

Pietsosähkö panee vauhtia

# Välkkytossuihin ja robottihyönteisiin

■ **Kun sopiva materiaali asetetaan mekaanisen paineen alaiseksi, se tuottaa sähköä. Pietso-sähköiset materiaalit toimivat energialähteinä, mutta niistä on moneen muuhunkin.**

**Jari Koponen**

Etenkin lasten jaloissa on viime aikoina alkanut näkyä urheilukenkkiä, joiden sivuissa vilkkuvat ledvalot. Valot välähtelevät, kun tossu liikkuu.



Välkkylenkkareissa yhdistyy kaksi teknologista innovaatiota: vähän virtaa kuluttavat ledit ja niille riittävän virtamäärän tuottavat pietsosähköiset kiteet, jotka yleensä ovat kvartssia.

Pietsosähköiset materiaalit toimivat energialähteenä, mutta niitä voidaan hyödyntää monessa muussakin. Sikiön kehitystä kohdussa on voitu seurata pietsosähköisesti tuotetulla ultraäänellä 1960-luvulta lähtien. Mekaanisesti vedettävät kellot on korvattu tarkoilla pietsosähköisillä värähtelypiireillä.

Elektroniikan osien jatkuva pieneminen ja niiden integrointi edellyttää, että myös pietsosähköiset komponentit miniaturisoidaan. Tähän päämäärään pyrkivä tutkimus-

ja kehitystyö perustuu paljolti pietsosähköisten ohutkerrosrakenteiden tuottamiseen.

Yksi alan asiantuntijoista on yhdysvaltalaisen Pennsylvanian valtionyliopiston professori **Susan Trolier-McKinstry**, joka esitteli rakenteiden kehittämistä ja sovellusmahdollisuuksia maaliskuisilla Kemian Päivillä.

### **Missä liikettä, siellä sähköä**

”Suurin pietsosähköisyyden käyttöalue tulevaisuudessa on esineiden internet”, Trolier-McKinstry uskoo.

Esineiden internetillä tarkoitetaan itsenäisten laitteiden keskinäistä kommunikointia. Automatisointi vaatii tietoa tekijöistä, jotka ohjaavat ja säätelevät kyseisen prosessin tai systeemin toimintaa. Tämä puolestaan edellyttää jatkuvaa datavirtaa prosessin eri vaiheista tai ympäristön antureilta.

Antureiden tarvitsema energia tuotetaan yleensä joko verkkovirralla tai akuilla. Molempiin voi kuitenkin liittyä ongelmia. Kaapelointi ei aina ole taloudellista tai edes mahdollista. Paristoilla ja akuilla taas on rajallinen toiminta-aika, ja ne vaativat huoltoa. Myös akkujen valmistukseen ja kiertäytymiseen liittyvien ekologisten kysymysten painoarvo kasvaa koko ajan.

Ohuet kalvorakenteet mahdollistavat ympäristön matalataajuisten värähtelyjen hyödyntämisen. Värähtelyjä tuottavat esimerkiksi autot ja junat sekä mitä moninaisimmat laitteet ja koneet. Samoin suurilla rakenteilla, kuten taloilla, niiden ikkunoilla ja silloilla, on kullekin ominainen värähtelytaajuutensa.

Myös ihmisen kävely voidaan ottaa hyötykäyttöön joko yksilötasolla tai kollektiivisesti. Sekä portaat että kävelytiet on mahdollista saada tuottamaan energiaa. Hyödynnettävissä ovat myös muut lihasten ja keuhkojen liikkeet sekä sydämen syke.

Pietsosähköisten ohutkalvojen käytössä energiantuottoon on viime vuosina tapahtunut selvää edistystä. Sen takana on kaksi pääsyötä: materiaalien kehittyminen ja siirtyminen paksumpiin kalvoihin.

”Materiaalien kehittyminen on johtanut siihen, että samanarvoisista rakenteista saadaan nyt neljä kertaa

enemmän tehoa”, professori kertoo.

Toisaalta taas tehontuottokyky on riippuvainen ohutkerroksen paksuudesta.

”Mitä paksumpi ja siten tilavuudeltaan suurempi kalvo on, sitä enemmän siitä saadaan tehoa irti.”

Kolmas tärkeä seikka on se, että kehitykseen ovat tulleet mukaan myös insinööritieteet. Niiden avulla energian siirto värähtelevästä lähteestä käyttökohteeseen voidaan suunnitella mahdollisimman tehokkaaksi.

Trolier-McKinstry pitää ohutkalvoihin perustuvan pietsosähköisyyden tutkimusta mielenkiintoisena kemian, fysiikan ja insinööritieteiden rajapintana.

”Tarvitaan insinöörejä suunnittelemaan perustutkimuksen tuottamien tulosten pohjalta uusia käyttökelpoisia rakenteita ja sitä kautta ennen näkemättömiä sovelluksia”, hän kuvailee.

Sähkökeraamien teollisessa valmistuksessa pietsosähköiset bulkkiohutkalvot ovat jo toisella tai kolmannella sijalla. Niihin perustuvien ohutkalvo-laitteiden teollinen massatuotanto on käynnistymässä lähiaikoina.

Pietsosähköisen energialähteen suunnittelu tiettyyn kohteeseen on yhdysvaltaistutkijan mukaan vaativaa. Pietsomateriaalin ominaisuuksien lisäksi on selvitettävä käytettävän liikkeen tai värähtelyn taajuus, amplitudi ja pysyvyys, joille pietsogeneraattori optimoidaan.

Trolier-McKinstry arvioi, että uusilla kalvorakenteilla saavutetaan helposti 50 mikrowatin teho, mikä riittää moniin piensovelluksiin. Kommunikointiin käytettävillä laitteilla tarve on vain muutama mikrowatti, johon päästään jo ihmiskehon liikkeen avulla.

Kiinnostava käytännön esimerkki on tanskalaisen, keraamisiin pietsokalvoihin erikoistuneen Meggittin työvaatesovellus.

”Pietsosähköllä toimivan lähettimen avulla voidaan hätätilanteissa erottaa kohti uloskäyntejä kulkevat työntekijät niistä, jotka ovat lyyhistyneet maahan.”

### **Uutta käyttöä terveydenhoidossa**

Lihavuusepidemiaa pidetään yhtenä merkittävänä nykyajan vitsauksena,

» » »



Liike saa lenkkarien ledivalot svengamaan. Sähkövirran valoilte tuottavat pietsosähköiset kiteet.

Pixel

mutta ylipaino sinänsä on harvoin syytä uuden teknologian kehittämiseen. Näin on kuitenkin tapahtunut erään pietsosähkösovelluksen kohdalla.

”Amerikkalaisten jatkuva lihominen on johtanut siihen, että kehon ulkopuolisista ultraäänitutkimuksista on tullut aiempaa työläämpiä. Rasva vaimentaa ultraääntä tehokkaasti, joten sen avulla tapahtuva kuvantaminen ja diagnosointi ovat hankaloituneet”, Susan Trolier-McKinstry kertoo.

Ratkaisu ongelmaan on ultraäänianturin pienentäminen kokoon, jossa se voidaan asentaa katettrin päähän. Tällöin anturi voidaan viedä kehon sisään lähelle tutkittavaa kohdetta, jolloin siitä saadaan hyvin tarkkoja kuvia.

Edistysaskelia on otettu myös sikiön ultraäänikuvantamisessa.

”Useilla kaupallisilla laitevalmistajilla on nykyisin tarjolla keraamisia ohutkerrosantureita, jotka koostuvat sadoista tai jopa tuhansista yksittäisistä elementeistä muutaman neliösenttimetrin alueella. Antureilla saadaan sikiöstä tarkkoja kolmiulotteisia kuvia, joiden ero vanhemmilla tekniikoilla tuotettuihin kuviin on aivan allistytävä.”



Professori Susan Trolier-McKinstry kertoi pietsosähköisistä ohutkerrosrakenteista Suomen Akatemian Ohjelmoitavat materiaalit -ohjelman päätösseminaarissa, joka järjestettiin osana kevään 2017 Kemian Päiviä.

## Pietsosähkö syntyy mekaanisessa rasituksessa

Tietyt materiaalit ovat pietsosähköisiä, eli ne synnyttävät sähköä mekaanisen rasituksen alaisena. Rasitus voi olla puristava tai taituttava.

Vastaavasti pietsosähköinen materiaali reagoi sähkökenttään ja muuttaa muotoaan. Ominaisuuden avulla voidaan esimerkiksi hallita nanomitan liikettä pyyhkäisykärkimikroskoopeissa.

Kun pietsosähköinen levy saadaan värähtelemään vaihtovirran avulla, tuloksena on ultraääntä. Vaihtovirran taajuutta muuttamalla voidaan valmistaa halutulla taajuudella värähteleviä pietsokiteitä eri tarkoituksiin.

Pietsosähköinen ilmiö havaittiin kvartsilla jo vuonna 1880. Ensimmäinen käytännön sovellus oli ensimmäisen maailmansodan aikana kehitetty sukellusvenetutka. Anturin lähettämä ultraääni heijastui sukellusveneestä takaisin, ja se havaittiin pietsosähköisellä sensorilla, joka reagoi heijastukseen sähköisellä signaalilla.

Sittemmin pietsosähköisiä komponentteja on käytetty laajalti muun muassa ”kvartsikelloissa” ja muissa kellopiireissä, mustesuihkutulostimissa ja kiihtyvyyssantureissa.

Parinkymmenen viime vuoden aikana on kehitetty paljon uusia pietsosähköisiä yksittäiskiteitä ja materiaaleja. Niiden avulla voidaan valmistaa entistä parempia komponentteja ja rakentaa uusia

sovelluksia.

Pietsosähköisiä materiaaleja on useita tyyppejä. Ne voidaan jakaa kolmeen pääryhmään.

Luonnollisia yksikiteisiä materiaaleja ovat muun muassa kvartsi, galliumfosfaatti ja turmaliini. Keraamisiin materiaaleihin kuuluvat lyijy-zirkonaatti-titanaatit (PZT), galliumarseniidi, alumiini-nitridi ja sinkkioksidi.

Pietsosähköisiä polymeerikalvoja ovat esimerkiksi polyvinylidenfluoridi (PVDF) ja polypropyleenista muokattu sähkömekaaninen kalvo (EMFi).

Kaikkien materiaalien ominaisuudet ovat erilaisia ja määrittävät kullekin sopivimman sovellusalueen.

Pennsylvanialaisprofessori on mukana projektissa, jossa tutkitaan terveydenhoidon ja lääketieteen alojen sensoreita laajemminkin. Tutkimuksessa on selvinnyt, että esimerkiksi pulssin mittaaminen ja sydänfilmin ottaminen tarvitsevat vain mikrowatin verran tehoa.

”Tämä mahdollistaa telemetrisen etäseurannan, jonka avulla lääkäri voi heti nähdä, tarvitseeko potilas välitöntä apua”, hän kuvailee.

On esitetty myös ajatus, että hengityksen aikaansaama rintakehän liike voisi tuottaa pietsosähköisesti tarpeeksi tehoa sydämentahdistimen toimintaan.

Trolier-McKinstry muistuttaa myös uusien teknologioiden taloudellisesta potentiaalista.

”Laajasti sovellettuna tällaiset järjestelmät vaikuttaisivat terveydenhoidokustannuksiin alentavasti.”

### Orniopteri satoja pölyttämään

Kun 1800-luvun loppupuolella pyrittiin kehittämään ilmaa raskaampia lentäviä koneita, niiden yhtenä mallina käytettiin lintuja. Siipien räpyttelyä matkivien koneiden eli orniopterien yrittämät kaatuivat kahteen seikkaan. Käytettävissä ei ollut riittävän kevyitä materiaaleja eikä myöskään tarpeeksi tehokasta keveää moottoria, joka panisi siivet liikkeeseen.

Pietsosähköisyyden avulla vanha unelma on kuitenkin kyetty toteuttamaan, tosin pienoiskoossa.

”Viime vuosina on onnistuttu valmistamaan minikokoisia robottihyönteisiä, joiden siipien liike saadaan aikaan pietsosähköisesti”, Trolier-McKinstry kertoo.

Minirobottien on osoitettu pystyvän jäljittelemään hyönteisten lentoa ja myös pysymään paikoillaan ilmassa. Professori uskoo, että robottihyönteisten kehitystyö johtaa myös kaupalliseen tuotantoon ja erilaisiin sovelluksiin.

Yksi esimerkki tulevasta on Harvardin yliopiston Wyss-instituutissa kehitettävä RoboBee. Robottihyönteinen on kaksi senttimetriä pitkä ja painaa 80 milligrammaa. RoboBeen siivet lyövät 120 kertaa sekunnissa. Molempien siipien liikkeitä voidaan kontrolloida erikseen reaaliaikaisesti.

Tutkimuksen tavoitteena on kehit-

tää keinopölyttäjä. Tutkijoiden työtä siivittävät muun muassa eri puolilta maailmaa kantautuneet tiedot mehiläisten mystisistä joukkokuolemista. Ilmiö on hälyttävä, sillä monien ruokakasvienkin olemassaolo on riippuvainen niistä pölyttävistä mehiläisistä.

### Horisontissa teknologiamurros

Puolijohteisiin perustuvien, jatkuvasti pienenevien transistorien toimintakyvyn rajat alkavat tulla vastaan. Näin on jo käynyt logiikkapiireissä kytkiminä käytettäville CMOS-transistoreille. Niiden kellotaajuutta ei enää pystytä nostamaan, sillä nopeuden kasvattaminen vaatisi kestävämmän suurien tehon lisäyksiä.

Yksi mahdollinen korvaaja on pietsosähköinen transistori PET, jonka kehittämiseen muun muassa elektronikkajätti IBM on satsannut jo jonkin aikaa.

PETin toiminta perustuu kahden erityyppisen materiaalin ominaisuuksiin. Pietsosähköiseen osaan johdettu jännitepulssi saa sen laajenemaan. Tästä johtuva paine muuttaa pietsoresistiivisen osan eristeestä

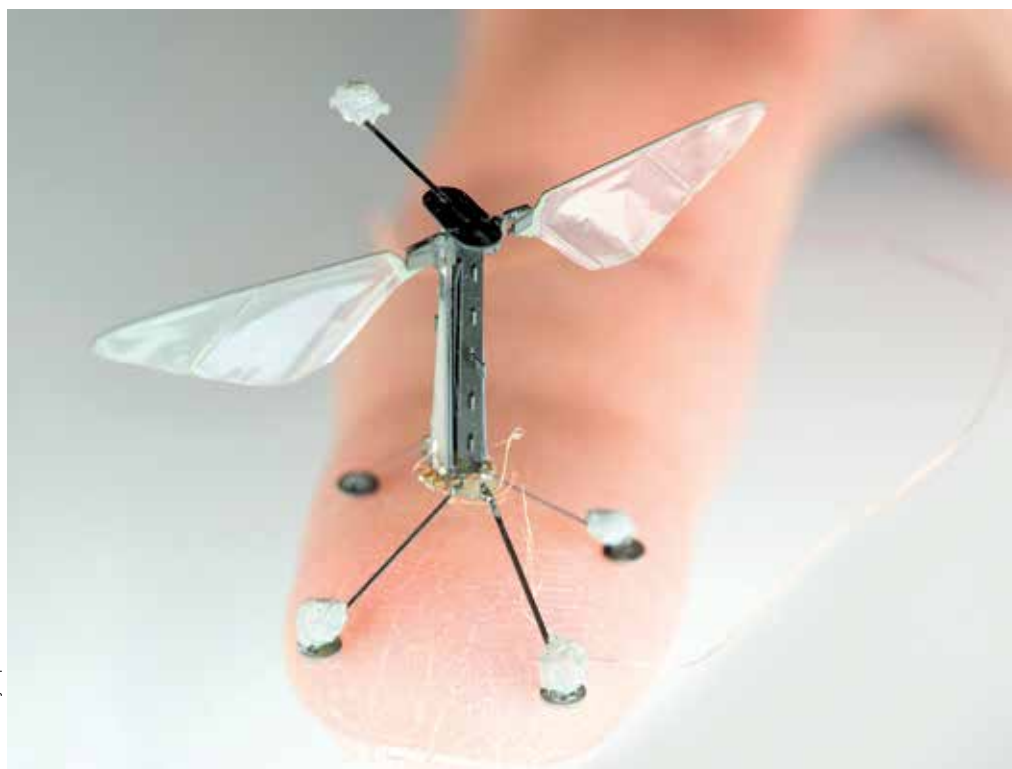
johteeksi, jolloin PETin läpi kulkee virta. Toiminnan kannalta keskeisen pietsoresistiivisen osan materiaali on kiteistä samarium-seleeniä.

PETin etuna on pieni tehontarve, joka voi olla jopa vain viideskymmenesosa vastaavan puolijohdetransistorin tehontarpeesta.

Lisäksi IBM on demonstroinut pietsosähköisen transistorin, jonka keskeinen pietsosähköinen/pietsoresistiivinen rakenne on kooltaan viitisenkymmentä nanometriä. Demonstraatio myös osoittaa, että monimutkaisia, äärimmäisen pieniä pietsosähköisiä laitteita pystytään valmistamaan monikerroksisina ohutkalvorakenteina samaan tapaan kuin monia muitakin nykyelektroniikan komponentteja.

Vaikka PETien kaupalliseen massatuotantoon on vielä matkaa, suuntaus näyttää selvältä. Monenlaisia muitakin tavanomaisen elektroniikan yhteyteen kytkettäviä pietsosähköisiä laitteita on kehitteillä. Odotettavissa on puolijohdeiden yksinvaltaa ravitseleva teknologiamurros. □

Kirjoittaja on kemisti ja vapaa toimittaja.



Harvardin yliopiston tutkijoiden kehittämä minikokoinen hyönteisrobotti saattaa lennellä tulevaisuuden pelloilla pölyttämässä tärkeitä ruokakasvejamme.