

Bioninen ruusu kukki laboratoriossa

■ **Ruotsalaiset tutkijat päättivät katsoa, mitä tapahtuu, kun yhdistetään kemiaa, kasvitiedettä ja elektroniikkaa. Syntyi kasvi-kyborgi, bioninen ruusu.**

Kalevi Rantanen

Suomalaistenkin hyvin tuntema professori **Magnus Berggren** Linköpingin yliopistosta on tutkinut paperille painettua elektroniikkaa 1990-luvulta alkaen. Hänen ryhmänsä suunnitteli elektroniikan liittämistä eläviin kasveihin pitkään, mutta rahoittajat suhtautuivat ideaan nihkeästi.

Kun tutkimusrahoitusta vihdoinkin vuonna 2012 tuli, työ lähti etenemään vauhdilla. Linköpingissä aiheeseen tarttui kolme tohtoriopiskelijaa. Heitä tukivat tutkijat Uumajan yliopistosta.

Tohtoriopiskelijoista **Roger Gabrielsson** löysi tarkoitukseen sopivan johdepolymerin. Se oli painetussa elektroniikassa yleisesti käytetty johdava polymeeri pedot eli poly(3,4-etyleenidioksitiofeeni). Kokeeseen valittiin sen johdannainen pedot:s-h.

Koekasviksi tutkimukseen päätyi floribundaruusu. Vaaleanpunaiset Pink Cloud -lajikkeen leikkoruusut löytyivät läheisestä kukkakaupasta.

Tutkijat upottivat ruusun varren tuoreen leikkauspinnan polymeerin vesiliuokseen, jolloin liuos imeytyi ylöspäin kasvin putkiloa myöten.

”Kasvin reagoidessa vieraaseen aineeseen putken seinämän ksyleemin eli johtosolukon ionien hapetusluku muuttuu, ja kaksiarvoisten ionien eli

divalenttien kationien määrä sisäpinalla kasvaa”, Magnus Berggren kuvailee *IEEE Spectrum* -lehdessä.

Kasvisolukon pinnalle muodostui hydrogeelikerros, joka toimi sähköä johtavana lankana. Sähköjohto ei häirinyt kasvin elintoimintoja mitenkään.

Tutkijat kokeilivat myös muita polymeerejä sekä monomeerejä, kuten pyrrolia ja aniliinia. Ne eivät kuitenkaan olleet käyttökelpoisia, sillä ne joko muodostivat tukoksen putkeen tai olivat kasville myrkyllisiä.

Sen sijaan pedotista putkiloihin saatiin rakennettua pitkiä biokemiallisia sähköjohtoja, jotka näkyivät mustina viivoina mikroskooppikuvissa.

Solukkotransistori ruusun varteen

Seuraavaksi tutkijat liittivät hydrogeelijohdeeseen kaksi kultaelektroodia. Geelin johtavuudeksi mitattiin 0,13 siemensia senttimetriä kohti. Luku on mitättömän pieni verrattuna metalleihin tai vaikkapa meriveteen – mutta riittävä elektronisten piirien rakentamista varten.

Sitten ryhmä alkoi rakentaa ruusun varteen transistoria. Periaatteen mukaan transistori on vesihanan sähköinen vastine. Tarvitaan virta ja laite, joka muuttaa jotakin virran ominaisuutta. Tyypillisessä transistorissa on lähde, josta virta tulee, ja nielu, johon virta menee. Välissä on hila, joka säätää virtaa tai jännitettä.

Tutkijat liittivät hydrogeelijohdeeseen päihin jälleen kultaelektrodit, jolloin transistoriin saatiin lähteen ja nielun vastineet. Keskelle johdetta he lisäsivät vielä yhden kultaisen elektrodin,

joka toimi hilana.

Rakennelma toimi hyvin sekä analogisena että digitaalisena transistorina. Niiden ero on, että analogisessa laitteessa jännite muuttuu tasaisesti, digitaalisessa portaittain. Matala jännite esittää nollaa, korkea jännite ykköstä.

Kun tutkijat lisäsivät mukaan vielä toisen transistorin, syntyi logiikkapiiri, joka sekin toimi moitteettomasti.

Näyttö ruusun lehteen

Toisessa kokeessa Berggrenin ryhmän tohtoriopiskelija **Eliot Gomez** hyödynsi nanoselluloosaa, jonka huokokset oli täytetty pedot-polymeerin johdannaisella nimeltään pedot:pps.

Gomez imi ruusunlehdestä ilman pois ja injektoi tyhjäksi jääneeseen tilaan johdepolymeriä sisältävää nanoselluloosaa.

Sitten tutkijat kytkivät lehden virtapiiriin ja saivat näin aikaan elektrokromismi-ilmiön. Elektrokromismi tarkoittaa materiaalin värin muuttumista palautuvasti sähkökemiallisten reaktioiden tuloksena.

Kun ryhmä muutteli jännitettä eri suuntiin, ruusunlehti vaihtoi väriä vuoroon vaaleammaksi, vuoroon tummemmaksi.

Elektrokromismia hyödynnetään muun muassa numeronäyttöissä. Paperille painetuissa elektrokromisissa näyttöissä käytetään myös pedot-polymeerejä.

Lopuksi tutkijat rakensivat näytön myös kasvavan ruusun lehteen. Tekniikka toimi siinäkin.

Tiedemaailma ihmettelee

Tutkijat julkaisivat tuloksensa viime vuoden marraskuussa – ja saivat tie-

» » »

”Voimme liittää kasveihin antureita ja käyttää lehtivihreässä syntynyttä energiaa.”



Ruusu on ruusu on ruusu – kunnes siihen yhdistetään hieman elektroniikkaa.

Tieteisfantasioista tulee vähitellen totta

Suomalaiset futurologit **Iikka Hannula** ja **Risto Linturi** julkaisivat vuonna 1998 kirjan, joka sisältää kuvitteellisia tulevaisuuden uutisia.

”Sähköä tuottavan energiametsän geenisuunnittelu aloitettiin vuonna 2014”, kertoo vuonna 2017 ”julkaistu” uutinen. Uutisen mukaan bambu, johon on siirretty niilinhauen geeni, tuottaa sähköä viimeistään vuonna 2022.

Ennuste osui osittain oikeaan. Geenisuunnittelu on edennyt luultua hitaammin, mutta bionisia kasveja on jo alettu rakennella.

Scanstockphoto

►►►

deyhteisön hämmästyttävään. Ruotsalaisryhmä oli kahdessa vuodessa tehnyt jotakin ennen näkemätöntä: saanut elektroniikkapiirin ja näytön toimimaan kasvilla.

Kun tutkimus tunkeutuu uudelle alueelle ja löytää sieltä uutta, tieteellisen maailman ensireaktio ei välttämättä ole yksimielisen riemastunut.

Näin kävi tälläkin kertaa. Kollegat arvioivat tuloksia ristiriitaisesti. Tämä selvisi, kun *Nature*-lehti pyysi muilta tutkijoilta kommentteja ruotsalais-saavutuksesta.

Orgaanisen elektroniikan tutkija **Zhenan Bao** Stanfordin yliopistosta Kaliforniasta sanoo, että tutkimus on hieno esimerkki tieteellisestä uteliaisuudesta, mutta sen vaikutus on ”epäselvä”.

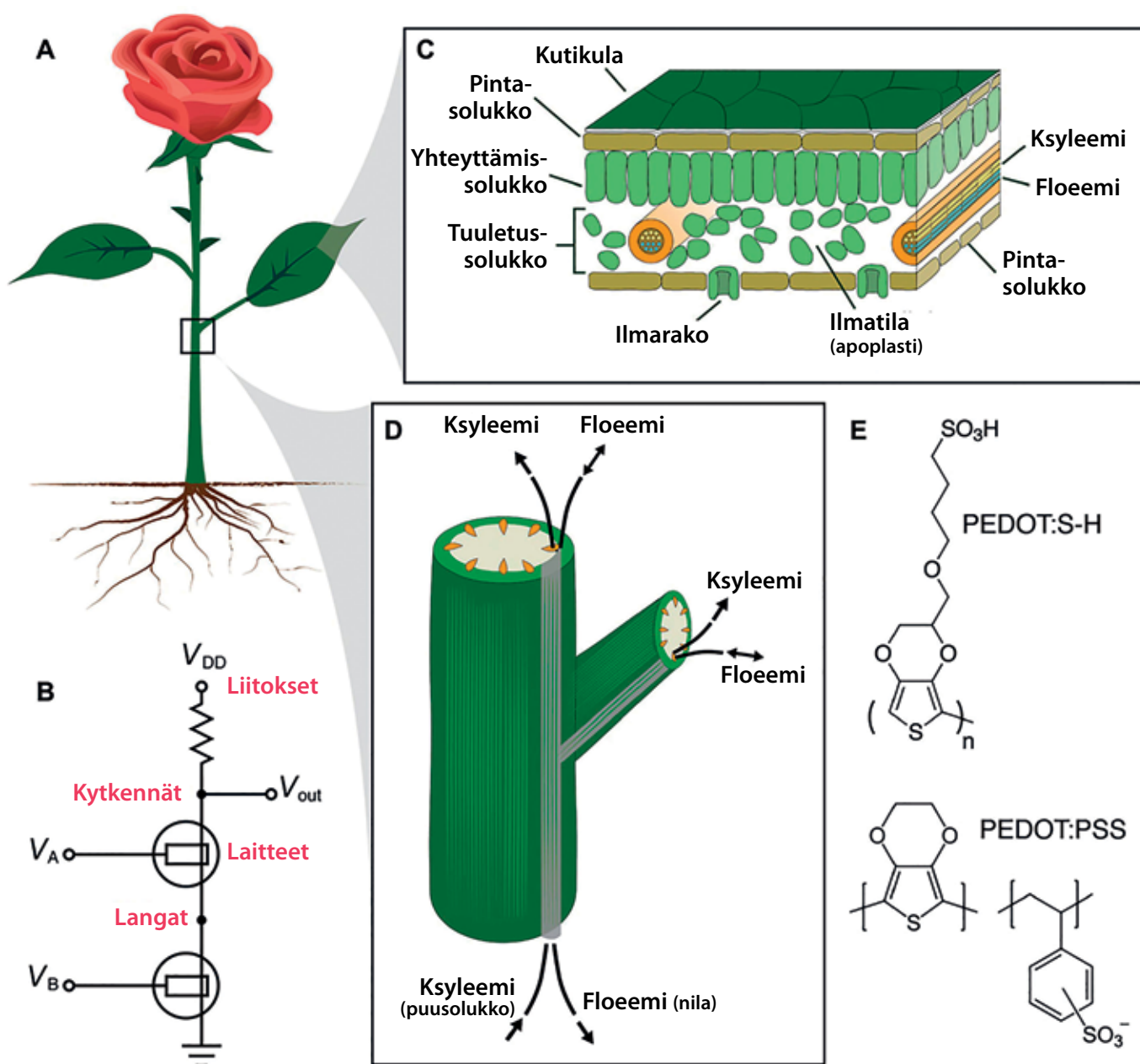
Biolääketieteellisen tekniikan asiantuntija **Christopher Bettinger** pittsburghilaisesta Carnegie Mellonin yliopistosta taas pitää tutkimusta hauskana ja ajatuksia herättävänä. Bettinger kehittää itsekin futuristista teknologiaa, kuten syötävää ja biohaavoavaa elektroniikkaa.

Bettinger myös pohtii mahdolli-

suutta saada kasvilla aikaan kasvu-yrähdys siihen istutetulla elektroniikalla.

Kolmas kommentaattori, kemian-insinööri **Michael Strano** Massachusettsin teknillisestä instituutista MIT:stä on itse lisännyt pinaattiin nanohiiliputkia. Tutkimus osoitti, että putket tehostivat fotosynteesiä keräämällä auringon energiaa uusilta aallonpituusalueilta.

Strano kuitenkin epäilee, että polymeerin lisääminen kasviin voi häiritä transpiraatiota eli veden kulkua kasvin läpi.



Kasvi (A), koostuu juurista, oksista, lehdistä ja kukista, jotka ovat samankaltaisia kuin (B) sähköiset piirit liitoksineen, keskinäisine kytkentöineen, johtoineen ja laitteineen. (C) Ruusun lehden poikkileikkaus. (D) Ruusun varren putkilojärjestelmä. (E) Käytettyjen pedot-johdannaisten rakennekaavat.

Magnus Berggrenillä on Stranolle vastaus. Hänen mukaansa ruusunlehdet, joihin lisättiin polymeeriä, olivat vielä kuukausia myöhemmin aivan normaalissa kunnossa.

Bionisen kasvin osat koossa

Vasta uudet kokeet näyttävät, miten nopeasti tutkimuksessa kyetään etenemään ja mitä sovelluksia tutkimus poikii.

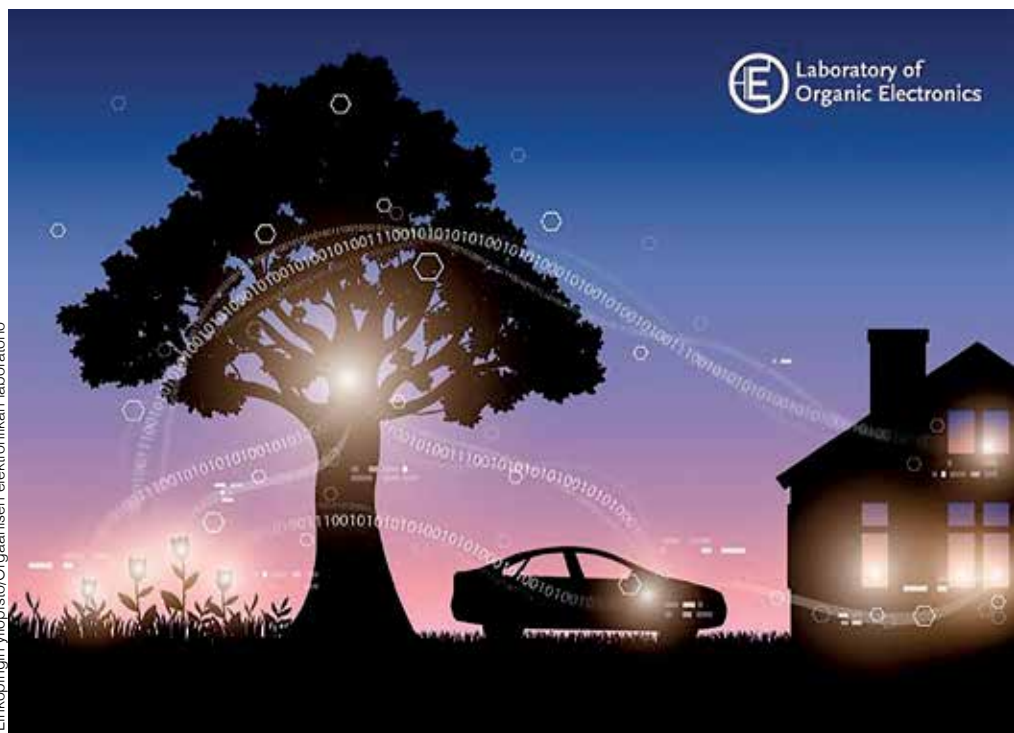
Ruotsalaisryhmä itse puhuu *e-kasvista*, jonka fysiologiaa on tutkimuksen ansiosta mahdollista seurata ja säädellä tarkasti.

Toisena sovelluksena tutkijat mainitsevat energian louhinnan. Termillä tarkoitetaan ympäristön energian, kuten vaikkapa veden virtauksen, värinän, tuulen, valon tai lämpöenergian muuntamista sähköenergiaksi.

Berggren muistuttaa Linköpingin yliopiston tiedotteessa, että ryhmän työn tuloksena on syntynyt kokonaan uusi tutkimusalue.

”Nyt voimme tosissamme alkaa puhua ’voimakasveista’. Voimme liittää kasveihin antureita ja käyttää lehtivihreässä syntynyttä energiaa. Voimme tuottaa vihreitä antenneja ja uusia materiaaleja”, professori kuvailee.

Linköpingiläiset visioivat jopa elektronista puuta, joka viestii esimerkiksi talon ja auton kanssa.



Linköpingin yliopisto/Organisen elektronikan laboratorio

Ruotsalaistutkijoiden hahmottelema ”elektroninen puu” viestii esimerkiksi talon ja auton kanssa. Sähköiset signaalit ja kasvin omat kemialliset prosessit voidaan ehkä yhdistää elektronisia toiminnallisuuksia lisäämällä.

Biosähköä puunjuurista

Yksi bioninen laite ruotsalaisesta koe-laitteesta puuttui: sähkögeneraattori. Sellaisia on onneksi kehitetty toisaalla.

Yhdysvaltalainen Voltree Power -yhtiö myy lämpötilaa, kosteutta ja

muita suureita mittaavia antureita, jotka sijoitetaan maastoon. Energia-lähteeksi voi valita myös laitteen, joka louhii biosähköä puun juurista. Generaattori kerää energiaa pH-arvon erosta kasvin ksyleemin ja maan välillä.

Amerikkalaisyhtiön tekniikka sai alkunsa MIT:n tutkijaryhmän työstä, joka julkaistiin vuonna 2008. Kokeissa tutkijat louhivat sähköenergiaa li-moviikunasta.

Hollantilainen Plant-e puolestaan kaupaa itse koottavaa mikrobipolt-tokennoa, joka louhii sähköä kasvien juurten ympäristön mikrobeista. Teknologia sai alkunsa Wageningenin yliopiston tutkijoiden työstä, joka niin ikään julkaistiin vuonna 2008.

Kasvien sähkökemian hyödyntäminen toisistaan riippumattomissa – olkoonkin vielä harvalukuisissa – kokeissa ja tuotteissa on tärkeä signaali. Se kertoo toistaiseksi heikosta mutta tulevaisuudessa merkittävästä trendistä.

Vaikka aikaa voi vierähtää vuosia, kemian, kasvitieteen ja elektroniikan raja-alueella syntyy pakostakin mielenkiintoisia innovaatioita. □

KOMMENTTI

Ruotsalaiset tekivät sen taas

Suhtautuminen aikaan on yksi niistä menestystekijöistä, joita on vaikea mitata ja kiistattomasti määrittellä, mutta jotka ovat yhtä tärkeitä kuin kovat, toistamiskelpoiset koetulokset. Mitata ei voi, mutta yhteisöjen toimintatavat, tunnelmat ja kulttuurin voi aistia.

Linköpingin yliopiston tutkimus on myös tiedepoliittisesti kiinnostava. Rahoituksen saaminen vei aikaa yli kymmenen vuotta. Valtiollisille tutkimusrahoit-

tajille idea oli liian villi. Lopulta apuun tuli yksityinen mesenaatti, Knut ja Alice Wallenbergin säätiö.

Tutkimusrahan hankkiminen rämäpäisiin hankkeisiin ei ole helppoa missään. Mutta jossakin se on helpompaa kuin muualla. Mahtavatko ruotsalaiset panostaa tulevaisuuteen enemmän kuin esimerkiksi me suomalaiset?

Kalevi Rantanen

Kirjoittaja on vapaa tiedetoimittaja.
kalevi.rantanen@kolumbus.fi