

**MARIA SMOLANDER**

tuotkimustiimin vetäjä  
joustavat sensorit ja laitteet  
Teknologian tutkimuskeskus VTT  
maria.smolander@vtt.fi

**TEEMU ALAJOKI**

tuotkimustiimin vetäjä  
optiset sensorit ja  
moduulitekniologiat  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

**JOUNI KAARTINEN**

johtava tutkija  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

**JANI MÄNTYJÄRVI**

johtava tutkija  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

# Hiessä virtaa tietoa

**Joustava elektroniikka avaa uusia mahdollisuuksia itsestään tietoa janoavalle aktiiviliikkujalle.**

**SUURI OSA AKTIIVILIIKKUIJISTA** haluaa mitata liikuntasuoritustaan, suorituskykyään ja fyysistä aktiivisuuttaan sekä arvioida palautumistaan ja analysoida unenlaatuun. Markkinoilla on runsain määrin erilaisia puettavia laitteita kuten sykevoimia, älyrannekkeita ja -sormuksia joiden avulla liikkuja voi seurata sykettään. Teknologian tutkimuskeskus VTT kehittää seuraavan sukupolven liikuntasovelluksia. Joustavan elektroniikan innovaatioilla on tarkoitus tehdä puettavista anturiratkaisuista yhä huomaamattomampia laitteita. Kiinteä ihokontakti mahdollistaa myös aivan uusien, esimerkiksi suolatasapainoa ja laktaattia hiestä mittaavien anturien kehityksen.

Laiteratkaisuihin liittyvillä sovelluksilla ja verkkopalveilla on merkittävä rooli mitattavan tiedon hyödyntämisessä harjoituksen aikana ja jälkianalyysissä. Data-analytiikan ja koneoppimisen avulla käyttäjä saa henkilökohtaisen tilannekuvan ja palautteen fyysisestä aktiivisuudestaan, harjoittelustaan, palautumisestaan ja unestaan. Palvelut mahdollistavat harjoittelun ja elintapojen automaattisen valmentamisen sekä kytkeytymisen itseä kiinnostaviin yhteisöihin, mikä avaa tilaisuuden vertailuun muihin käyttäjiin.

## Joustavalla elektroniikalla käyttömukavuutta

Nykyiset elektroniikkatuotteet ovat pohjimmiltaan jäykkiä piirilevyjä enemmän tai vähemmän kovien koteloiden sisällä. Joustavan elektroniikan rullalta rullalle -painotekniikka ja hybridivalmistustekniikka mahdollistavat pehmeän, mukautuvan ja jopa venyvän elektroniikan ratkaisuja, joita voi käyttää älykkäiden laastarien tapaan. Anturit voidaan myös integroida tekstiileihin. VTT:n kehittämien älylaastareiden käyttömukavuus vastaa normaalia laastaria. Ne voivat mitata luotettavasti esimerkiksi hengitystaaajuutta, happikylläisyyttä, syketaajuutta, lämpötilaa ja jopa EKG:tä eli sydänfilmiä.

Älylaastarin rakenne perustuu painettavaan elektroniikkaan, jota VTT on kehittänyt parikymmentä vuotta eri toimialoille. Taipuisa, jopa venyvä alustamateriaali pyörii rullalta rullalle kuin kirjapainossa, ja johdotukset painetaan sille johtavalla musteella. Erilliskomponentit, kuten IC-piirit, kiinnitetään alustaan johtavalla liimalla, mikä tehdään automaattisesti rullaprosessissa (Behfar ym. 2021). Jatkuva-

toiminen rullaprosessi antaa hyvän lähtökohdan anturiratkaisujen kaupalliseen massavalmistukseen.

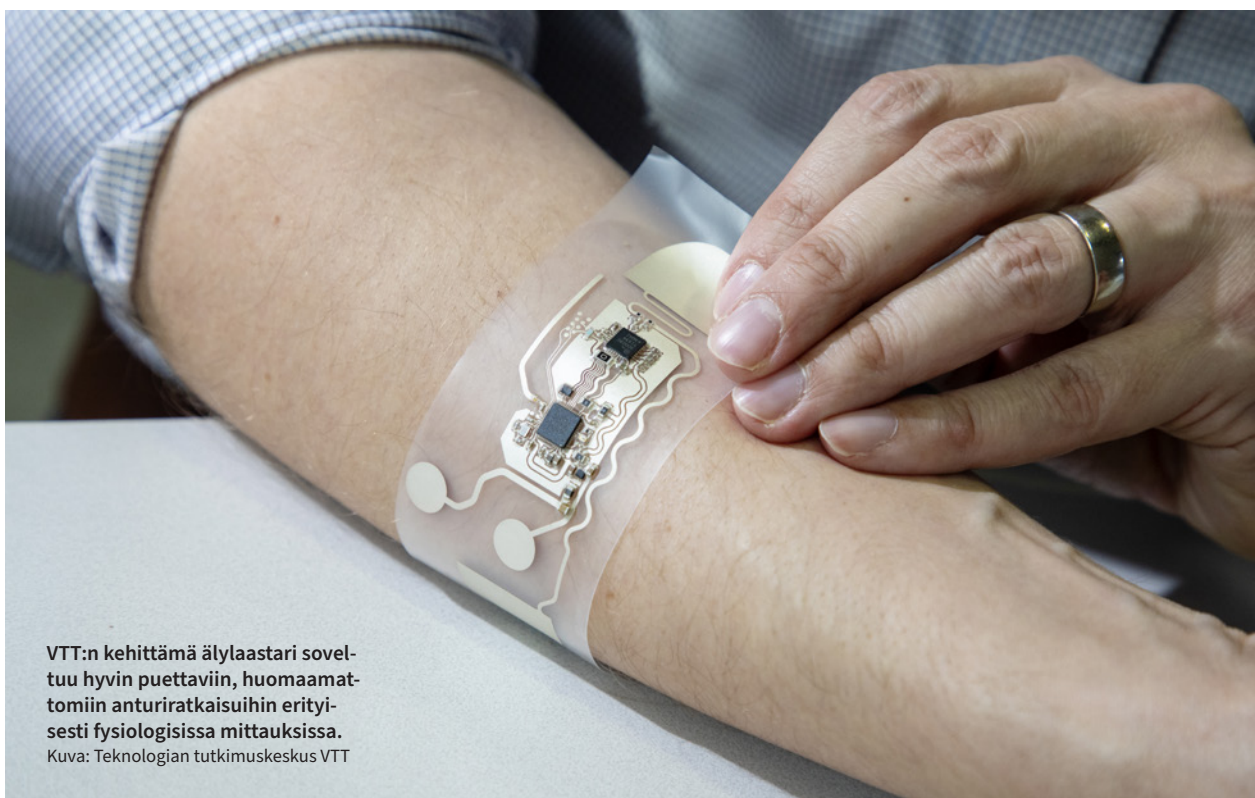
Suurin yksittäinen komponentti toteutuksessa on nappiparisto. Ohuiden joustavien paristojen kehitys on nopeaa, ja niitä nähdään varmasti lähivuosina näissä sovelluksissa. Älylaastarin pohja on varsin tavallista, hengittävää ja mukautuvaa terveydenhuollon vaatimukset täyttävää laastarimateriaalia. Kehitteillä on myös itsestään iholle kiinnittyvä, hiustakin ohuempi ja äärimmäisen mukautuva ja huomaamaton tatuoinnin omainen ratkaisu (e-tattoo), joka on myös sovellettavissa esimerkiksi EKG-mittaukseen (Huttunen ym. 2022).

## Uutta tietoa hikiantureilla

Liikkuja hikoilee jopa litran tunnissa. Suurin osa hiestä on vettä, mutta hiki sisältää myös elektrolyyttejä sekä bioemiallisia aineenvaihduntatuotteita. Hien koostumuksen mittausta tarjoaa uuden mahdollisuuden urheilusuorituksen monitorointiin esimerkiksi ilman verinäytteitä, joita tällä hetkellä käytetään erityisesti laktaatin mittaukseen. Markkinoilla on jo kertakäyttöinen, visuaalisella muutoksella hikeen reagoiva, iholle kiinnitettävä tarra (Gatorade). Tarra skannataan älypuhelimien sovelluksella, jolloin sovellus kertoo liikkujalle nesteenkulutuksesta harjoituksen aikana, hien erityisnopeudesta sekä hikoillessa menetetyistä natriumista.

Myös suoraan iholle kiinnitettäviä, sähköisiä antureita on kehitteillä esimerkiksi hien elektrolyyttitasoa tai laktaattipitoisuuden mittaamiseksi suorituksen aikana. Esimerkiksi Gillan ym. (2021) kehittivät pienikokoisen, tarramaisen anturiratkaisun hien laktaattipitoisuuden mittaukseen. Toteutus koostuu kertakäyttöisestä anturista sekä uudelleen käytettävästä elektroniikkaosasta. Anturin avulla seurattiin hien laktaattipitoisuuden muutoksia samanaikaisesti kehon eri osista harjoituksen aikana. Vaikka veren ja hien laktaattipitoisuudet eivät suoraan korreloi keskenään, mitaukset antoivat kuitenkin viitteitä aiemminkin raportoituun yhteyteen veren laktaatin ja erityisesti harjoituksessa käytetyn lihaksen kohdalta mitatun laktaatin yhteydestä.

VTT selvittää joustavan ja massavalmistettavan elektroniikan mahdollisuuksia hikiantureiden kehityksessä myös yhdessä kalifornialaisen Berkeleyyn yliopiston kans-



VTT:n kehittämä älylaastari soveltuu hyvin puettaviin, huomaamattomiin anturiratkaisuihin erityisesti fysiologisissa mittauksissa.  
Kuva: Teknologian tutkimuskeskus VTT

sa. Yhteistyössä on kehitetty mm. mikrofluidiikkaa sisältävä anturiratkaisu hien natrium-, kalium- ja glukoosipitoisuuksien sekä hieneritysnopeuden mittaamiseen kehon eri alueilta (Nyein ym. 2019). Ratkaisun avulla voitiin arvioida laajasti hikianalyysin mahdollisuuksia ja rajoituksia lääketieteellisen ja fysiologisen tilan arvioinnissa.

#### Datanhallinta liikuntasovelluksissa

Liikunta-anturit ja sovellukset tuottavat käyttäjästään monipuolista dataa. Kokonaisjärjestelmä koostuu anturimoduuleista, mobiilipäätelaitteesta ja internet-taustapalvelusta. Datan sujuva, langaton ja tietoturvallinen siirtäminen ja hallinta esimerkiksi Bluetooth -yhteydellä anturimoduuleista mobiilipäätelaitteen kautta taustajärjestelmiin (esim. pilvipalvelut) on perusedellytys toimivien liikuntasovellusten rakentamisessa. Liikuntasuorituksen aikana tehtävä data-analyysi tehdään paikallisesti anturimoduulissa, rannelaitteessa tai matkapuhelimessa, joiden avulla käyttäjä saa palautteen suorituksesta reaaliajassa.

Laajemmat monipuoliset data-analyysit tehdään yleensä internetissä tai 5G-reunalaskentaympäristössä sijaitsevassa taustajärjestelmässä. Analyysien tulokset ovat saatavilla käyttäjälle internet-käyttöliittymän ja matkapuhelinosovelluksen avulla. Järjestelmän eri tasoilla toimivat data-analyysialgoritmit sovitetaan kyseisen laitteen laskenta-, muisti-, kommunikaatio- ja akkukapasiteettiin. Datan jakaminen

## Tulevaisuudessa tekoöly hoitaa yksilökeskeisen valmennuksen (automated storytelling) tarjoten oikeanlaista tietoa ja suosituksia.

erilaisten palveluiden välillä on yleistymässä. Käyttäjä pystyy halutessaan siirtämään keräämänsä tiedot sähköisesti taustapalvelusta toiseen ohjelmistotorajapintojen avulla. On myös muodostettu laajempia data-altaita (esim. Kanta Omätietovarento) hyvinvointitiedon kokonaisvaltaisemman analysoinnin mahdollistamiseksi.

#### Tekoöly valmentajana

Tällä hetkellä aktiiviliikkujat valmentavat itseään mittalaitteiden tarjoaman informaation ja liikunta-alan ammattilaisten tai valmistajien liikuntaohjeistusten ja -suositusten avulla. Tulevaisuudessa tekoöly hoitaa yksilökeskeisen valmennuksen (automated storytelling) tarjoten oikeanlaista tietoa ja suosituksia harjoituksen, palautumisen ja ravinnon sekä muiden suoritukseen liittyvien valintojen osalta. Valmennusohjeistussuosituksia voidaan tarjota oikeaan aikaan sopivassa muodossa esimerkiksi tekstin, äänen, kuvan tai videon muodossa.

Tulevaisuudessa suositukset muodostetaan tekoölyllä fuusioimalla henkilökohtaisia harjoitus-, lepo-, uni- ja arkipäivä datatallenteita yhdessä niiden tarkan merkityksen sekä harjoitussäännösten kanssa. Nykyiset hyvinvointilaitteet tarjoavat sääntöpohjaisiin järjestelmiin perustuvia suosituksia, mutta tulevaisuuden liikkujalle ohjeistusta luovat esimerkiksi adaptiiviset syvät neuroverkot. Ensimmäisiä tutkimuksellisia prototyyppijärjestelmiä on kehitetty auto-

maattiseen, ihmisen ymmärrettävien skriptien generointiin suoraan anturidatan perusteella (Nguyen ym. 2021).

### Anturiratkaisuja ympäristöä kuormittamatta

Ekosuunnittelun vaatimukset myös puettavissa antureissa ohjaavat kehitystä ratkaisuihin, joiden ympäristövaikutukset ovat mahdollisimmat vähäisiä materiaalitehokkuuden, kestävyys, korjattavuuden sekä materiaalivalintojen myötä. Painettu elektroniikka pienentää jo prosessina ympäristökuormaa. Esimerkiksi energiankulutus voi vähentyä jopa viidesosaan perinteisiin elektroniikan valmistusprosesseihin verrattuna (Nassajfar ym. 2021).

Uusiutuvista raaka-aineista peräisin olevien materiaalien valinta tuo lisäarvoa ja jopa paperipohjaisten materiaalien käyttöä painetun elektroniikan kantajamateriaalina on selvitetty lupaavien tuloksien (Jansson ym. 2022). Prosessi- ja materiaalivalintojen lisäksi voidaan tuotesuunnittelulla edistää tuotteen uudelleenkäyttöä joko kokonaan tai osittain sekä materiaalien kierrätystä ja talteenottoa. ♦

### LÄHTEET

Behfar, M. H., Di Vito, D., Korhonen, A., Nguyen, D., Amin, B. M., Kurkela, T., Tuomikoski, M. & Mäntysalo, M. 2021. Fully Integrated Wireless Elastic Wearable Systems for Health Monitoring Applications. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 11(6), 1022–1027.

Gatorade. 2022. [www.gatorade-com/gx/sweatpatch](http://www.gatorade-com/gx/sweatpatch)

Gillan, L., Teerinen, T., Suhonen, M., Kivimäki, L. & Alastalo, A. 2021. Simultaneous multi-location wireless monitoring of sweat lactate trends. Flexible and Printed Electronics, 6(3), [034003].

Huttunen, O. H., Behfar, M. H., Hiitola-Keinänen, J. & Hiltunen, J. 2022. Electronic Tattoo with Transferable Printed Electrodes and Interconnects for Wireless Electrophysiology Monitoring. Advanced Materials Technologies. 2101496

Kanta Omatietovaranto. 2022. <https://www.kanta.fi/jarjestelmakehittajat/omatietovaranto>

Jansson, E., Lyytikäinen, J., Tanninen, P., Eiroma, K., Leminen, V., Immonen, K. & Hakola, L. 2022. Suitability of Paper-Based Substrates for Printed Electronics. Materials, 15(3), [957].

Nassajfar, M.N., Deviatkin, I., Leminen, V. & Horttanainen, M. 2021. Alternative Materials for Printed Circuit Board Production: An Environmental Perspective. Sustainability 13, 12126.

Nyein, H. Y. Y., Bariya, M., Kivimäki, L., Uusitalo, S., Liaw, T. S., Jansson, E., Ahn, C. H., Hangasky, J. A., Zhao, J., Lin, Y., Happonen, T., Chao, M., Liedert, C., Zhao, Y., Tai, L. C., Hiltunen, J. & Javey, A. 2019. Regional and correlative sweat analysis using high-throughput microfluidic sensing patches toward decoding sweat. Science advances, 5(8), [eaaw9906].

Nguyen, K.T, Mäntyjärvi, J. & Nguyen, T.T.N. 2021. Automatic Storytelling from Wearable Sensor Data for Health and Wellness Applications, IEEE EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI), 30 Jul 2021, ISBN: 978-1-6654-0358-0



Tiedekirja

**KÄY SISÄÄN  
TIETEEN OMAAN  
VERKKOKAUPPAAN**

**WWW.TIEDEKIRJA.FI**

Tutkimusta ja tietoa  
Tiedekirjasta!

Löydät myös Liikuntatieteellisen Seuran julkaisut meiltä.

**Tieteen puolesta.**