala kallistuskulma tuottaa myös pienemmät varjostushäviöt silloin, kun paneelit on asennettu useaan riviin peräkkäin. [18]

Asennuskulma vaikuttaa myös täyttöasteeseen ja aurinkopuiston tilantarpeeseen. Mitä loivemmassa kulmassa paneelit asennetaan, sitä enemmän pinta-alaa voimalla edellyttää. Normaali täyttöaste on noin 30 astetta, jolloin tilantarve on 0,95–1,26 hehtaaria yhtä piikkimegawattia (MWp) kohden. Piikkimegawatti (MWp) kuvaa aurinkopaneelien nimellistehoja vakio-olosuhteissa, eli sitä tehoa, jonka paneelit tuottavat optimaalisessa aurin gonpaisteessa, kun säteilyn intensiteetti 1000 W/m² ja lämpötila 25 °C. Normaalilla täyttöasteella paneelien pinta-alan suhde kentän pinta-alaan on 40 % ja varjostuskulma 20 astetta. [6] Asennuskulmassa täytyy myös huomioida, että mitä jyrkempi paneelin kallistuskulma on, sitä enemmän tuuli voi tarttua paneeliin. Tämä lisää rakenteellista kuormitusta, mikä on huomioitava erityisesti perustusten suunnittelussa. [16]

Varjostus vaikuttaa merkittävästi aurinkopaneelien tuotantotehoon. Jo pieni varjostus paneelin osassa voi heikentää koko paneeliketjun suorituskykyä. Esimerkiksi, jos lehti varjostaa vain yhtä paneelia, muiden kennojen tuottama virta kulkee kuitenkin tämän paneelin läpi. Tämä voi kuumentaa kennoa liikaa. Osittaista varjostusta voidaan kuitenkin vähentää asentamalla ohitusdiodi, joka ohittaa ongelmakohdan ja estää jännitehäviöt sekä kuumapistet (hot spot) eli alueet, jolle lämpöä kerääntyy liikaa. [1] Rinnankytkennällä voidaan myös vähentää osittaisen varjostuksen ongelmaa. Tällöin jokainen kenno voi toimia itsenäisesti ja säilyttää isomman virrantuotannon. [19]

Lämpötila on yksi keskeisimmistä tekijöistä, joka vaikuttaa aurinkopaneelien sähköntuotantoon. Erityisesti jännitteen lämpötilariippuvuus on merkittävä huomioitava tekijä. [7 s.22] Aurinkopaneelien standardisoitu testilämpötila on 25 astetta, eli lämpötilassa, jossa paneelien hyötysuhteet on mitattu. Piikennossa jännitteen lasku on noin 2,3 mV / °C lämpötilan kasvaessa. Yleisesti Paneelien teho heikkenee 0,3–0,5 % / °C, jos säteilyn intensiteetti pysyy samana. [13 s.44] Aurinkopaneelit tulisi asentaa siten, että ilma pääsee kiertämään niiden ympärillä tehokkaasti ja jäähdyttämään niitä. Tämä toteutuu yleisesti paremmin aurinkopuistoissa kuin katolle asennettavissa paneeleissa. Myös Suomen viileä ilmasto on eduksi, sillä se auttaa pitämään paneelien lämpötilan alhaisempana ja parantaa näin niiden tehokkuutta.

Säteilyn intensiteetin kasvaessa paneelien tuottama sähkövirta kasvaa, koska fotonien määrä lisääntyy. Jännitteen kasvu on sen sijaan vähäistä ja se jätetään yleensä huomiomatta. Aurinkokennon tuottama teho on

$$P = IV \quad (2)$$

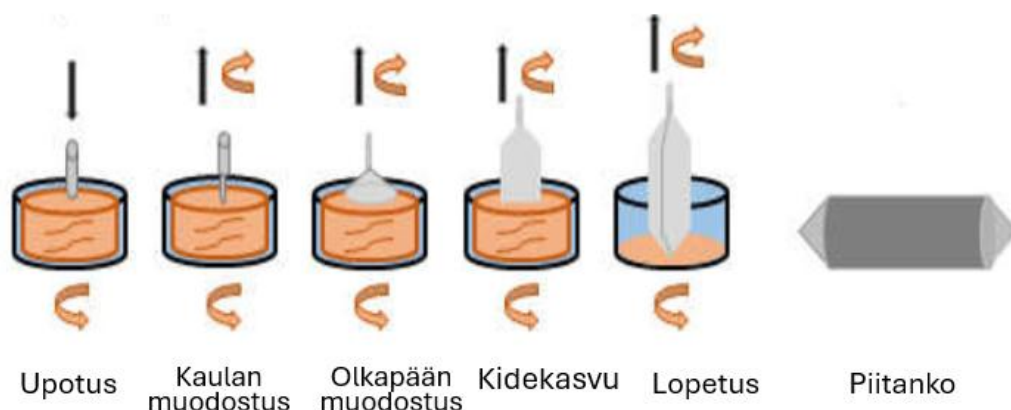
eli virran kasvaessa myös teho kasvaa. [13 s.45] Säteilyn intensiteetin vaikutus aurinkopaneelin suorituskykyyn ei kuitenkaan ole lineaarinen. Vaikka suurempi säteily määrä lisää virran tuotantoa, aurinkokennolla on rajallinen kyky hyödyntää kaikkea saapuvaa säteilyä. Lisäksi ilmankosteuden, pilvisyyden ja pölyn kaltaiset tekijät voivat vaikuttaa maahan saapuvan säteilyn intensiteettiin ja spektriin, mikä vaikuttaa suoraan aurinkopaneelien tuotantoon. Kun suhteellinen ilmankosteus vähenee, aurinkokennojen tuottama virta, jännite ja energia kasvavat. Pölyhiukkasten kertyminen aurinkopaneelin pinnalle vähentää valon pääsyä kennoon. Hiukkasten koko, tyyppi, tiheys ja asettumisaika vaikuttavat siihen, kuinka paljon ne häiritsevät aurinkopaneelin toimintaa. [20] Suomessa hiekkapölyn kertyminen ei kuitenkaan ole merkittävä ongelma, toisin kuin kuivemmilla alueilla. Keväisin siitepöly saattaa kuitenkin aiheuttaa samankaltaisia ongelmia. Optimaalinen sijoittelu ja paneelien puhtaus voivat siis merkittävästi parantaa energiansaantia erityisesti korkean säteilyintensiteetin alueilla. [21]

3. KENNOTYYPIT

Ensimmäiset aurinkopaneelit on valmistettu yksikiteisestä piistä. Myöhemmin kehitetty monikiteinen pii on tullut suosituksi, koska sen valmistus on edullisempaa. [1 s.43] Teknologian kehittyessä on syntynyt useita erilaisia aurinkokennotyyppejä, joiden tavoitteena on maksimoida hyötysuhde, alentaa tuotantokustannuksia ja parantaa soveltuvuutta erilaisiin käyttökohteisiin. Uudet teknologiat ovat kuitenkin vielä kehitysvaiheessa, eikä niitä voida hyödyntää laajasti, varsinkaan suurissa voimaloissa. [22]

3.1 Kiteinen pii

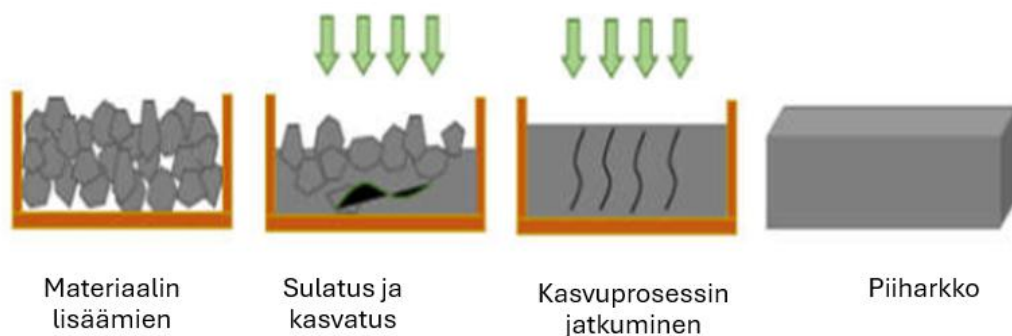
Maan kuoren toiseksi yleisin alkuaine on pii (Si), mikä tekee siitä edullisen ja käytännössä ehtymättömän. Luonnossa pii esiintyy kemiallisena yhdisteenä SiO_2 , joka on eriste eikä sellaisenaan sovellu aurinkokennoihin, joten sitä täytyy jalostaa. [1 s.31] Pii-materiaali puhdistetaan vyöhykesulatusmenetelmällä, jossa pii sulatetaan osittain ja annetaan sitten jäähmettyä uudelleen. Tämän prosessin aikana epäpuhtaudet erottuvat, ja piistä saadaan puhtaampaa. Sulatetusta piistä muodostuu pitkä ja ohut siemenkide, jota pyöritetään sulassa piissä samalla, kun sitä nostetaan hitaasti. Lopulta tästä siemenkideestä kasvaa sylinterinmuotoinen piikide. [8] Tämä sylinteri leikataan ohuiksi, neliönmuotoisiksi viipaleiksi, joiden pintaan lisätään metalliset johtimet. Yksittäiset kennot yhdistetään kuparinauhalla paneeleiksi. [13 s.35] Kuvassa 1 on esitetty yksinkertainen vaihekuvaus yksikiteisen piin valmistuksesta.



Kuva 3: Yksikiteisen piin valmistus, muokattu lähteestä [8].

Yksikiteinen pii on yksi yleisimmistä aurinkokennojen materiaaleista, ja se on ollut käytössä jo aurinkopaneeliteknologian alkuajoista lähtien. Sen suosio perustuu korkeaan hyötysuhteeseen, joka ylittää 20 %. Tyypillinen hyötysuhde on 18 % – 23 %, jolloin se tuottaa enemmän sähköä samalla paneelimäärällä verrattuna monikiteiseen piihin. [23] Materiaalina yksikiteinen pii erottuu täydellisellä kiderakenteellaan, mikä parantaa sen suorituskykyä. Sillä on korkea materiaalin puhtaus sekä alhainen raerajojen energia, mikä vähentää energiakatoa. Raeraja tarkoittaa siis kahden kiteen välistä rakoja. Raerajat toimivat virhepaikkoina, jossa tapahtuu helposti rekombinaatiota. Lisäksi yksikiteisellä piillä on heikko sisäinen vastus ja korkea hyötysuhde, mikä tekee siitä tehokkaan vaihtoehdon aurinkokennomateriaaliksi. Se on myös esteettisesti yhtenäinen, sillä sen tumma ja tasainen väri ei sisällä häiritseviä täpliä. Yksikiteisen piin haittapuolena on sen korkeampi hinta. Se maksaa noin 0,26 euroa per watti enemmän kuin monikiteinen pii. [8]

Monikiteinen pii on halvempaa, mutta sen hyötysuhde on myös alhaisempi 15–20 % [24]. Sitä valmistetaan valukidekasvatusmenetelmällä. Siinä piimalmi lisätään kvartsiitiinuun, sulatetaan ja kiteytetään säätelemällä lämpötilaa ja painetta. Lopuksi syntynyt piharkko leikataan viipaleiksi [8]. Monikiteinen pii valmistetaan usein yksikiteisen piin leikkuujätteistä, jotka sulatetaan ja kiteytetään uudelleen. Koska materiaali ei enää säilytä täydellistä kiderakennettaan, sen hyötysuhde on alhaisempi. Valmistusprosessi on kuitenkin yksinkertaisempi ja ympäristöystävällisempi, koska se hyödyntää jo olemassa olevaa piitä eikä vaadi uuden raaka-aineen louhintaa. [7 s.22] Monikiteinen pii koostuu monista pienistä kiteistä, mikä lisää raerajojen määrää ja kasvattaa energiakatoa. Tämä näkyy esimerkiksi suurempina lämpöhäviöinä verrattuna yksikiteiseen piihin. Lisäksi monikiteisen piin käyttöikä on lyhyempi. [24] Kuvassa 2 on esitetty monikiteisen piin valmistus.



Kuva 4: Monikiteisen piin valmistus, muokattu lähteestä [8].

Musta pii on suomalaisen Hele Savinin johtaman tutkimusryhmän kehittänyt uudenlainen kennotyyppi. Mustalla piillä on erittäin tehokas valon absorptiokyky laajalla aallonpituusalueella, minkä vuoksi se näyttää mustalta pinnalta [25]. Aurinkokennon pinta on peitetty piikikkäällä nanorakenteella. Kenno ei kärsi heijastushäviöistä, joita syntyy erityisesti lumen vaikutuksesta. Auringonsäteilyä voidaan kerätä laajemmasta kulmasta, mikä mahdollistaa auringonvalon hyödyntämisen pidemmän ajan vuorokaudesta. Korkein kennolla saavutettu hyötysuhde on 22,1 % [14, 26]. Mustan piikennon käyttö voi lisätä päivittäistä energiantuotantoa 3 %, kun sitä verrataan samaan hyötysuhteeseen yltävään perinteiseen kennoon. Myös valmistuskustannuksia voidaan pienentää, sillä se ei tarvitse erillistä pinnan heijastuksenestopinnoitetta. Suuren pinta-alan aiheuttama rekombinaatio-ongelma on edelleen ratkaisematta, joten se ei välttämättä sovi vielä sellaisenaan suurin aurinkopuistoihin. [25]

3.2 Ohutkalvokennot

Ohutkalvokennot voidaan luokitella neljään eri ryhmään: amorfiseen piihin, ohueen monikiteiseen piikalvokennoon, Kupari-indium-gallium-diseleniidiin (CIGS) ja Kadmiumtelluriidiin (cDTE). Ohutkalvokennot muodostetaan kerrostamalla eri materiaaleja. Ohutkalvokennot ovat nimensä mukaisesti ohuita, kevyitä ja joustavia, jolloin ne sopivat uudensovelluksiin, joihin perinteiset piikennot eivät taivu. [7 s.13]

Ensimmäisen sukupolven amorfisessa piissä (a-Si) pihiukkaset eivät sijaitse tarkasti määrättyillä etäisyyksillä toisistaan [13 s.63]. Amorfista piitä voidaan valmistaa monella eri tavalla, esimerkiksi kerrostamalla ohuita kalvoja. Tämä prosessi luo epä säännöllisen atomirakenteen, toisin kuin kiteinen pii, jossa atomit ovat järjestäytyneet säännölliseksi rakenteeksi. Tässä teknologiassa käytetään myös vähemmän piitä. Paras saavutettu hyötysuhde on 13,6% [7 s.12] Kennot koostuvat ohuesta puolijohde kerroksesta, jonka paksuus on 1000 –10 000 nm, jonka myötä kennot ovat joustavia taipuisia ja kevyitä. Ohuen kennon takia myös materiaalia kuluu vähemmän verrattuna perinteiseen piikidekennoon. Moduulien valmistuksessa ei tarvita erillisiä liitännöitä ja käsittelyjä, jotka myös madaltavat kustannuksia. [13 s.62] Suurin tekninen haaste näissä kennoissa on tunneliliitoksen muodostuminen yläsolun n-kerroksen ja alemman solun p-kerroksen väliin. Tunneliliitos tarvitaan, jotta varaukset voi liikkua helposti kerrosten välissä. Laboratoriossa voidaan saavuttaa hyviä tuloksia pienillä kennoilla, mutta suurten moduulien luotettava ja toistettava tuotanto on merkittävä haaste.

Kadmiumtelluridia voidaan valmistaa muun muassa höyrystämällä tai käyttämällä erilaisia jälkikäsittelemenetelmiä. CdTe-kennoilla on aurinkosähkösovelluksiin hyvin sopiva kaistaväli, mikä tekee niistä tehokkaita valon muuntamisessa sähköksi. Ne ovat edullisempia kuin perinteiset piikennot, mutta kadmiumin myrkyllisyys aiheuttaa haasteita erityisesti paneelien kierrätyksessä ja ympäristöturvallisuudessa. [13 s.72]

CIS-kennot (kupari-indium-diselenidi, CuInSe_2) ovat ohutkalvopohjaisia aurinkokennoja, joissa käytetään tätä puolijohdetta valon muuntamiseen sähköksi. Kehittyneempi versio, CIGS-kenno (kupari-indium-gallium-diselenidi), voi saavuttaa jopa 22,3 %:n hyötysuhteen. CIS- ja CIGS-kennojen etuna on se, että ne voidaan valmistaa erittäin ohuiksi ja taipuisiksi, mikä mahdollistaa niiden käytön monenlaisissa sovelluksissa, kuten taipuisissa pinnoissa ja integroiduissa aurinkosähköratkaisuissa. [13 s.68]

3.3 Uudet teknologiat

Moniliitoskennoissa kaikki puolijohdekerrokset on optimoitu eri auringonvalon aallonpituuksille. Tällöin on saatu korkeat hyötysuhteet. Kolmeliitoksisen kennon hyötysuhteeksi on mitattu 37,9 % ja neljän tai useamman liitoksen myötä hyötysuhde on saatu nostettua 46 %:iin. Moniliitoskennot ovat kuitenkin kalliita ja niitä on käytetty lähinnä avaruusteknologiassa. Rakenne koostuu useasta pn-liitoksesta. [7 s.14]

Peroskviittikennot (peroskvite-solar-cell, PSC) on uudenlainen paneeliteknologia. Absorboivana puolijohdeena on piin sijasta peroskviitti. Peroskviitti on mineraali, joka koostuu kalsiumtitaanista (CaTiO_3). Peroskviittikennoilla on korkea absorptiokerroin, joka mahdollistaa säteilyn hyödyntämisen koko näkyvän valon spektrin alueella. Kennoilla on hyvä hyötysuhde jopa 26 %. Kennoissa käytetään kuitenkin ympäristölle vaarallista lyijyä, joka vaikeuttaa niiden kierrättämistä. Kennojen epästabiilisuus on ollut ongelma, joka on haitannut kaupallistumisyrittäjiä. Kennot häiriintyvät herkästi ympäristökijöistä, kuten lämpötilan, kosteuden, valon ja hapen vaihtelusta. Olisi tärkeää myös löytää uusi lyijytön ratkaisu, jotta kennoja voisi kaupallistaa. [27]

Väriaineherkistetyt kennot (DSSC) toimivat keinotekoisella fotosynteesillä. Ne eivät sisällä myrkyllisiä aineita, vaan orgaanista ainetta, jota voidaan kerätä esimerkiksi marjoista. Sen toiminta ei perustu perinteiseen pn-liitokseen, vaan kennot muuntavat auringonvalon sähköenergiaksi fotoelektrokemiallisen järjestelmän avulla. [7 s.16] Uusimmat kehitykset keskittyvät luonnollisten väriaineiden ja kiinteiden elektrolyyttien hyödyntämiseen, sekä joustavien alustojen parantamiseen. DSSC:t ovat lupaavia sisätilojen aurinkosähköjärjestelmissä ja rakennusintegroiduissa sovelluksissa, mutta niiden tehokkuuden ja kestävyuden parantaminen on edelleen tutkimuksen kohteena. [28]

3.4 Yhteenveto eri kennoteknologioista

Taulukossa 1 vertaillaan eri kennoteknologioiden hyötysuhteita, hintoja sekä keskeisiä etuja ja haasteita. Hyötysuhteet on poimittu kirjallisuudesta ja ne edustavat yleisimpiä paneelien hyötysuhdehaarukoita. Hinta-sarakkeessa on tarkasteltu eri kennoteknologioiden hintoja suhteessa toisiinsa.

Taulukko 1: Eri kennoteknologioiden vertailu suhteessa toisiinsa. Hinnan suuruutta toisiin kennoteknologioihin verrattuna kuvataan +-symbolilla.

Teknologia	Hyötysuhde (%)	Hinta	Edut	Haasteet
Yksikiteinen pii	17–23 [1], [23]	+++ [7 s.12]	Korkea hyötysuhde, esteettinen, pitkä käyttöikä [7 s.12]	Kallis valmistaa [8]
Monikiteinen pii	16–20 [1], [24]	+ [7 s.12]	Ympäristöystävällinen, edullisempi valmistaa [7 s.13]	Alempi hyötysuhde, lyhyempi käyttöikä, suuremmat lämpöhäviöt [8]
Musta pii	22 [25]	++ [14]	Erinomainen valon absorptio, heijastushäviöt pienet, toimii hyvin lumisilla alueilla [25]	Uusi teknologia, vielä kehitteillä [14]
Ohutkalvo-kennot	9–23 [1]	++ [7 s.12]	Kevyt, joustava, voidaan valmistaa monille pinnoille [7 s, 13]	Yleisesti alempi hyötysuhde, haasteita suurten moduulien tuotannossa
Moniliitoskenno	38–46 [7 s.12]	++++ [7 s.12]	Erittäin korkea hyötysuhde [7 s.15]	Kallis ja monimutkainen valmistaa, ei vielä laajasti käytössä [7 s.14]
Perovskiitti-kenno	26 [27]	++ [27]	Korkea absorptiokerroin, hyvä hyötysuhde [27]	Epästabiili, lyijyongelma, herkkyys ympäristötekijöille [27]
Väriaineherkistetyt kennot	10 % [7 s.12]	+ [7 s.12]	Ei myrkyllisiä aineita, voidaan valmistaa orgaanisista materiaaleista [7 s.16]	Kehitteillä, Alhainen hyötysuhde, ei sovellu suuritehoisiin sovelluksiin [7 s.16]

Aurinkopuistojen kennoteknologian valintaan vaikuttavat erityisesti kustannustehokkuus ja hyötysuhde. Näiden tekijöiden perusteella monikiteinen piikenno on erinomainen vaihtoehto aurinkopuistoihin, sillä se on edullinen, helposti valmistettava ja tarjoaa kohtuullisen hyvän hyötysuhteen. Yksikiteinen pii on hieman kalliimpi, mutta sen korkeampi hyötysuhde tuottaa enemmän sähköä samalla pinta-alalla. [8]

Musta piikenno on lupaava vaihtoehto erityisesti Suomen olosuhteisiin. Sen erinomainen valon absorptio ja vähäiset heijastushäviöt voivat parantaa aurinkovoimaloiden suorituskykyä talvella, jolloin lumipeite ja heikko säteily asettavat haasteita perinteisille kennoille. [25]

Ohutkalvokennot voivat olla varteenotettava vaihtoehto aurinkopuistoihin, jos niiden valmistuskustannukset saadaan riittävän alhaisiksi ja laaja pinta-ala kompensoi niiden matalamman hyötysuhteen. Erityisesti Suomessa, jossa on runsaasti laajoja maa-alueita mutta vaihtelevat säteilyolosuhteet, ohutkalvoteknologian keveys, joustavuus ja alhaiset valmistuskustannukset voivat tehdä siitä kilpailukykyisen vaihtoehdon. Aurinkovoimaloiden kokonaiskustannukset määräytyvät pitkälti pinta-alaan liittyvien tekijöiden, kuten maan hinnan, rakenteiden, johdotuksen ja kuljetuksen perusteella. [22] Tästä syystä ohutkalvomoduulien hyötysuhteen tulisi olla vähintään 10 %, jotta ne pysyisivät kustannustehokkaina. [13 s.62]

Moniliitoskennot tarjoavat erittäin korkean hyötysuhteen, mutta niiden laajempi käyttö edellyttää valmistuskustannusten merkittävää laskua. Perovskiittikennot puolestaan ovat lupaavia korkean hyötysuhteensa ansiosta, mutta niiden epästabiilius ja herkkyys ympäristötekijöille rajoittavat vielä niiden käyttöä laajamittaisissa aurinkovoimaloissa.

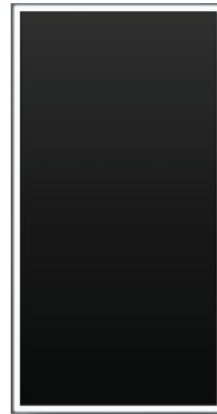
Yleisimmät aurinkokennoteknologiat voidaan erottaa toisistaan myös melko helposti ulkonäöllisten erojen avulla. Yksikiteinen paneeli on yhtenäisen värinen ja siitä voidaan erottaa piikennon valmistuksessa muodostuneet pyörityneet kulmat. Monikiteinen paneelin rakenne ja sävy näyttää epätasaisemmalta. Ohutkalvopaneelit ovat taas tummasävyisempiä, kuten Kuvasta 5 voidaan nähdä.



Yksikiteinen
piikidekenno



Monikiteinen
piikidekenno



ohutkalvokenno

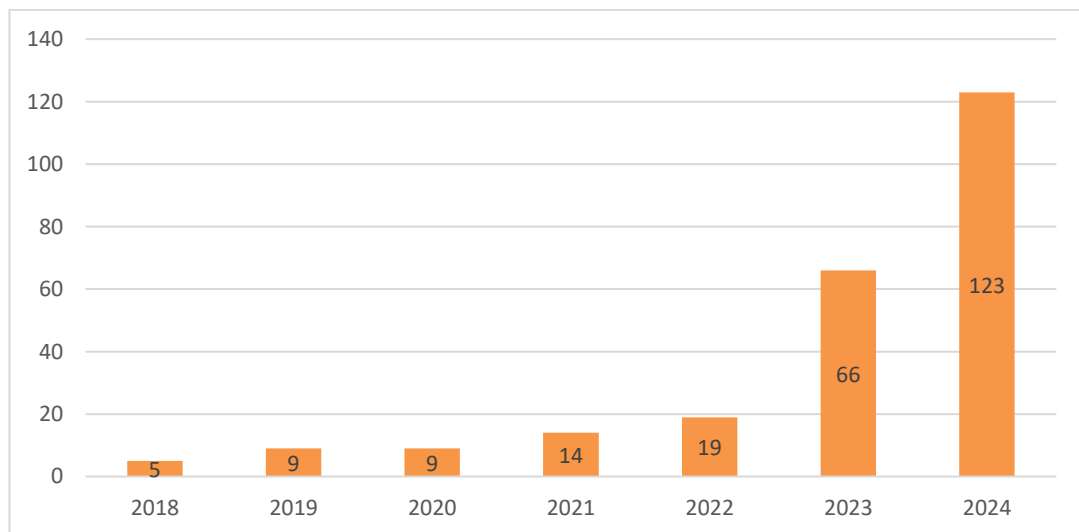
Kuva 5: Kennojen ulkonäölliset erot, muokattu lähteestä [29]

4. AURINKOPUISTOHANKKEET SUOMESSA

Tällä hetkellä Suomen aurinkoenergiatuotannosta suurin osa on vielä pientuotantoa eli yksityisten kiinteistöjen aurinkopaneeleja. Kuitenkin teollisen mittaluokan aurinkovoiman merkitys Suomessa on kasvanut nopeasti, ja suuria aurinkopuistoja rakennetaan yhä enemmän. Vuoden 2024 loppuun mennessä maassa oli 27 aurinkopuistoa, joiden yhteenlaskettu teho oli 123 MW, ja tulevaisuudessa kapasiteetin odotetaan kasvavan merkittävästi.

4.1 Aurinkopuistojen vertailu

Vuoteen 2024 mennessä vähintään yhden MW tuottavat aurinkopuistot Suomessa on listattu liitteessä A. Ensimmäinen Suomeen valmistunut aurinkopuisto, Atria Aurinkovoima, valmistui vuonna 2018 Nurmoon. Ennen vuotta 2023 aurinkopuistojen yhteisteho oli 19 MW, mutta vuonna 2023 rakennettiin yhteensä 27 MW uutta kapasiteettia. Vuonna 2024 puolestaan lisättiin 57 MW. Kuvasta käy ilmi, että kapasiteetti on kasvanut merkittävästi. Tuotanto on kuusinkertaistunut vuodesta 2022 vuoteen 2024. [5]



Kuva 6: Aurinkopuistojen tehonkasvu Suomessa perustuen lähteeseen [5]

Paneelimäärät voivat vaihdella merkittävästi eri aurinkopuistojen välillä, vaikka tuotantokapasiteetti pysyy samana. Tämä voi johtua ympäristöolosuhteista, käytetystä paneelitekniikasta tai paneelien koon eroista. Keskimääräinen paneelimäärä on 2280 kappaletta aurinkopaneelia per 1 MW tehoa. [5] Taulukosta 2 voidaan todeta, että paneelien määrä suhteessa tehoon on pienentynyt. Tämä voi kertoa kehittyneestä teknologiasta ja paneelien paremmista hyötysuhteista. On mahdollista myös, että paneelien pinta-alat

ovat kasvaneet. Tällä hetkellä aurinkopuistoissa käytetään yleisimmin kaksipuolisia n-tyypin yksikidepiikkeitä, joiden teho on noin 600 W. Aurinkopaneeliteknologia kehittyy jatkuvasti, ja hyötysuhteet ovat parantuneet vuosittain noin 0,5–1 %. [22]

Taulukko 2: Paneelien kappalemäärä suhteessa tehoon, perustuen lähteeseen [5].

Vuosi	kpl/MW
ennen vuotta 2023	2990
2023	2000
2024	1850

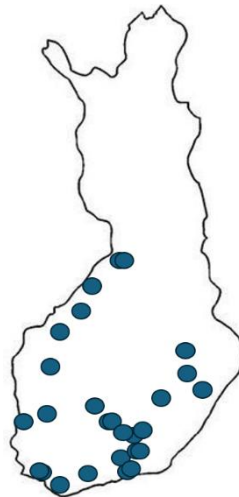
Aurinkopuistojen sijoittaminen vaatii tarkkaa harkintaa, ja on tärkeää valita alueet, jotka tarjoavat parhaat mahdollisuudet tehokkaalle ja kestäväälle energiantuotannolle. Parhaita alueita aurinkovoimaloille ovat tasaiset alueet, kuten pellot ja joutomaat, sillä ne mahdollistavat helpon asennuksen ja vähentävät maata vaativien toimenpiteiden tarvetta. Peitetyt kaatopaikat voivat myös olla hyviä vaihtoehtoja, sillä alueet on jo otettu pois muusta käytöstä, ja niiden maanpinnan käsittely on usein helpompaa. Tärkeää on myös, että alueet sijaitsevat lähellä sähköasemaa, jolloin sähköntuotannon siirto verkkoon on sujuvampaa ja kustannustehokkaampaa. Hyvät kulkuyhteydet ovat olennaisia, jotta huolto ja ylläpito on mahdollista. Samalla on otettava huomioon mahdolliset suojavyöhykkeet ja ympäristöriskit, jotka voivat rajoittaa rakentamista. Erityisesti turvesuot ovat hankalia paikkoja aurinkopuistojen rakentamiselle, koska niiden luvittaminen on usein monimutkaisempaa ja vaatii erityisiä ympäristötarkastuksia. [9]

Maantieteellisessä tarkastelussa Suomi on jaettu seuraavasti: Etelä-Suomeen kuuluvat Uusimaa, Itä-Uusimaa, Häme, Päijät-Häme ja Kymenlaakso. Pohjois-Suomeen puolestaan kuuluvat Pohjois-Pohjanmaa, Kainuu ja Lappi. Itä-Suomeen kuuluvat Etelä-Karjala, Etelä-Savo, Savo ja Pohjois-Karjala. Länsi-Suomeen taas kuuluvat Varsinais-Suomi, Satakunta, Pirkanmaa, Pohjanmaa, Etelä-Pohjanmaa ja Keski-Pohjanmaa. Taulukosta 3 huomataan, että eniten aurinkopuistoja sijaitsee Etelä- ja Länsi-Suomessa. Kuitenkin tehoja vertaillen voidaan havaita, että Länsi-Suomessa on yli kaksi kertaa enemmän tehoa kuin Etelä-Suomessa. Länsi-Suomen suurin aurinkopuisto on Rauman Lakari, jonka teho on yksinään 32 MW.

Taulukko 3: Aurinkopuistojen maantieteellinen vertailu vuoden 2024 lopussa, perustuen lähteeseen [5].

Alue	Aurinkopuistojen määrä (kpl)	Teho (MW)
Etelä-Suomi	11	29
Pohjois-Suomi	2	10
Itä-Suomi	4	18
Länsi-Suomi	10	66

Etelään ja länteen rakennetaan enemmän aurinkovoimaa, koska alueilla on suurempi säteily määrä, tiheämpi asutus, parempi sähköverkkoinfrastruktuuri sekä laajoja avoimia peltoalueita. Lisäksi lumikuorma on pienempi, mikä parantaa voimaloiden tehokkuutta. [7] Kuvassa 4 on esitetty kaikki teholtaan yli 1 MW:n aurinkopuistot, jotka on rakennettu vuoteen 2024 mennessä.



Kuva 4: Aurinkopuistojen sijainnit vuonna 2024, perustuen lähteeseen [5]

Aurinkopuistojen pinta-alat vaihtelevat yhdestä hehtaarista moniin kymmeneen hehtaareihin. Suurimmat ja tehokkaimmat voimalaitokset sijaitsevat pääasiassa Etelä- ja Länsi-Suomessa, missä aurinkoenergian saatavuus on parempi ja sähkönkulutus suurempaa. Esimerkiksi viimeisimpinä 2024 vuonna valmistuneena hankkeena Hirvensalmen aurinkovoimala kattaa 8,6 hehtaaria [15] ja tuottaa 4 MW energiaa [5]. Kun taas ensimmäisenä 2021 vuonna Nokialle valmistuneen Nokian renkaiden aurinkovoimala on 1,7 hehtaaria [5] ja tuottaa 1,1 MW tehoa. 2024 vuoteen mennessä Suomen suurimman aurinkopuiston Rauman Lakarin pinta-ala on 40 hehtaari [5] ja se tuottaa 32 MW tehoa [5].

Aurinkopuistojen investoinneissa suurimmat kustannukset syntyvät materiaaleista ja rakennustöistä. Investoinnin suuruuteen vaikuttaa paljon maakäytön muokkaustarve. Mitä valmiimpi maa on aurinkopuistolle, sitä halvemmaksi sen rakentaminen tulee. Suuri kustannustekijä on telineet ja niiden asennus. [22] Myös aurinkovoimalan liittäminen verkkoon on merkittävä kustannustekijä [30]. Esimerkkeinä Juva, Soljuva aurinkopuisto (5 MW) on maksanut noin 3 miljoonaa euroa [31] ja Boliden Harjavalta (3,8 MW) on maksanut 2,5 miljoonaa [32]. Jos verrataan aurinkopuistojen investointeja tuulivoimapuistojen hintoihin, niin voidaan huomata aurinkopuistojen olevan jonkin verran halvempia rakentaa. Yhden MW maatuulivoiman investointikustannus voidaan laskea olevan noin 1,2–1,5 miljoonaa euroa [33], kun taas keskimäärin 1MW aurinkovoimalan kustannukset ovat 0,5 miljoonaa euroa. [22]

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, suurjänniteisistä jakeluverkoista, jakeluverkoista ja sähkön kuluttajista [34]. Kantaverkon jännitetasot ovat 400 kV, 220 kV ja 110 kV, kun taas jakeluverkkojen jännitteet vaihtelevat 20 kV:sta aina 0,4 kV:iin [35]. 20 kilovoltin jänniteverkossa voidaan siirtää enintään 5 MW tehoa, kun taas 110 kilovoltin verkossa kapasiteetti nousee 20 MW:iin. Suomessa teolliset aurinkovoimalat hyödyntävät erilaisia sähkönsiirtoratkaisuja sijainnistaan ja kapasiteetistaan riippuen. [9]

Aurinkovoimaloiden sähköliitäntä toteutetaan tyypillisesti joko keskijänniteverkkoon tai suoraan korkeajänniteverkkoon, mikä mahdollistaa tuotetun sähkön tehokkaan siirron laajemmalle alueelle. Esimerkiksi Hirvensalmen aurinkovoimala on kytketty 20 kV keskijänniteverkkoon [36] ja Kannuksen Hietakankaan voimala hyödyntää 33 kV keskijänniteverkkoa [37]. Suurikapasiteettiset aurinkovoimalat, kuten Rauman Lakarin laitos, on liitetty suoraan 110 kV sähkölinjaan, mikä mahdollistaa suuren sähkömäärän siirtämisen laajalle kuluttajaverkostolle [38]. Lisäksi joissakin voimaloissa käytetään energiavarastointiratkaisuja, kuten akustoja, verkon tasapainottamiseen ja huippukuormitusten hallintaan, kuten Lahden Isku Sol aurinkovoimalassa [39].

4.2 Aurinkopuistojen tulevaisuus

Aurinkovoiman käyttö energianlähteenä on kiihtynyt Suomessa viime vuosina. Yhä suurempia aurinkopuistoja rakennetaan sekä kapasiteetiltaan että pinta-alaltaan. Vuoden 2024 lopussa Suomessa oli rakenteilla kymmenen aurinkopuistoa, joista kahdeksan on suunniteltu valmistuvan vuoden 2025 aikana. Rakenteilla olevien aurinkopuistojen arvioitu kapasiteetti on 531 MW. [40] Lisäksi esiselvitys ja luvitusvaiheessa puistoja on yhteensä vajaa 200.

On laskettu, että jos kaikki alustavastikin suunnitteilla olevat aurinkopuistot rakentuisivat, tulisi teho olemaan yli 16 000 MW [41] ja teollisen mittakaavan aurinkovoimaloiden tuotantokapasiteetti kasvaisi jopa 190-kertaiseksi vuoteen 2030 mennessä. [42] On kuitenkin tärkeää huomioida, että suurin osa hankkeista todennäköisesti kariutuu suunnittelu- vaiheessa. Isoihin investointihankkeisiin liittyy aina epävarmuuksia, eikä aurinkovoima- hankkeet ole poikkeus. Hankkeen kehityksen aikana voi ilmetä erilaisia esteitä, kuten sähköverkon kapasiteettirajoitteita tai ympäristö- ja maisematekijöitä, jotka voivat estää rakentamisluvan myöntämisen. Lisäksi alueella tehdyt kattavat ympäristö-, maaperä- ja luontotutkimukset voivat paljastaa seikkoja, jotka estävät hankkeen toteutuksen. [43]

Yksi merkittävimmistä suunnitteilla olevista aurinkopuistoista on Uuteenkaupunkiin rakennettava 200 MW:n voimala, johon on suunniteltu asennettavaksi 380 000 aurinkopa- neelia. Tämän voimalan tuotanto vastaisi laskennallisesti noin 20 000 kotitalouden vuo- tuista sähkönkulutusta. Muita suuria suunnitteilla olevia hankkeita ovat muun muassa Lappeenrantaan kaavailtu 600 MW:n aurinkopuisto sekä Kauhajoelle suunniteltu 500 MW:n voimala. [44]

Aurinkoenergian kehitystä vauhdittaa myös Euroopan unionin elpymis- ja palautumistu- kivälineestä (RRF) myönnettävä tuki. Tämän tukiohjelman avulla rahoitetaan ener- giainfrastruktuurihankkeita sekä uuden energiateknologian projekteja, joilla pyritään vä- hentämään Suomen kasvihuonekaasupäästöjä ja edistämään maan hiilineutraaliusta- voitteita. [45]

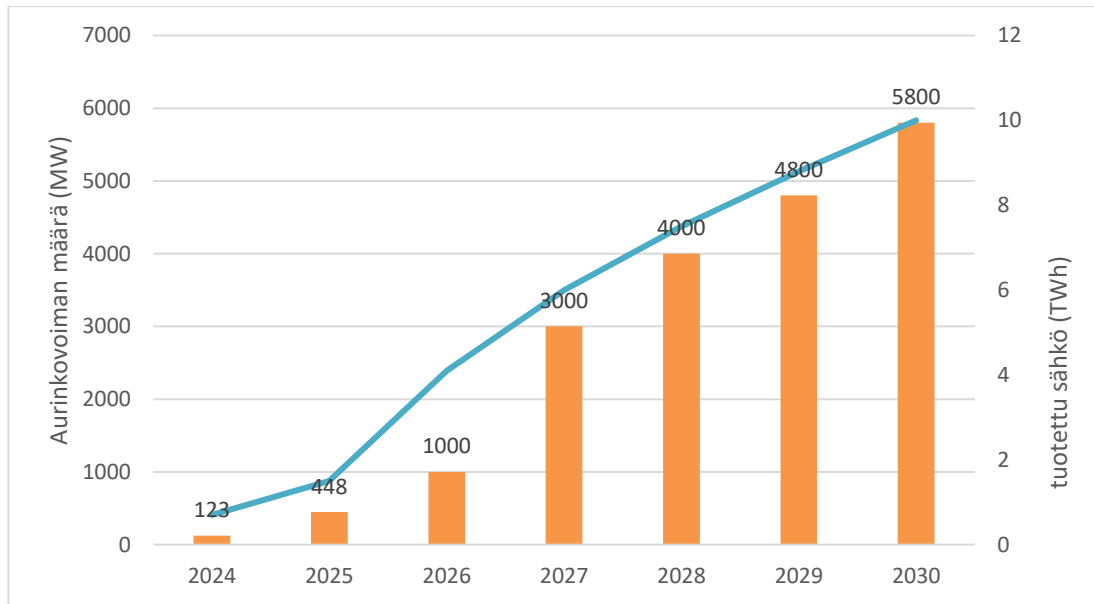
5. AURINKOPUISTOJEN MAHDOLLISUUDET ENERGIANTUOTANNOSSA

Suomen sähkönkulutuksen odotetaan kasvavan merkittävästi tulevina vuosikymmeninä erityisesti lämmityksen, liikenteen ja teollisuuden sähköistymisen seurauksena. Lisäksi vetytalouden kehittyminen lisää uusiutuvan sähkön kysyntää entisestään. Aurinkosähkö ei yksinään riitä vastaamaan tähän kasvuun, mutta yhdessä tuulivoiman kanssa se voi muodostaa keskeisen osan päästöttömästä energiajärjestelmästä. [42] Aurinkoenergiaan suhtaudutaan Suomessa yleisesti myönteisesti niin päättäjien kuin kansalaisten keskuudessa [46], mutta sen hyödyntämiseen liittyy edelleen haasteita, kuten investointien kannattavuus ja sähkön varastointitarpeet tuotannon vaihtelun vuoksi [22].

5.1 Aurinkoenergian tuotannon ennusteet Suomessa

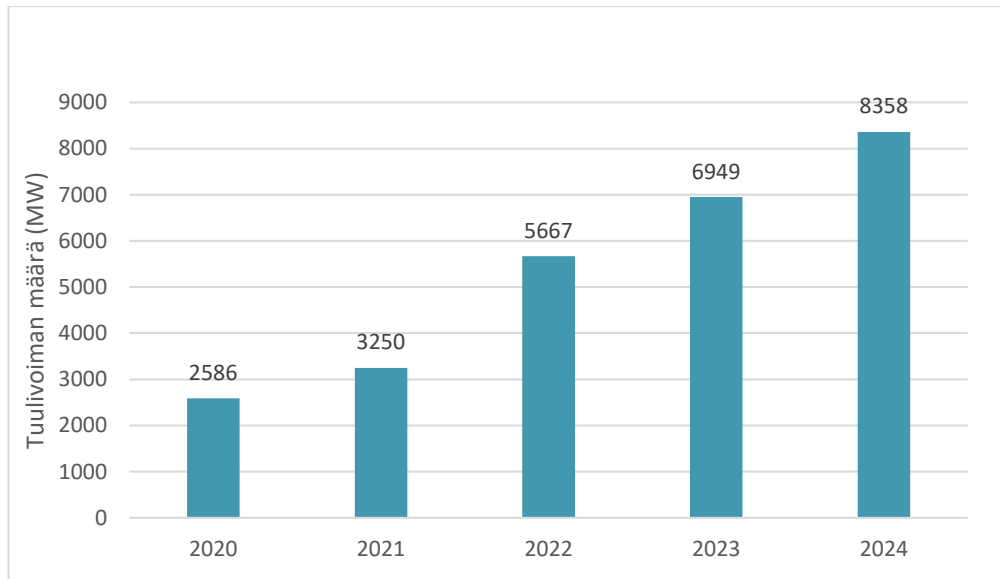
Ennustetaan, että suurten aurinkopuistojen rooli energiantuotannossa kasvaa. Aurinkoenergia ei ole enää pelkästään kotitalouksien tai pienten yritysten ratkaisu, vaan siitä tulee keskeinen osa Suomen energiantuotantoa. Fingrid arvioi, että aurinkosähköä tuotetaan Suomessa 10TWh vuonna 2030, kun 2024 sitä tuotettiin noin 1 TWh. Aurinkosähkön tuotanto siis kymmenkertaistuisi. Ennakoidaan, että Suomen kokonaissähkönkulutus tulee kasvamaan 140 terawattituntiin eli kasvua tulee 50TWh vuoteen 2030 mennessä. [47]

Ennusteiden mukaan aurinkovoimakapasiteetti kasvaa huomattavasti, erityisesti vuodesta 2025 alkaen, Kuva 6. [47] Vuonna 2024 aurinkovoimakapasiteetti on vielä vaatimaton noin 123 MW, vuonna 2025 kapasiteetti lähes nelinkertaistuu 448 megawattiin, ja vuonna 2026 se voisi ylittää 1000 MW:n rajan. Arvioidaan, että kasvu jatkuu kiihtyvänä. Vuoteen 2027 mennessä aurinkovoiman kapasiteetin ennustetaan olevan 3000 MW, ja vuoteen 2030 mennessä se kasvaa jo 5800 megawattiin. Tämä vastaa lähes 47-kertaista kasvua lähtötasoon verrattuna. [47] Ennustettu sähkön vuosituotanto on noin 5–8 % Suomen tämänhetkisestä sähkönkulutuksesta. Fingrid arvioi, että vaikka prosenttiosuudet ovat pieniä, vaikutus tulee kuitenkin näkymään erityisesti kesällä, kun sähkönkäyttö on matalampaa. [48]



Kuva 6: Ennustettu aurinkovoiman kasvu Suomessa 2024–2030. Oransseilla palkeilla on kuvattu aurinkovoiman määrä tehona (MW) ja sinisellä viivalla tuotettu sähkö (TWh), perustuen [5], [47].

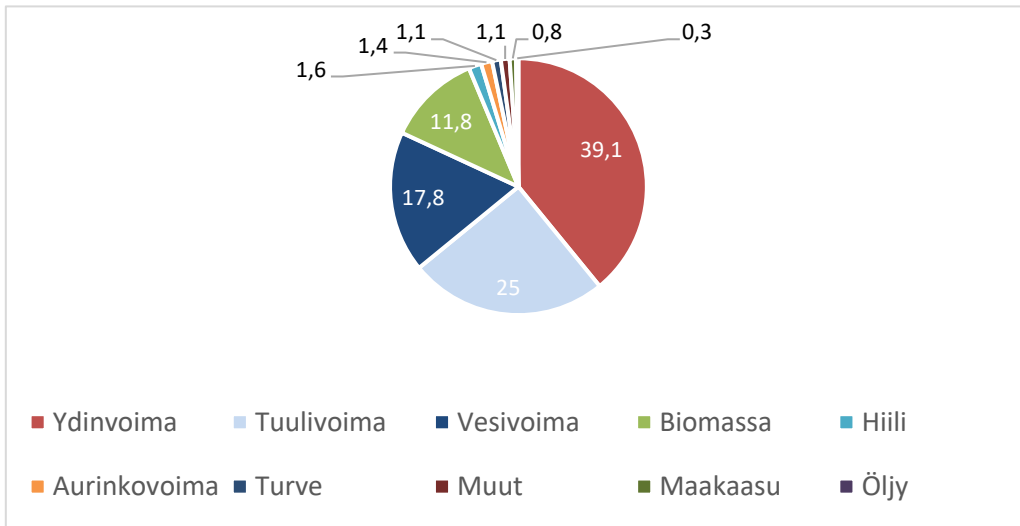
Kuvasta 6 voidaan huomata, että aurinkovoiman kasvuennuste on saman suuntainen kuin tuulivoiman kasvu 10 vuotta sitten. Tuulivoiman ja aurinkovoiman kasvu Suomessa noudattaa samankaltaista kehityskulkua, mutta eri aikajänteillä. Kuvassa 7 esitetään tuulivoiman kapasiteetin kasvu Suomessa vuosina 2020–2024. Tänä aikana tuotantokapasiteetti yli kolminkertaistuu, nousten vuoden 2020 tasosta (2 586 MW) vuoden 2024 ennustettuun määrään (8 358 MW). Kasvu on ollut erityisen nopeaa vuoden 2021 jälkeen, jolloin rakentaminen on kiihtynyt merkittävästi. Vuonna 2022 kapasiteetti kasvoi lähes 75 % edellisvuoteen verrattuna. [49] Tuulivoiman tuotannon arvioidaan kasvavan merkittävästi kasvavan sähkönkulutuksen vuoksi. Vuoteen 2030 mennessä kapasiteetin odotetaan nousevan 21 gigawattiin (GW), mikä mahdollistaisi 65–70 terawattitunnin (TWh) vuosituotannon. Tämä kattaisi noin puolet Suomen ennustetusta sähköntarpeesta. [47]



Kuva 7: Tuulivoiman kasvu (MW) Suomessa 2020 – 2024 , perustuen lähteeseen [49].

Vastaavasti aurinkovoiman ennustetaan kasvavan voimakkaasti erityisesti vuodesta 2025 alkaen. Vaikka aurinkovoiman kasvu on lupaavaa, sen rooli Suomen sähköntuotannossa on merkittävästi pienempi kuin tuulivoiman. Tuulivoiman etuna on kehittynyt teknologia sen kyky tuottaa sähköä suuremmalla kapasiteetilla ja tasaisemmin vuodenaikasta riippumatta, kun taas aurinkovoiman tuotanto painottuu Suomessa kesäkuukausiin. [49] Kuitenkin yhdessä nämä uusiutuvat energiamuodot voivat muodostaa merkittävän osan Suomen sähköntuotannosta tulevaisuudessa, tukien vihreää siirtymää ja kasvavaa sähkönkulutusta.

Suomen sähköntuotanto on nykyään lähes kokonaan fossiilivapaata, ja suurin osa sähköstä tuotetaan ydinvoimalla ja tuulivoimalla, Kuva 8. Ydinvoima kattaa noin 39,1 % sähköntuotannosta, ja tuulivoiman osuus on kasvanut merkittävästi, ollen nyt 25 %. Vesivoima (17,8 %) ja biomassapohjaiset polttoaineet täydentävät uusiutuvan energian osuutta. Aurinkovoiman rooli Suomen sähköntuotannossa on vielä pieni, noin 1,4 %, mutta sen odotetaan kasvavan tulevina vuosina. [50] Vertailun vuoksi tuulivoiman osuus oli 10 vuotta sitten vuonna 2015 vain 8 % [51], joten vastaavaa kehitystä voidaan odottaa myös aurinkoenergian kohdalla. Fossiiliset polttoaineet, kuten maakaasu (1,6 %), hiili (1,1 %), turve (0,8 %) ja öljy (0,3 %), ovat nykyään vain marginaalisessa roolissa Suomen energiantuotannossa. Tämä osoittaa merkittävää siirtymää kohti vähäpäästöistä ja uusiutuvaa energiantuotantoa.



Kuva 8: Suomen sähkötuotanto rakenne, muokattu lähteestä [50]

Suomen integroidun kansallisen energia- ja ilmastosuunnitelman (kesäkuu 2023) luonnoksessa esitetään puhtaan energian investointeja vuoteen 2030 saakka. Investoinnit perustuvat yksittäisten yritysten tekemiin ilmoituksiin ja ne ovat suuntaa antavia, useimmiten suunnittelu- ja esiselvitysvaiheessa olevia hankkeita. Suunnitelmassa esitetään taulukko, jossa on listattu uusiutuvien energioiden investointimääriä kohteittain. Kokonaisinvestointien arvo on 127 miljardia euroa, mikä on merkittävä summa, sillä Suomen bruttokansantuote (BKT) oli noin 265 miljardia euroa vuonna 2022. [52 s.139]

Aurinkoenergian osalta investoinnit ovat arviolta 900 miljoonaa euroa. Investointi on suuri, jos vertaa, että aurinkopuistojen rakentamiskustannus on noin 0,5 miljoonaa euroa yhtä megawattia kohden. [22] Tästä huolimatta aurinkoenergian osuus jää selvästi pienemmäksi verrattuna muihin uusiutuvan energian muotoihin. Suurin investointikohde on tuulivoimat. Maanpäällisiin tuulivoimaloiden rahoitus on 54 miljardia euroa ja merituulivoimaloiden 43 miljardia euroa. Ydinvoimaan verrattuna (1 miljardi) aurinkoenergian osuus on kuitenkin hyvin merkittävä.

5.2 Asenteet aurinkoenergiaa kohtaan

Asenteet aurinkovoimaa kohtaan vaikuttavat myös paljon sen tulevaisuuteen. Suhtautuminen teollisen kokoluokan aurinkovoimaloiden rakentamiseen on myönteinen. 95 % valtakunnallisista vaikuttajista kannattaa aurinkovoimaa. Valtakunnallisesti noin 48 % on sitä mieltä, että aurinkovoimaa pitäisi lisätä merkittävästi ja noin 47 % sitä mieltä, että

aurinkovoimaa tulisi lisätä jonkin verran. [46] Virassa olevat henkilöt kannattavat aurinkovoiman rakentamista vielä keskimääräistä myönteisemmin kuin muut, mutta myös yli 82% kansalaisista kannattaa aurinkovoiman tuotannon kasvua [52]. Yleisimmät kriittiset näkökulmat liittyvät maisemamuutoksiin, paloturvallisuuteen ja aurinkopuistojen vaikutuksiin alueen elämistöön. [53]

Poliittisesti kannatuksessa näkee enemmän hajontaa. Eniten aurinkovoimaa kannattavat vihreät ja RKP (Suomen ruotsalainen kansanpuolue), vähiten perussuomalaiset ja kristillisdemokraatit. Kuitenkin kaikki puolueet kannattavat edes jonkin verran aurinkovoiman kehittämistä. Erityisesti käyttämättömille turve ja tehdasalueille toivotaan aurinkovoiman rakentuvan. Metsiä ei haluta kaataa aurinkovoiman edestä. [46]

Päättäjäbarometrin mukaan vaikuttajat kokevat, että aurinkoenergian lisääminen parantaa erityisesti energiaomavaraisuutta sekä vähentää päästöjä ja hillitsee ilmastonmuutosta. Lisäksi sen nähdään edistävän vihreän siirtymän teollisia investointeja ja alentavan energian hintaa. Energia-asenne tutkimuksessa kolme tärkeintä energia- ja ilmasto-poliittista tavoitetta olivat kohtuullinen energian hinta, energiaomavaraisuuden kasvattaminen sekä päästövähennykset ja ilmastonmuutoksen hillitseminen. [46]

5.3 Aurinkopuistojen kehitysnäkymät Suomessa

Teknologinen kehitys vaikuttaa merkittävästi teollisen mittaluokan aurinkovoimainvestointeihin. Erityisesti telinerakenteet kehittyvät, ja markkinoille on tulossa auringon liikettä seuraavia järjestelmiä. Aurinkoseurantalaitteet ovat yksi keino parantaa järjestelmän tehokkuutta. Aurinkoseurantalaitteet liikuttavat aurinkopaneeleita näiden liikkeiden mukaisesti, pitäen ne parhaassa mahdollisessa asennossa suhteessa aurinkoon. Tutkimuksessa on havaittu, että kiinteä järjestelmä tarvitsisi noin 40 % enemmän paneeleita kuin kahden akselin seurannalla varustettu järjestelmä tuottaakseen saman vuosittaisen energiantuoton. [54]

Toisaalta seurantalaitteen oma energiankulutus on noin 2–3 % saadusta lisäenergiasta, joten lisälaitteita ei kannata rakentaa yksittäisin pieniin paneeleihin, mutta suurissa aurinkopuistoissa niiden käyttö voisi olla kannattavaa. Seurantajärjestelmiä harkittaessa, täytyy ottaa huomioon, että ne tuovat lisäkustannuksia. Seurantajärjestelmät voivat lisätä huollon tarvetta ja riskejä vikaantumisille. [54] Paneelien liikkumisen myötä voitaisiin kuitenkin tuottaa sähköä tehokkaammin aamu- ja iltapiikkeihin, jolloin sähkön markkinahinta on korkeampi. Nykyisin telineiden ja niiden asennuksen kustannukset voivat olla jopa suuremmat kuin itse aurinkopaneelien. Siksi telineteknologian kehittäminen on olennaista investointien kannattavuuden kannalta. [22]

Energian varastointi on yhä tärkeämmässä roolissa aurinkoenergian laajamittaisessa hyödyntämisessä. Koska aurinkoenergian tuotanto on sääriippuvaista, tuotannon ja kulutuksen välisen tasapainon saavuttamiseksi tarvitaan tehokkaita varastointiratkaisuja tai joustavaa tuotantoa. Varastointimenetelmiä on useita: yleisimmin käytetään sähköakkuja, mutta aurinkosähköä voidaan varastoida myös lämmöksi tai muuntaa vedyn muodossa talteen otettavaksi energiaksi. Tuotannon joustoon ratkaisuihin voisivat olla, esimerkiksi älykkäät invertterit. Ne voisivat seurata sähkömarkkinoiden hintoja ja optimoida tuotantoa kysynnän ja hintatason mukaan. [22]

Teollisen mittakaavan aurinkovoiman kasvua hidastavat taloudelliset haasteet. Yksi keskeinen ongelma on sähkön hinnan vaihtelu. Jotta aurinkovoimainvestoinnit olisivat kannattavia, sähkön hinnan tulisi pysyä riittävän korkealla. Suomessa sähkön hinta on kuitenkin erittäin vaihteleva, mikä vaikeuttaa investointien ennustettavuutta. Yksi ratkaisu tähän ovat pitkäaikaiset PPA-sopimukset (Power Purchase Agreement), joiden avulla voidaan taata aurinkovoiman tuottajille vakaa hintataso. Muita haasteita ovat korkeat korot ja investointien riippuvuus tukijärjestelmistä. Pitkään aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet, mutta viimeaikainen kehitys viittaa investointikustannusten kasvuun. Tämä voi hidastaa uusien hankkeiden toteutumista. [22]

Suomen sähköntarve kasvaa jatkuvasti teollisuuden, datakeskusten, liikenteen sekä lämmityksen sähköistymisen myötä. Esimerkiksi kaukolämmön ja teollisuuden sähkökattiloiden käyttö lämmön ja höyryn tuotannossa on lähivuosina lisääntymässä huomattavasti. Lisäksi liikenteen sähköntarpeen ennustetaan kolminkertaistuvan. Suunnitteilla olevat uusiutuvalla sähköllä tuotettu vety ja sähköpolttoaineet edellyttävät myös suuria määriä päästötöntä energiaa. Aurinkovoima voi tarjota tärkeän osaratkaisun tähän kasvavaan kysyntään. [47]

Sähköistymisen onnistumisessa on olennaista, että suomalainen teollisuus kykenee hyödyntämään tehokkaasti edullista mutta vaihtelevaa uusiutuvaa energiaa [47]. Samalla geopoliittinen epävarmuus korostaa energiaomavaraisuuden merkitystä. Aurinkovoimalat voivat omalta osaltaan parantaa Suomen energiavarmuutta ja vähentää riippuvuutta tuontienergiasta. Lisäksi aurinkoenergiahankkeet luovat työpaikkoja ja edistävät alueellista sekä kansallista talouskasvua. [22] Kaiken kaikkiaan teollisen mittaluokan aurinkovoimaloilla on lupaavat tulevaisuudennäkymät, sillä ne tarjoavat kustannustehokkaan, päästöttömän ja skaalautuvan ratkaisun kasvavan sähkönkulutuksen ja ilmastavoitteiden saavuttamiseksi

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Aurinkopuisto on teollisen mittakaavan sähkövoimala, joka koostuu kymmenistä tai jopa sadoista aurinkopaneeliriveistä ja tuottaa vähintään yhden megawatin tehoa. Pinta-alaltaan aurinkopuistot kattavat vähintään yhden hehtaarin alueen, mutta suurimmat aurinkopuistot voivat levittäytyä useiden kymmenien hehtaarien kokoisiksi. Aurinkopuistoissa sähköntuotanto perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa auringon säteily muutetaan sähköksi aurinkopaneelien avulla.

Tässä työssä tarkasteltiin teollisen mittakaavan aurinkopuistojen kehitystä Suomessa hyödyntäen julkisia lähteitä ja tiedotteita. Työn tavoitteena oli vertailla eri aurinkokennoteknologioita, tutkia aurinkopuistojen eroavaisuuksia ja arvioida aurinkopuistojen tulevaisuuden mahdollisuuksia Suomessa.

Yleisimmin käytetyt kennoteknologiat perustuvat piihin, joista yksikidepiikennot ovat tehokkaimpia, tyypillisesti 17–23 % hyötysuhteella. Näitä käytetään laajasti erityisesti kaksipuoleisina versioina, jotka voivat hyödyntää säteilyä paneelin molemmilta puolilta. Ohutkalvokennot puolestaan ovat kevyitä ja joustavia, mutta niiden matalampi hyötysuhde (9–13 %) rajoittaa niiden soveltuvuutta aurinkopuistoihin. Kennoteknologian kehitys on jatkuvaa, ja esimerkiksi musta pii tarjoaa lupaavia näkymiä erityisesti Suomen olosuhteisiin hyvien absorptio-ominaisuuksien vuoksi.

Aurinkopaneelien hyötysuhde paranee keskimäärin 0,5–1 prosenttiyksikköä vuodessa, ja samanaikaisesti paneelien teho kasvaa, mikä pienentää niiden tarvittavaa määrää suhteessa tuotettavaan energiaan. Sopivimpia paikkoja aurinkopuistoille ovat tasaiset alueet kuten pellot ja joutomaat, joiden hyödyntämiseen ei tarvita maanmuokkausta ja asennus on kustannustehokasta.

Suurimmat aurinkovoimalat sijaitsevat Etelä- ja Länsi-Suomessa, missä säteilyolosuhteet ja sähkön kysyntä ovat suotuisimmat. Esimerkiksi Rauman Lakariin vuonna 2024 valmistunut 40 hehtaarin kokoinen aurinkopuisto tuottaa 32 megawattia sähköä. Tulevaisuudessa puistot kasvavat entisestään. Uuteenkaupunkiin on suunnitteilla 200 MW:n voimala, jossa on tarkoitus käyttää jopa 380 000 aurinkopaneelia.

Aurinkosähkön merkitys Suomen energiantuotannossa on kasvussa. Fingridin arvion mukaan aurinkosähkön tuotanto nousee noin 1 terawattitunnista (TWh) vuonna 2024 jopa 10 TWh:iin vuoteen 2030 mennessä. Tämä kymmenkertaistuminen osoittaa, että

aurinkoenergia ei ole enää pelkästään kotitalouksien tai pienyritysten ratkaisu, vaan teollisen mittaluokan aurinkovoimaloista on tulossa keskeinen osa kansallista sähköntuotantoa.

Myös asenneilmapiiri on erittäin suotuisa: 95 % valtakunnallisista vaikuttajista ja 82 % kansalaisista suhtautuu myönteisesti aurinkovoimaan. Teknologian kehitys, kuten aurin gon liikettä seuraavat aurinkoseurantalaitteet, lisää järjestelmien tehokkuutta ja tekee tuotannosta entistä kannattavampaa. Energian varastointi nousee yhä keskeisempään rooliin, kun tavoitteena on tuottaa sähköä luotettavasti myös silloin, kun aurinko ei paista.

Aurinkovoiman laajamittaista hyödyntämistä hidastavat vielä taloudelliset haasteet, kuten sähkön hinnan vaihtelu. Jotta investoinnit olisivat kannattavia, tulisi sähkön markkinahinnan pysyä riittävän korkeana. Tästä huolimatta Suomen sähköntarve kasvaa jatkuvasti muun muassa teollisuuden, datakeskusten, liikenteen ja lämmityksen sähköistymisen seurauksena, ja aurinkovoima voi tarjota kestävä ja kilpailukykyisen osaratkaisun tähän tarpeeseen. Teollisen mittakaavan aurinkovoimaloilla on valoisa tulevaisuus osana Suomen hiilineutraalia ja energiaomavaraista yhteiskuntaa.

LÄHTEET

- [1] R. Perälä, *Aurinkosähkö*, ISBN 978-952-472-273-5, Tammikuu, 2017. Tallinna: Alfamer/Karisto Oy.
- [2] V. Wittwer, "Solar energy", teoksessa *Technology Guide: Principles - Applications - Trends*, 2009, ss. 352–357. doi: 10.1007/978-3-540-88546-7_66.
- [3] V. Kallio ja A. Riihelä, "Comparative validation of clear sky irradiance models over Finland", esitetty tilaisuudessa International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2018, ss. 1199–1202. doi: 10.1109/IGARSS.2018.8519270.
- [4] Finsolar aurinkoenergiatietoa, "Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus", Viitattu: 24. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>
- [5] Uusiutuvat ry, "Tuotannossa olevat aurinkovoimalat". Viitattu: 22. helmikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/aurinkovoimatilastot-2024/>
- [6] H. Happonen, "Miten aurinkopuisto toteutetaan? Näin etenee suunnittelu ja hankinta", Finnwind. Viitattu: 14. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://finnwind.fi/kasvata-turvallisesti-kiinteistosi-tuottoa-ja-arvoa-finnwind-aurinkosahkojarjestelmalla/>
- [7] I. Lehto, M. Orrberg, M. Ylinen, ja M. Andersen, *Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus*, vsk. 2021. Espoo: sähköinfo Oy.
- [8] L. Jiang, S. Cui, P. Sun, Y. Wang, ja C. Yang, "Comparison of Monocrystalline and Polycrystalline Solar Modules", esitetty tilaisuudessa Proceedings of 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference, ITOEC 2020, 2020, ss. 341–344. doi: 10.1109/ITOEC49072.2020.9141722.
- [9] A. Airaksinen, "Suomeen rakennetaan nyt yli 100 MW aurinkovoimaloita – "Tilanne kuin villissä lännessä kultaryntäyksen aikaan"", *Tekniikka&Talous*. Viitattu: 29. tammikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/suomeen-rakennetaan-nyt-yli-100-mw-aurinkovoimaloita-tilanne-kuin-villissa-lannessa-kultaryntayksen-ai-kaan/3bb8d53b-cf21-4db8-8955-444c24e699e1>
- [10] H. Jho, B. Lee, Y. Ji, ja S. Ha, "Discussion for the enhanced understanding of the photoelectric effect", *Eur. J. Phys.*, vsk. 44, nro 2, s. 025301, maaliskuu 2023, doi: 10.1088/1361-6404/acb39d.
- [11] *Tieteen termipankki 2.5.2025: Tähtitiede:Planckin vakio*. Viitattu: 7. helmikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://tieteentermipankki.fi/wiki/Fysiikka:Planckin_vakio
- [12] R. Zhang, "Recent advances in maximum power point tracking for energy harvest in solar photovoltaic systems: Recent advances in MPPT for energy harvest in solar PV systems", esitetty tilaisuudessa Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2024. doi: 10.1117/12.3026863.
- [13] T. Markvart, *Solar Electricity*, 2. p., vsk. Heinäkuu, 2000. UNESCO.
- [14] S. Virtanen, "Musta pii nousee", *Tekniikka&Talous*. Viitattu: 29. tammikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/musta-pii-nousee/ab55a28a-a188-3f83-a420-41ff2abf1a25>
- [15] Lumme Energia, "Aurinkopuisto Hirvensalmella tuotantokäyttöön". Viitattu: 20. helmikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.lumme-energia.fi/yrityksille/blogi/hirvensalmen-aurinkopuisto-tuotantokayttoon>
- [16] SPW, "What is the best foundation for a ground-mount solar array?", *Solar Power World*. Viitattu: 10. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/08/what-is-the-best-foundation-for-a-ground-mount-solar-array/>
- [17] ELY-keskus, "Teollisen kokoluokan aurinkovoimapuistot rantautuvat Pirkanmaalle (Pirkanmaa) . Viitattu: 10. helmikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.ely-keskus.fi/uutiset-2023/-/asset_publisher/wunrvszgFqL0/content/teollisen-kokoluokan-aurinkovoimapuistot-rantautuvat-pirkanmaalle-pirkanmaa
- [18] V. Shekar, A. Caló, ja E. Pongrácz, "Experiences from seasonal Arctic solar photovoltaics (PV) generation- An empirical data analysis from a research infrastructure in Northern Finland", *Renew. Energy*, vsk. 217, ss. 119162–, 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.119162.
- [19] S. S. Buddala, S. Vemuru, ja V. Devabhaktuni, "Small signal modeling of diode in a parallel module subjected to partial shading", esitetty tilaisuudessa IEEE International Conference on Electro Information Technology, 2013. doi: 10.1109/EIT.2013.6632680.

- [20] T. A. Dawood, R. R. I. Barwari, ja A. Akroot, "Solar Energy and Factors Affecting the Efficiency and Performance of Panels in Erbil/Kurdistan", *Int. J. Heat Technol.*, vsk. 41, nro 2, ss. 304–312, 2023, doi: 10.18280/ijht.410203.
- [21] Energia Apu, "Aurinkopaneelien tehokkuus eri sääolosuhteissa", Viitattu: 17. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://energiaapu.fi/aurinkopaneelien-tehokkuus-eri-saolosuhteissa/>
- [22] Solarigo, Uusiutuvat energiat ry, *Mikä jarruttaa teollista aurinkovoimaa Suomessa? [Webinaari 25.3.2025]*
- [23] Y. Lv ym., "Towards high-efficiency industrial p-type mono-like Si PERC solar cells", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vsk. 204, 2020, doi: 10.1016/j.solmat.2019.110202.
- [24] C. W. Lan, "Growth of multicrystalline silicon for solar cells: The high-performance casting method", teoksessa *Handbook of Photovoltaic Silicon*, 2019, ss. 175–191. doi: 10.1007/978-3-662-56472-1_34.
- [25] H. Savin ym., "Black silicon solar cells with interdigitated back-contacts achieve 22.1% efficiency", *Nat. Nanotechnol.*, vsk. 10, nro 7, ss. 624–628, 2015, doi: 10.1038/nnano.2015.89.
- [26] S. K. Srivastava ym., "Nanostructured Black Silicon for Efficient Thin Silicon Solar Cells: Potential and Challenges", *Mater. Horiz. Nat. Nanomater.*, ss. 549–623, 2020, doi: 10.1007/978-981-15-6116-0_18.
- [27] M. K. Rao, D. N. Sangeetha, M. Selvakumar, Y. N. Sudhakar, ja M. G. Mahesha, "Review on persistent challenges of perovskite solar cells' stability", *Sol. Energy*, vsk. 218, ss. 469–491, huhti 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.03.005.
- [28] A. Drygała, L. A. Dobrzański, M. P. vel Prokopowicz, M. Szindler, K. Lukaszowicz, ja M. Domański, "A carbon-nanotubes counter electrode for flexible dye-sensitized solar cells", *Mater. Tehnol.*, vsk. 51, nro 4, ss. 623–629, 2017, doi: 10.17222/mit.2016.206.
- [29] "Types Of Solar Panels: Monocrystalline, Polycrystalline, and Thin-film". Viitattu: 24. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>
- [30] Suomen uusiutuvat ry, "Aurinkovoiman kustannukset",. Viitattu: 24. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/aurinkovoima/aurinkovoiman-kustannukset/>
- [31] Solarigo Systems FI, "Soljuva aurinkopuisto", Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.solarigo.fi/soljuva-s>
- [32] "Boliden rakennuttaa suuren aurinkovoimalan kaatopaikan päälle Harjavaltaan", Yle Uutiset. Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20002436>
- [33] Suomen uusiutuvat ry, "Investoinnit". Viitattu: 24. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoima/tuulivoiman-yhteiskuntavaikutukset/taloudellisuus/investoinnit/>
- [34] Fingrid, "Suomen sähköjärjestelmä", Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/>
- [35] Energiateollisuus, "Sähköverkot", Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/>
- [36] Solarigo Systems FI, "Hirvensalmi". Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.solarigo.fi/hirvensalmi-s>
- [37] Solarigo Systems FI, "Kannuksen lentokenttä",. Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.solarigo.fi/kannus-s>
- [38] "Suomen suurin aurinkovoimala nousee Raumalle – tuottaa energiaa Nesteen Porvoon jalostamolle - Aurinkoenergia - Turun Sanomat". Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.ts.fi/uutiset/6170350>
- [39] "ISKUlla on yksi suurimmista aurinkovoimapuistoista", Isku. Viitattu: 1. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://isku.com/fi/tiedotearkisto/ynksi-suomen-suurimmista-aurinkovoimapuistoista-vihitaan-kayttoon-aurinkoenergia-siirtyy-iskun-tehtaan-kayttoon/>
- [40] Suomen uusiutuvat ry, "Rakenteilla olevat aurinkovoimahankkeet", Viitattu: 24. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/aurinkovoima/aurinkovoimahankkeet-ja-voimalat-suomessa/rakenteilla-olevat-aurinkovoimahankkeet/>
- [41] T. Laatikainen ja S. Sahla, "Yli 16 000 MW aurinkovoimaa tulossa Suomeen – Katso kartalta kaikki suuret hankkeet", *Tekniikka&Talous*. Viitattu: 25. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/yli-16-000-mw-aurinkovoimaa-tulossa-suomeen-katso-kartalalta-kaikki-suuret-hankkeet/73f1554e-e0c5-406f-a6d2-4a7480ced310>
- [42] Motiva, "Suurten aurinkovoimaloiden tuotantokapasiteetti voi olla jopa 190-kertainen vuoteen 2030 mennessä", Viitattu: 24. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa:

- https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2023/suurten_aurinkovoimaloiden_tuotantokapasiteetti_voi_olla_jopa_190-kertainen_vuoteen_2030_mennessa.20543.news
- [43] "UKK | Will & Must — Aurinkovoima", Uusiutuvan energian hankekehittäjä. Viitattu: 26. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://willmust.fi/maanomistajille/ukk/>
- [44] "Helen investoi vahvasti aurinkoenergian tuotantoon ostamalla rakennusvalmiin aurinkopuiston Uudestakaupungista". Viitattu: 20. helmikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2022/helen-investoi-vahvasti-aurinkoenergian-tuotantoon-ostamalla-rakennusvalmiin-aurinkopuiston-uudestakaupungista/>
- [45] "Helen kiihdyttää investointeja aurinkoenergian tuotantoon – teollisen mittaluokan aurinkopuisto nousee Lohjalle ensi vuoden aikana". Viitattu: 20. helmikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2023/helen-kiihdyttaa-investointeja-aurinkoenergian-tuotantoon/>
- [46] Suomen uusiutuvat ry, "https://suomenuusiutuvat.fi/media/suomen-uusiutuvat-ry_-paattajabarometrin-tulokset-2024_julkinen.pdf". Viitattu: 23. tammikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://suomenuusiutuvat.fi/media/suomen-uusiutuvat-ry_-paattajabarometrin-tulokset-2024_julkinen.pdf
- [47] Fingrid, "Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät FINGRIDIN ENNUSTE Q1/2024". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/sahkon-tuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q1-2024-fingrid.pdf>
- [48] Fingrid, "Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2024–2033". [Verkossa]. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittamisen/fingrid_kehittamissuunnitelma_luonnos_26.6.pdf
- [49] H. Holttinen, "Tuulivoiman tuotantotilastot". Viitattu: 23. helmikuuta 2025 [Verkossa]. Saatavissa <https://suomenuusiutuvat.fi/media/2011.pdf>
- [50] Energiateollisuus, "Sähkön tuotanto", Viitattu: 13. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/>
- [51] Tilastokeskus, "Sähkön ja lämmön tuotanto 2015". Viitattu: 13. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://stat.fi/til/salatuo/2015/salatuo_2015_2016-11-02_fi.pdf
- [52] Energiateollisuus, "Energia-asenteet", Viitattu: 28. maaliskuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://energia.fi/meista/tutkimus/energia-asenteet/>
- [53] "Kouvolan Korialle suunnitteilla oleva aurinkopuisto herättää kiivasta vastustusta", Yle Uutiset. Viitattu: 26. huhtikuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20046493>
- [54] H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, ja A. Sharifi, "A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vsk. 13, nro 8, ss. 1800–1818, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.01.022.

LIITE A: TUOTANNOSSA OLEVAT AURINKOVOIMALAT

Aurinkovoimalat	Valmistunut	Teho (MW)	Paneelleita	Omistaja
Valmistuneet 2024:		57		
Hirvensalmi, Hirvensalmen aurinkovoimalaitos,	2024	4	9000	Suur-Savon sähkö
Juva, Soljuva	2024	5	9000	Solarigo
Kannus, Hietakangas	2024	5	8000	Puhuri
Kemiönsaari, Taalintehdas	2024	2		Dalsbruks fabrik oy
Lohja, Kirkniemi	2024	7		Helen
Pedersöre, Flakanasa Solpark	2024	2	3672	Esse Elektro-Kraft Ab
Rauma, Lakari	2024	32		CPC Lakarin Aurinkovoima Oy

Aurinkovoimalat	Valmistunut	Teho (MW)	Paneelleita	Omistaja
Valmistuneet 2023:		47		
Hanko, Lindö solpark	2023	1,98		Chaps Invest Oy
Harjavalta, Boliden	2023	3,8	6 900	Boliden Harjavalta
Joroinen, Joroisten lentokenttä	2023	5		Ilmatar
Kalajoki, Juurakon aurinkopuisto	2023	13	24 000	Solarigo Oy
Kemiönsaari, Ruda Solpark	2023	1,98	3 600	Ruda Solpark Oy
Kärkölä, Järvelä	2023	2	3 668	Koskisen Oy
Mäntsälä, Tokmanni	2023	1,7	4 000	Tokmanni
Nurmijärvi aurinkopuisto	2023	1,5	2 800	Helen
Nurmo, Atria aurinkovoima laajennus	2023	4,3	9 000	Atria
Oulu, Vihreäsaari aurinkopuisto 2	2023	5,1	7 600	Oomi Solar Oy
Sulkava, SunSulkava	2023	3,8	9 200	Solarigo Oy
Tuusula, Seepsulan aurinkovoimala	2023	2,8	6800	Seepsula Oy

Aurinkovoimalat	Valmistu- nut	Teho (MW)	Panee- leita	Omistaja
Valmistuneet ennen 2023:		19		
Oulu, Vihreäsaari aurinko- puisto 1	2022	4,9	9 500	Oomi Solar Oy
Lahti, Isku SOL	2021	2,8	6 000	Isku
Nokia, Nokian renkaat	2021	1,1	3 100	Nokian Renkaat
Raasepori	2021	1		Raaseporin Energia
Lempäälä, LEMENE PV01	2019	2	7 300	Lempäälän Energia Oy
Lempäälä, LEMENE PV02	2019	2	5 980	Lempäälän Energia Oy
Nurmo, Atria aurinko- voima	2018	5	22 000	Atria

Taulukko 4: Suomen aurinkovoimalat tuotannossa [5]