

## AURINKOPANEELEJA PRINTTEINÄ

Suomen Akatemian tutkijatohtorin Ghufuran Hashmin johdolla Aalto-yliopistossa kehitetään kolmannen sukupolven aurinkokennoja. Perinteisiin piin käyttöön perustuviin kennoihin verrattuna perovskiiitikennojen tuotantoprosessi on huomattavasti yksinkertaisempi, ympäristöystävällisempi ja edullisempi. Kaupallisiin sovelluksiin päästään jo lähivuosina.

Ilmastonmuutos ja yleinen ympäristötietoisuus ovat kannustaneet etsimään fossiilisten polttoainekäytön rinnalle ja ennen pitkää korvaajakäytönkin yhä edistyksellisempiä keinoja hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä.

Maapalloilta ei energia lopu, sitä tulee kaiken aikaa Auringosta, jonka säteilyssä maapallon päiväpuoli kylpee aina. Ongelmana on Auringon säteilyenergian tehokas valjastaminen.

Valon muuttaminen sähköksi on jo vanha keksintö, sillä yhdysvaltalainen Charles Fritts kehitti ensimmäisen kaupallisen aurinkopaneelin jo vuonna 1881. Avaruustekniikassa aurinkopaneeleja on käytetty melkein alusta alkaen eli 1950-luvun lopulta lähtien. Maata kiertävät satelliitit ja suurin osa muualle Aurinkokuntaan lähetetyistä luotaimista saavat laitteidensa tarvitseman sähkötehon aurinkopaneeleista.

Maan kiertoradan etäisyydellä Auringon säteilyteho on noin 1 368 wattia jokaista neliometriä kohti, jos se mitataan ilmakehän ulkopuolella. Ilmakehä heijastaa ja imee itseensä osan Auringon säteilystä, mutta silti maanpinnallekin päätyy lähes 350 wattia neliometrille. Se tarkoittaa noin 170 000 terawatin kokonaistehoa. Yhdessä tunnissa maanpinnalle lankeaa Auringon energiaa enemmän kuin ihmiskunta ahneuksissaan ehtii kuluttaa yhdessä vuodessa.

Aurinkoenergian hyödyntäminen ei kuitenkaan ole pitkää historiaa huolimatta ihan helppoa

eikä etenkin halpaa. Nyt siihen saattaa olla tulos-iso muutos.

– Uudessa tekniikassa käytetään helposti saatavilla olevia materiaaleja, jotka muokataan neste-mäiseen, tulostettavaan muotoon, kiteyttää Ghufuran Hashmi.

### Tulostettavia aurinkokennoja? Kyllä.

Hashmin johtamassa Aalto-yliopiston CARPRINT-hankkeessa kehitetään teknologiaa, jolla aurinkopaneelien teho saadaan kasvamaan ja valmistuskustannukset roimasti laskemaan. Kun perinteisen piin käytöstä siirrytään perovskiiitin kiderakenteeseen perustuvaan tekniikkaan, voidaan samalla siirtyä kalliista, monimutkaisista ja paljon energiaa kuluttavista tuotantolinjoista mustesuihkutulostukseen ja silkkipainatukseen. Miten se on mahdollista?

Perovskiiitti on mineraali, joka koostuu kalsiumtitaanioksidista. Sille on luonteenomaista tiettytyyppinen kiderakenne, joka tunnetaan samalla nimellä. Perovskiiittiaurinkokennoissa hyödynnetään mineraalille ominaista kiderakennetta, joka on myös esimerkiksi lyijyhalidilla. Halidit ovat halogeenien, herkästi reagoivien epämetallien, muodostamia kemiallisia yhdisteitä. Tutuin niistä on natriumkloridi eli ruokasuola.

Perovskiiitti- eli PSC-aurinkokennot (*perovskite based solar cells*) eivät ole uusi keksintö, mutta ongelmana on ollut alhainen hyötysuhde. Kymmenisen vuotta sitten se oli alle neljä prosenttia, mutta nyttemmin on päästy jo yli kahteenkymmeneen prosenttiin eli samoihin lukemiin kuin perinteisillä kennomateriaaleilla.

Kehno lämmönvaihteluiden ja kosteuden kestävyys, sopivien materiaalien korkea hinta ja lyijyjätteen suhteellisen suuri määrä on kuitenkin hidastanut PSC-kennojen kaupallisten sovellusten kehittämistä. Nyt kennojen hyötysuhteessa, ympäristöolojen kestävyudessa ja erityisesti tuotantotekniikassa on saatu aikaan merkittäviä parannuksia. Hashmin tutkimusryhmä teki nykyisen kehitystyön kannalta keskeisen läpimurron kolmen vuotta sitten.

Kun kerran lämpö ja etenkin kosteus ovat yleensä vahingoksi PSC-kennoille, tuntuu jokseenkin nurinkuriselta, että juuri lämpö ja kosteus tekevät niistä tehokkaampia ja kestävämpiä. Hash-

min ryhmälle tulikin yllätyksenä, että kennojen altistaminen useiden vuorokausien ajan tarkkaan määritellyille olosuhteille – 40 asteen lämpötilalle ja 70 prosentin kosteudelle – muutti oleellisesti niiden ominaisuuksia. Tekniikka on vapaasti suomentaen ”kosteusavusteinen lämpökäsittely” eli *humidity assisted thermal exposure*, joka tunnetaan myös lyhenteellä HTE.

Hashmin ryhmän tekemissä kokeissa HTE-käsittely kesti maksimissaan 200 tuntia, mutta parhaaseen tulokseen päästiin 120 tunnissa eli viidessä vuorokaudessa. Kun materiaalin rakennetta tutkittiin pitkällisen altistuksen jälkeen sekä röntgensironnan avulla että pyyhkäisyelektronimikroskoopilla, kemiallisessa koostumuksessa ei näkynyt muutoksia, mutta perovskiiittikiteissä tapahtui merkittävää kasvua.

## PSC-kenno

Millainen HTE-käsittelylle altistettava PSC-kenno sitten on rakenteeltaan?

– Ensin lasipinnalle tulostetaan kerros titaani-diksidista koostuvia nanohiukkasia, Hashmi lähete listaamaan.

Titaanioksidi on hyvin kestävä yhdiste, joka ei liukene edes happoon. Seuraavaksi on vuorossa eristeenä toimiva zirkonioksidikerros ja lopuksi noin millimetrin sadasosan paksuudelta hiilinanohiukkasia, jotka toimivat johteena. Näin saadaan aikaan huokoinen rakenne. Kun sen päälle tulostetaan – periaatteessa tavallisella mustesuihku- tai vaihtoehtoisesti silkkipainotekniikalla – nestemäisessä muodossa olevaa lyijyhalidia, se imeytyy huokoisten kerrosten läpi titaanidioksidiin saakka.

– Kun kennoa sitten kuumennetaan, lyijyhalidiliuos kiteytyy ja siihen muodostuu perovskiiitterakenne, Hashmi selittää.

Lyijyhalidi on kuitenkin hankala aine, sillä se liukenee helposti nesteisiin. Aurinkopaneelit joutuvat ulkoilmassa väistämättä vaihtelevien sääolojen armoille. Niiden on kestävä sekä kylmää että kuumaa ja usein kosteutta, jopa kaatosateita. Kosteassa ympäristössä perovskiiitterakenteen muodostavat kiteet alkavat hajota. Se laskee nopeasti aurinkokennojen hyötysuhdetta ja tekee ne lopulta tehottomiksi. Juuri tähän HTE-tekniikka tuo ratkaisun.

Uudessa tekniikassa hiilinanohiukkasilla on oi-

keastaan kaksoisrooli. Paitsi että ne toimivat johteena, hiili on luonnostaan hydrofobinen aine eli se hylkii vettä. Pisaramuotoinen vesi ei pääse tunkeutumaan kennon rakenteeseen, mutta vesihöyry kulkeutuu huokoisessa materiaalissa hyvin.

HTE-käsittelyssä vesihöyry saa lyijyhalidiliuoksesta muodostuneet kiteet takertumaan naapureihinsa, jolloin rakenteeseen muodostuu entistä suurempia kiteitä.

– Alkuun materiaalissa erottuu vain pieniä kiteytyviä, mutta kun altistus tarkoin säädellyssä lämpötilassa ja kosteudessa jatkuu, aikaa myöten ne alkavat sulautua yhteen ja muodostavat kookkaampia perovskiiittikiteitä, Hashmi kuvailee.

Kokoa kasvaneet kiteet yhdistävät hiili- ja titaanidioksidikerroksia, jolloin koko rakenteen vastus pienenee. Siitä on seurauksena aurinkokennon toiminnan kannalta tärkeän hyötysuhteen paraneminen yli 50 prosentilla. Parannus entiseen on siis huima.

Alkuvaiheessa tutkimukseen käytetyillä perovskiiittikennoilla oli kokoa vain yhden neliösenttimetrin verran, mutta vastikään on päästy 20 x 20 neliösenttimetriin. Kasvava koko ei ole vaikuttanut testituloksiin: kennon kestävyys ja suorituskyky paranevat merkittävästi HTE-käsittelyllä. Tällä hetkellä on työn alla 40 x 40 neliösenttimetrin kenno, mikä on jo samaa kokoluokkaa kuin markkinoilla olevat esimerkiksi veneisiin tarkoitettujen aurinkopaneelien.

## Välivaiheita

Tekniikka kuulostaa yksinkertaiselta, mitä se perinteisten piikkenojen tuotantoon verrattuna onkin, mutta pari välivaihetta on vielä tarpeen ennen kuin PSC-aurinkokenno on valmis käyttöön, tuottamaan sähköä auringonvalosta. Tulostusta tai silkkipainatusta varten nanohiukkasista koostuviin ainesosiin on lisättävä orgaanisia sidosaineita ja erilaisia liuottimia, jotta saadaan aikaan ominaisuuksiltaan tulostukseen tai painatukseen soveltuva nestemäinen aine. Kun tulostus on tehty, sidosaineet ja liuottimet on poistettava kennon muodostavasta kerrosrakenteesta.

– Siksi tulostettu kenno on HTE-käsittelyn jälkeen vielä kuumennettava vähintään 500 asteen lämpötilaan. Älypuhelimissa käytetty sähköä johtava lasimateriaali on todettu ihanteelliseksi perovs-

kiittikenojen tulostuspohjaksi, Hashmi kehuu.

Oleellista on kuitenkin se, että prosessi vie kaikkine välivaiheineenkin huomattavasti vähemmän energiaa kuin piipohjaisten aurinkokennojen valmistus. Se ei myöskään vaadi ultrapuhtaita tuotantotiloja, kuten perinteinen tekniikka. Hashmi näkeekin uuden tekniikan paitsi merkittävänä edistysaskeleena aurinkokennojen kehittämisessä myös taloudelliselta kannalta tärkeänä asiana.

Piipohjaisten kennojen tuotanto on siirtynyt yhä vahvemmin Kiinaan, sillä eurooppalaiset tuotantolaitokset eivät korkeine kustannuksineen ole pärjänneet kovenevassa kilpailussa.

– Laboratoriossamme kehitetty tekniikka on melko helposti skaalattavissa ylöspäin ja tuotantolaitoksia olisi mahdollista perustaa melkein mihin tahansa. Näin aurinkokennojen tuotantoa saatisiin palautettua Eurooppaan.

Hashmi pitää keskeisenä seikkana raaka-aineden helpon saatavuuden ja edullisuuden lisäksi niiden kierrätettävyyttä. Eikä pelkästään kierrätettävyyttä: PSC-kennoja on mahdollista korjata ja kunnostaa. Tekniikka täyttää kestävänsä kehityksen kriteerit muutenkin kuin vain uusiutuvan energian osalta.

Mille tahansa pinnalle perovskiittikenoja ei voi tulostaa, mikä rajaa käyttötarkoituksia ja sovelluskohteita (sama toki pätee myös perinteisiin piikenoihin). Esimerkiksi sähköautojen hiljalleen yleistyessä olisi ihanteellista, jos akkuja voisi ladata myös ajon aikana korin ulkopinnoille printatuilla aurinkopaneeleilla. Metallipinta ei tulostamiseen sovellu eikä erikoislasi taivu – kirjaimellisesti – mihin tahansa, joten aurinkopaneeleilla kuorutettuja e-autoja ei ole odotettavissa maanteille ainakaan lähiaikoina.

– Se edellyttäisi tulostamista joustavalle materiaalille. Vaikka nykyisin on jo olemassa taipuisaa lasia, tarvitaan vielä paljon lisää tutkimus- ja kehitystyötä, jotta moiseen päästäisiin, Hashmi arvioi.

## Kaupalliset sovellukset

Ihan vielä printattuja PSC-aurinkopaneeleita ei saa tavallisen kulutuselektroniikkaa myyvän liikkeen hyllyltä, mutta kaupallinen tuotanto voi olla yllättävän lähellä.

– Kyllä se on mahdollista kahdessa tai kolmessa vuodessa, Hashmin toteaa toiveikkaasti.

Kun kaupalliset sovellukset saadaan markkinoille, niiden hinta on Hashmin mukaan korkeintaan kymmenesosa nykyisistä aurinkopaneeleista. Tarkkaa arviota on kuitenkin vaikea esittää, koska uuteen tekniikkaan ja käyttöönottoon liittyy aina epävarmuustekijöitä: hinta voi pudota vähemmän tai selvästi enemmän.

– Tällä hetkellä ei esimerkiksi ole PSC-kennojen tuotantoon soveltuvia mustesuihkutulostimia, joilla voitaisiin valmistaa neliömetrin kokoluokkaa olevia paneeleita. Niiden kehittäminen aiheuttaa kustannuksia, joiden suuruutta ei vielä tiedetä.

PSC-kennojen kehitystyö on hyvä esimerkiksi hankkeesta, jossa perustutkimus ja käytännön sovellukset lyövät kättä pikavauhdilla. Kaupallista hyödyntämistä ei tarvitse odottaa vuosikausia, vaan siihen tähdätään tutkimuksen ollessa vielä käynnissä. Se helpottaa myös itse tutkimukseen tarvittavan rahoituksen hankkimista.

Pelkkään perustutkimuksen on tarjolla rahoitusta vain rajallisista lähteistä, mutta kun mukana on alusta saakka myös sovellusten kehittäminen, mahdollisia rahoitustahoja on enemmän. Hashmin johtama tutkimus onkin saanut merkittävää tukea sekä teknologiateollisuudelta että sähköyhtiöiltä. Se on ymmärrettävää ja luontevaa, sillä uusi tekniikka tekee yleistyessään aurinkopaneelien käytön helpommaksi ja halvemmaksi myös laajamittaisessa sähkön tuotannossa valtakunnanverkkoon.

Lasille tai vaihtoehtoisesti tarkoitusta varten kehitetylle muoville tulostettavat aurinkokennot on helppo integroida rakennuksiin. Se voidaan tehdä jo rakennusvaiheessa seinäelementteihin ja lasipintoihin tai myöhemmin esimerkiksi parvekkeiden kaiteisiin tai katoksiin.

Mustesuihkutulostukseen ja silkkipainatukseen perustuva tekniikka tekee mahdolliseksi myös erilaisten kuviointien käytön. Siinä suhteessa rajat asettaa vain mielikuvitus.

– Uudella teknologialla saadaan aikaan sekä energiaa että estetiikkaa, Hashmin päättää.

## MARKUS HOTAKAINEN

Kirjoittaja on tiedetoimittaja ja tietokirjailija.