



VTT

Sensoriteknologian hyödyntäminen kuntotestauksessa

30 March 2023
Maria Smolander, VTT

04/04/2023 VTT – beyond the obvious

AGENDA

- Taustaa VTTstä
- Joustava elektroniikka ja sen sovellukset terveys- ja hyvinvointisovelluksissa VTTllä
- PVTO2021 – Sensoriteknologia sotilaan fyysisen toimintakyvyn testaamisessa
- Yhteenveto



TARKOITUKSEMME

Tuomme yhteen ihmiset, yritykset,
tieteen ja teknologian

**RATKAISTAKSEMME
AIKAMME SUURIMPIA
HAASTEITA**

ja luodaksemme siten kestäväää kasvua,
työpaikkoja ja hyvinvointia.

VTT – *beyond the obvious*

VTT on visionäärinen tutkimus-, kehitys- ja innovaatiokumppani ja yksi Euroopan johtavista tutkimuslaitoksista.

Tehtävämme on edistää tutkimuksen ja teknologian hyödyntämistä ja kaupallistamista elinkeinoelämässä ja yhteiskunnassa. Käännämme tieteen ja teknologian avulla suuria globaaleja haasteita yritysten ja yhteiskunnan kestäväksi hyödyksi vastuullisesti.

254 M€

kokonaistuotot

2 093

työntekijää

45 %

liike-vaihdosta
ulkomailta

32 %

tohtoreita ja
lisansiaatteja

Perustettu

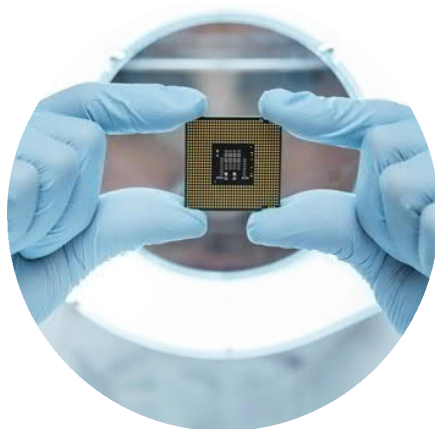
1942

Omistajaohjaus:
työ- ja
elinkeino-
ministeriö

Luomme ratkaisuja kolmella liiketoiminta-alueella



**Hiilineutraalit
ratkaisut**



Digitaaliset teknologiat



**Tulevaisuuden tuotteet
ja materiaalit**

Digitaaliset teknologiat

VTT

Kehitämme kumouksellisia teknologioita, ja tunnistamme mahdollisuuksia globaalien haasteiden ratkaisemiseksi

Uuden sukupolven mikroelektroniikka

Räätälöidyt terveys- ja hyvinvointiratkaisut

Integroitu elektroniikka ja fotonikka

Kvanttitekniikka

Luomme tulevaisuuden innovaatioita yhdessä asiakkaidemme ja kumppaneidemme kanssa

Strateginen ennakointi

Avaruustekniikka, tietoliikenne ja havainnointi

Kriittisten ympäristöjen tiedonsiirto

Turvallisuus- ja puolustustekniikka

Kilpailukyky kompleksisessa ja epävakaassa maailmassa

Mahdollistamme suorituskykyisen ja kestävä digiyhteiskunnan kehittämisen



Sensoriteknologiat kuntotestaukseen

Iholle liimattavat (tarramaiset) mittalaitteet

- dehydraatio, liikeanturit, EKG

Vaatetukseen upotettavat mittalaitteet

- liikeanturit

Puettavat erilliset laitteet (rannelaitteet)

- sykemittaus

Applikaatio- ja algoritmipohjaiset ratkaisut

- liikeanturit

Kiinteät anturoidut laitteet

- kehonkoostumus, liikevoima

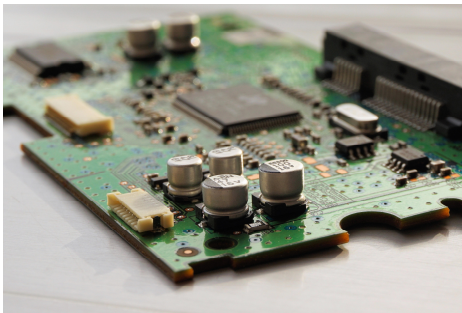
Testiratatyyppiset ratkaisut

- toimintakykytestit, simulaatiot

4.4.2023



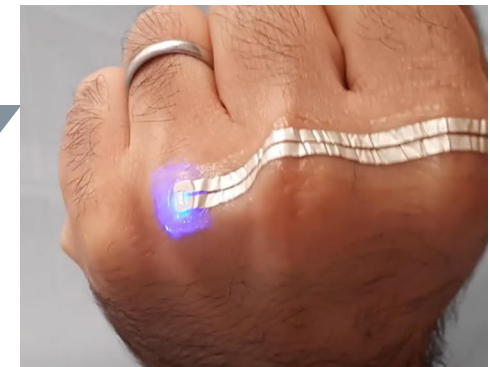
Painotekniikan ja hybridivalmistuksen avulla kohti ihoa myötäileviä älytatuointeja ja älytekstiilejä



Perinteinen piirilevypohjainen elektroniikka



- *Biologinen yhteensopivuus*
- *Kestävyys*
- *Käyttömukavuus*
- *Helppokäyttöisyys*
- *Mekaaninen mukautuminen ihon liikkeisiin*



Ohut ja mukautuva elektroniikka



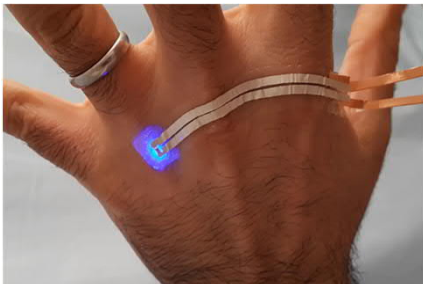
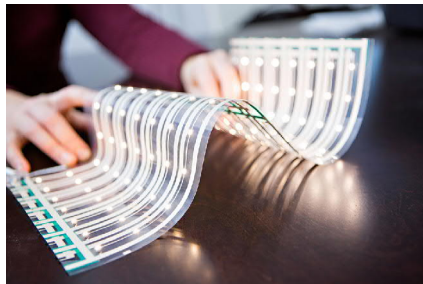
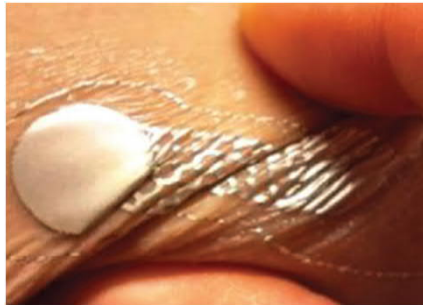
VTT PrintoCent Pilot Factory

- yli 15 vuotta painetun elektroniikan ja fotonikan pioneerityötä kansainvälisesti palkitussa tutkimusinfrastruktuurissa
- merkittävä sovelluspotentialiaali terveys- ja hyvinvointisovelluksissa
 - Puettava elektroniikka (kemialliset ja fysikaaliset mittaukset)
 - Massavalmistettava diagnostiikka

VIDEO

Joustavan elektroniikan sovellukset kuntotestaussovelluksissa nyt ja tulevaisuudessa





Esimerkkejä VTTltä ja maailmalta

Vaatteisiin upotetut mittalaitteet – jo markkinoilla olevia kaupallisia ratkaisuja



Mobiili kävelyn ja liikkumisen mittalaite (Movesole Oy)



Movesense - pienikokoinen ohjelmoitava liike-, EKG- ja sykeanturi, jota voidaan käyttää erilaisiin terveyden, hyvinvoinnin, urheilun ja kuntoilun sovelluksiin ja tutkimusratkaisuihin (Movesense)



Mobiili juoksun mittalaite (NURVV, UK)



Equivital Black Ghost - mittaa sykettä, sykevariaatiota, hengitystaajuutta, lämpötilaa, asentoa, kiihtyvyyttä ja paikkaa, voi myös varoittaa esim lämpöhalvauksesta (Equivital)

VTTn hybridivalmistus yhdistää painetun elektroniikan taipuisuuden ja puolijohteiden suorituskyvyn

- suuren pinta-alan tekstiilinäyttö –
perustuu hybridi-integroituohin
RGB-LEDeihin ja painettuihin
hopeajohtimiin

*A. Huttunen et al., "Stretchable LED matrix
display," 2020 IEEE 8th ESTC, 2020, pp. 1-5.*



Kehitteillä olevat, iholle liimattavat mittalaitteet (VTT)

- Täysin tai osittain kertakäyttöisiä (7-14 d)
- Mittalaitteen rakenne: iholiima, venyvä alusta, jossa mittapää ja ohjauselektroniikka, akku sekä tiedonsiirto (esim. Bluetooth), ja mittalaitteen kotelointi.
- Fysiologiset parametrit: hengitystaajuus, sykenopeus, verenpaine, EKG, bioimpedanssi, happikylläisyys, kehon lämpötila, aktiivisuus, liike, jopa biologiset metaboliitit
- TRL taso 3-5
- Kaupallisesti saatavilla 1 – 5 vuoden sisällä.
- Hintataso euroista kymmeneen riippuen mittalaitteen ominaisuuksista ja valmistustekniikoista.



FlexDot - Ultra-kompakti langaton like- ja lämpötilasensori

VTT



Joustava EKG anturi

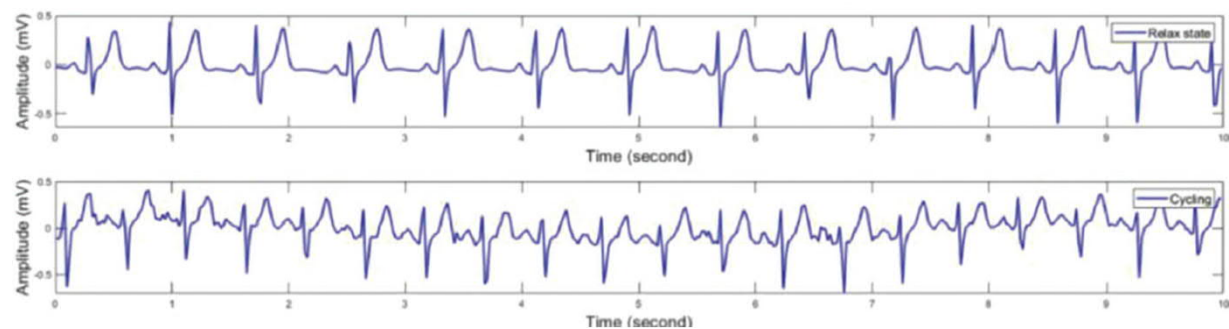


*IEEE Transactions on Components, Packaging and
Manufacturing technology
DOI 10.1109/TCPMT.2021.3082647*

- Paino- ja hybriditekniikalla toteutettu painettu piiri termoplastisella, joustavalla polyuretaanilla
- Johdinten toimintakyky säilyy myös venytyksessä
- Vähäisen tehonkulutuksen elektroniikka integroitu suoraan elastiseen materiaaliin
- Reaaliaikainen Bluetooth yhteys mobiililaitteeseen
- Mahdollisuus massavalmistukseen
- **Ohuus, hengittävyys ja joustavuus = käyttömukavuus!**

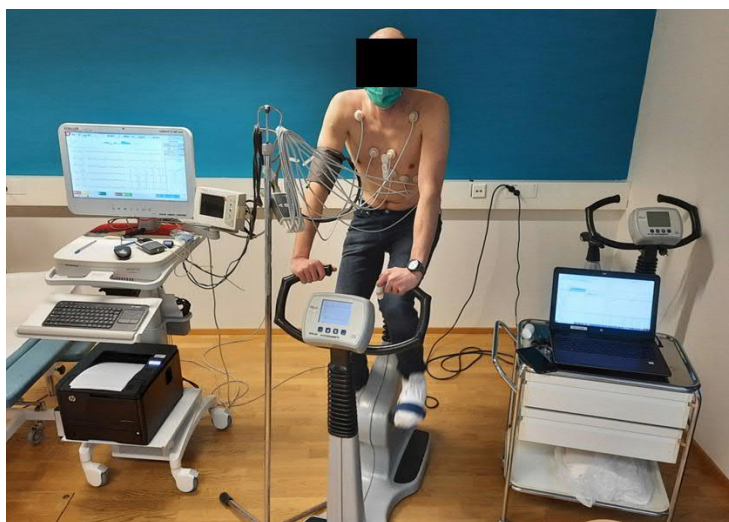
Tatuoinnin omaiset elektrodit

- Hiusta ohuempi silikonipohjainen elektrodirakenne
- Kiinnittyy itsestään iholle
- Ensimmäiset lupaavat testit EKG mittauksessa



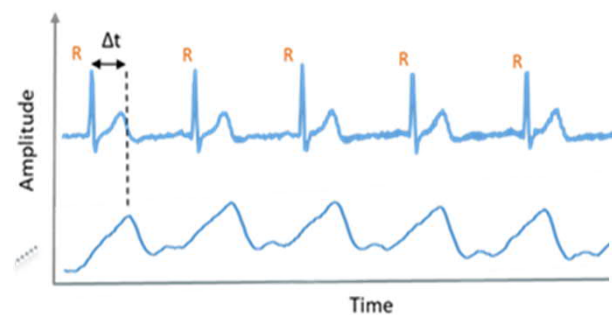
Huttunen, O.-H., Behfar, M. H., Hiitola-Keinänen, J., Hiltunen, J., Electronic Tattoo with Transferable Printed *Adv. Mater. Technol.* 2022, 7, 2101496. <https://doi.org/10.1002/admt.202101496>

Synkronoitu EKG - PPG mittaus – monipuolista tietoa langattomalla monianturiratkaisulla



Synkronoitu monianturiratkaisu
mahdollistaa verisuonten toiminnan
seurannan

EKG
sähköinen anturi



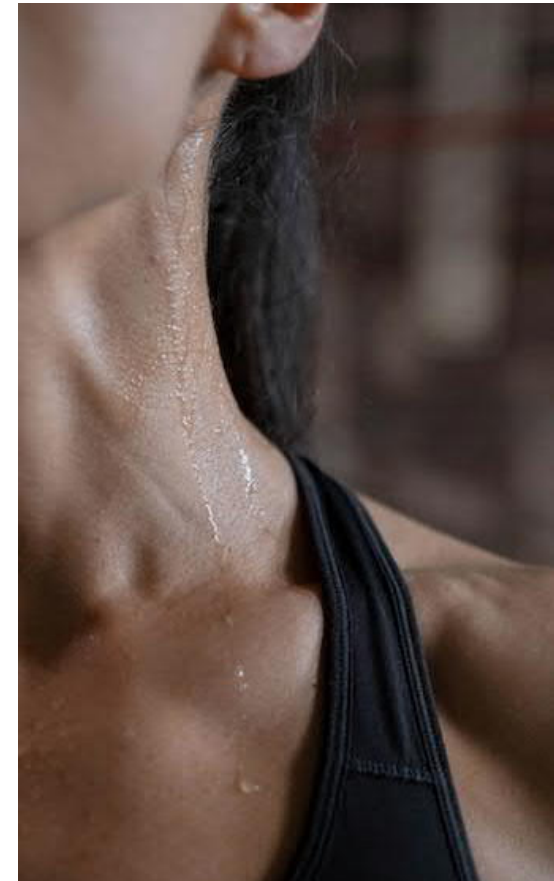
PPG (oksimetri)
optinen anturi
useita aallonpituuksia
HR & SpO₂



Jussi Hiltunen/ VTT

Hiki biologisen informaation lähteenä

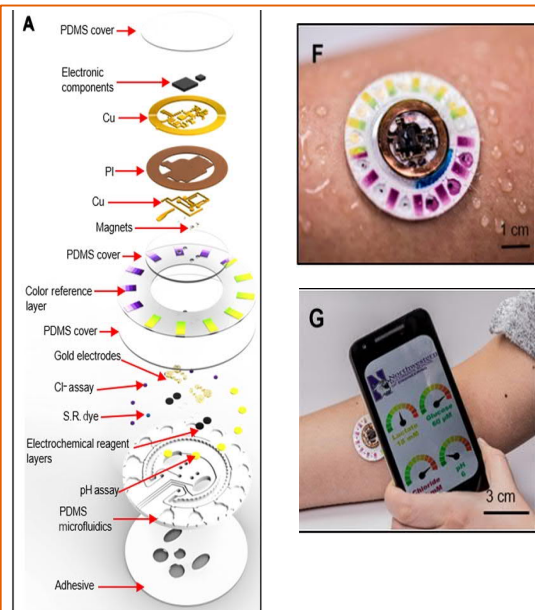
- mahdollistaa kehon ulkopuolisen biomarkkerien analysoinnin
- koostumus ja määrä voi vaihdella riippuen fysiologisista tekijöistä, fyysisestä rasituksesta ja ulkoisista tekijöistä
- hiestä analysoitu elektrolyyttien, pH:n, urean, glukoosin ja laktaatin ohella useita biomarkkereita (kortisoli, hormonit, muut metaboliitit, immunoglobuliinit, sytokiinit)
- hien keräykseen kehitetty useita menetelmiä



Iholle kiinnitettävät hikibiosensorit



Mittaa hien metaboliitteja (laktaatti, glukoosi), elektrolyyttejä (dehydraatio) ja lämpötilaa
Gao et al (2016) Nature, 529(7587), 509-514.



Mittaa hien eritysnopeutta, pH:ta (kolorimetrinen), laktaattia, glukoosia ja kloridia (kolorimetrinen), energia-autonominen ratkaisu
Bandodkar et al (2019) Science Advances, 5(1)



Mittaa laktaattia ja glukoosia, optimoitu hien virtaus sensorin sisään ja ulos
Martín et al. (2017) ACS Sensors, 2(12), 1860-1868.

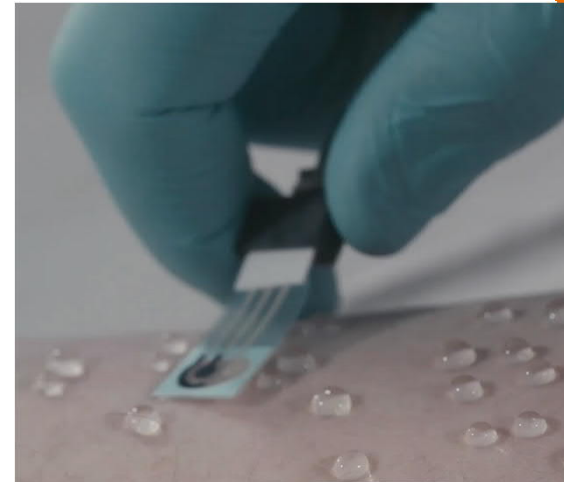
Puettava laktaattisensori (kehitteillä)



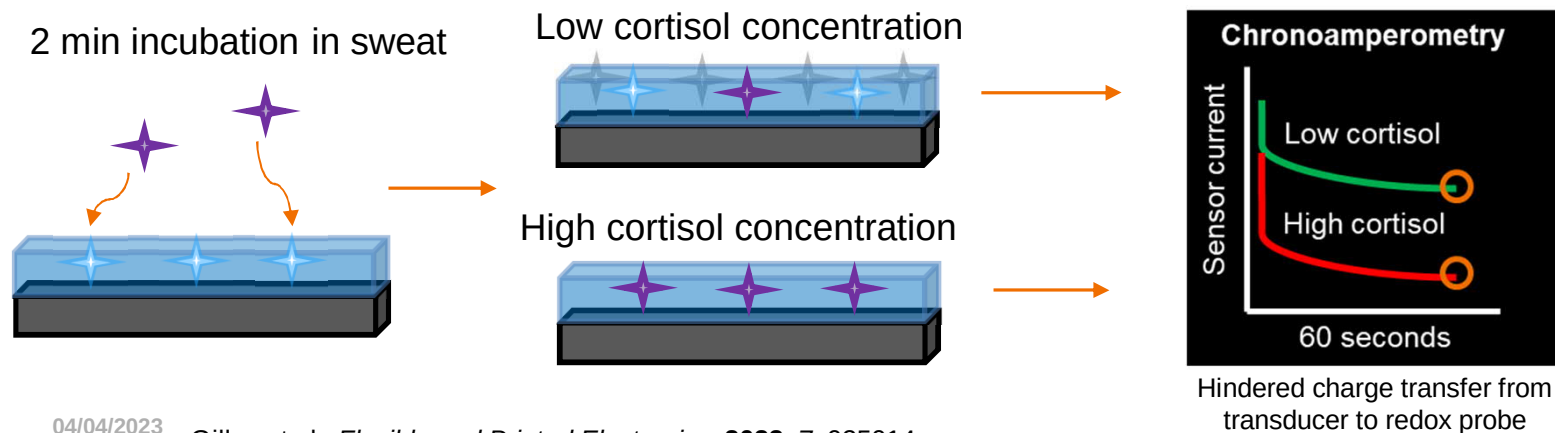
- Sensori ja elektroniikka voidaan kiinnittää iholle ihonmyötäisesti (osittain monikäyttöinen)
 - Laktaatin mittaus erittyneestä hiestä fyysisen harjoituksen aikana
 - Laktaatti mitataan entsymaattis-amperometrisesti
 - Reaaliaikainen noninvasiivinen mittaus
 - Laktaatin biokemiallinen mittaus integroitu sähköiseen tiedon käsittelyyn ja tiedon siirtoon
 - Mahdollistaa laktaatin mittauksen 30 mM asti
-
- Gillan, L. et al. Simultaneous multi-location wireless monitoring of sweat lactate trends. *Flexible and Printed Electronics* **6**, 034003 (2021).

Kortisolin mittaus hiestä

- Kortisoli – stressihormoni, jonka epätasapaino vaikuttaa terveyteen ja hyvinvointiin
- Miniaturisoitu MIP (molecular imprinted polymer) sensori joka mahdollistaa monitoroinnin ilman verinäytettä



VIDEO



Dehydraatiota mittaava tarra

- [Gx Sweat Patch - Epicore Biosystems](#)
- Kaksi nestekanavaa kerää hikeä fyysisen harjoituksen aikana ja tarra näyttää kanavassa tapahtuvan värimuutoksen perusteella hien erittymisnopeuden ja natriumpitoisuuden reaaliaikaisesti.
- Hien erittymisnopeus näkyy oranssina ja natriumkloridipitoisuus violettina värinä sensorissa. Mobiilisovellus käyttää kuvankäsittelyalgoritmeja värimuutosten analysointiin ja antaa ohjeet rehydraatioon



Baker et al. (2020). Skin-interfaced microfluidic system with personalized sweating rate and sweat chloride analytics for sports science applications. *Science Advances*, 6(50)

PVTO2021 – Sensoritekniologia sotilaan fyysisen toimintakyvyn testaamisessa



Tavoitteena löytää **kustannustehokkaita ja innovatiivisia sensoriratkaisuja**, joiden avulla tuotetaan **yksityiskohtaisempaa tietoa** sotilaan fyysisen toimintakyvyn ominaisuuksista ja jotka soveltuvat **massatesteihin**

Konsortio



Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy

- Massavalmistettavan joustavan, puettavan ja langattoman elektroniikan kehitys
- Tiedonsiirto, -hallinta ja -analyysialusta, algoritmit, käyttöliittymät
- Kustannusvaikutusanalyysit

Työterveyslaitos

Työterveyslaitos TTL

- Sensoriratkaisujen kenttätestaus
- Vaativissa ammateissa käytettävien menetelmien sovellettavuus sotilaan fyysisen toimintakyvyn arviointiin



Huippu-urheilun instituutti KIHU

- Sensoriratkaisujen laboriotestaus
- Huippu-urheilussa käytettävien menetelmien sovellettavuus sotilaan fyysisen toimintakyvyn arviointiin

Lähestymistapa

- Nykytilanteessa käytettyjen kuntotestausmenetelmien systemaattinen arviointi avainkriteereiden osalta
 - nykytilanteen ja uusien testaus/mittausratkaisujen keskinäinen vertailu!
- Kehitysehdotukset
 - Uudet testiehdotukset
 - Ehdotukset nykyisten testimenetelmien kehittämiseksi
- Kuntotestien ja sensoriratkaisujen analysointi laboratorio-olosuhteissa



Lähtökohta



- Nykyinen varusmiesten kuntotestitapahtuma on sujuva ja tehokas, ja kustannussäästöjä on vaikea saavuttaa, mikäli käytetään nykyistä testipatteria
- Tarvetta on uusille testeille, jotka mittaavat sotilastehtävissä tarvittavia valmiuksia nykyistä monipuolisemmin
- Sensori- ym. teknologiaa voisi myös hyödyntää nykyistä enemmän
- **Tarvetta olisi tarkoitukseen sopivalla, sujuvalla ja luotettavasti toimivalla, digiteknologiaa hyödyntävällä kokonaisjärjestelmällä, joka mahdollistaa nykyistä monipuolisemman testaamisen**



*Alokkaiden Cooperin testi
Santahaminassa kesällä 2021*

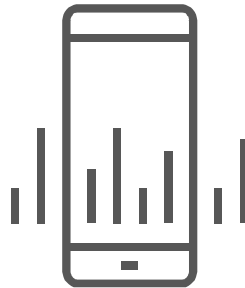
Skenario sensoriteknologian hyödyntämisestä kuntotestauksissa

VTT

Puettava anturointi testisuorituksen aikana



Mobiilikäyttöliittymä sovelluksineen



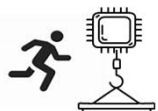
Tiedonhallinnan ja analyysien taustajärjestelmät



Raportointi ja päätöksenteontuki käyttöliittymä



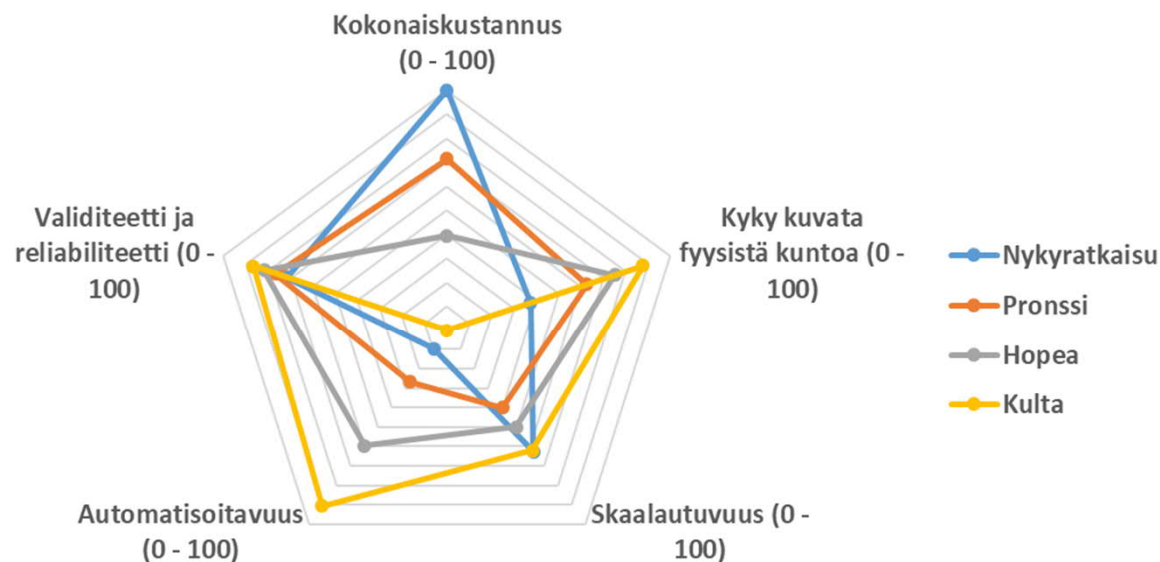
Uudet testipatterin ja mittausmenetelmän muodostamat ratkaisuvaihtoehdot

Vaihtoehto	Testit	Jaetut mittalaitteet	Henkilökohtaiset mittalaitteet	Tietoratkaisut
Nykytilanne 	Nykyinen testipatteri			
Pronssi 	12 min juoksu Uusi lihaskuntopatteri	Anturoidut laitteet maksimivoiman, nopeuden ja vertikaalihypyn mittaukseen		
Hopea 	12 min juoksu Uusi lihaskuntopatteri Kehonkoostumus	Anturoidut laitteet maksimivoiman, nopeuden ja vertikaalihypyn mittaukseen Kehonkoostumus-mittaus	Henkilökohtaiset puettavat ja langattomat sensorit syke- ja liikeanturointiin	
Kulta 	12 min juoksu Uusi lihaskuntopatteri Kehonkoostumus Tasapainotesti	Anturoidut laitteet maksimivoiman, nopeuden ja vertikaalihypyn mittaukseen Kehonkoostumusmittaus	Henkilökohtaiset puettavat sensorit syke- ja liikeanturointiin, paikannukseen ja tasapainotestiin	Kattava data-analyysi Langaton ja automatisoitu tiedonsiirto Automaattinen palaute

Ratkaisuvaihtoehtojen alustava arviointi

- arvioitimetriisi nykytilanteen ja ratkaisuvaihtoehtojen systemaattiseksi arvioimiseksi
 - Kustannukset sisältäen henkilöstö-, laite- ja tarvikekustannukset
 - Menetelmän/ menetelmäpatterin kyky kuvata fyysisen kunnon eri osa-alueita
 - Skaalautuvuus
 - Automatisoitavuus tarkoitukseen luodun kriteeristön avulla
 - Menetelmän validiteetti ja reliabiliteetti.

4.4.2023



Esimerkki 1 - Ratkaisuvaihtoehtojen automatisoitavuuden pisteytys

Ominaisuus	Nykytila	Pronssi	Hopea	Kulta
Testin sähköinen tiedonkeruu	0	0,6	2,5	3
Päätelaitteet	0	0	1	2
Henkilötunnistus	0	1	1	2
Tiedonkäsittely	0	1	2	3
Palaute	0	1	2	3
Raportointi	1	1	2	3
Tiedonhallinta	1	1	2	3
Ratkaisun automatisoitavuus (0 - 21)	2	5,6	12,5	19
Asteikolle 0 - 100 sovitettu arvo	10	27	60	90

Esimerkki 2 - Ratkaisuvaihtoehtojen skaalautuvuuden pisteytys

Ominaisuus	Nykytilanne	Pronssi	Hopea	Kulta
Tiettyyn testipaikkaan sitoutuminen*	50	20	33	57
Arvio samanaikaisten suoritusten määrästä**	75	40	50	57
Soveltuvuus ja turvallisuus kaikille henkilöstöryhmille***	63	60	67	71
Ratkaisun skaalautuvuus (0 - 300)	188	120	150	186
Ratkaisun skaalautuvuus (0 - 100)	63	40	50	62

*100 = mikään testeistä ei rajoitu suorituspaikkaan 50 = puolet testeistä rajoittuu (tai vastaava muu % osuus) 0 = suoritus vain tietyissä olosuhteissa

**100 = mikään testeistä ei aseta rajoituksia osallistujamäärälle, 50 = puolet testeistä rajoittaa (tai vastaava muu % osuus) 0= kaikki testit rajoittavia

***100 = kaikki testit turvallisia kaikille henkilöstöryhmille ja kuntotasoille 50 = puolet testeistä turvallisia kaikille 0 = kaikki testit soveltuvat vain tietyille henkilöstöryhmälle

Uusien kuntotestien ja sensoriratkaisujen käytännön testaus



- Kuntotestien ja sensoriratkaisujen validiteetti ja reliabiliteettitestaus laboratorio-olosuhteissa
 - 48 motivoitunutta ja keskimääräistä paremmassa kunnossa olevaa miespuolista koehenkilöä
- Kuntotestien kyky ennustaa suoriutumista sotilastehtävissä
- **Sensorimittausten data-analyysi**
- Sensoriratkaisujen kustannusvaikutus

Kuntotestausten puettavat anturit



FlexDot-liikeanturi



MoveSense
Sensor HR+ liike-
ja sykeanturi

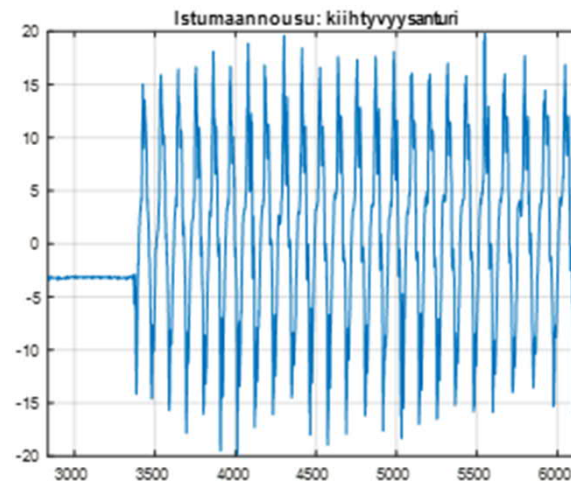
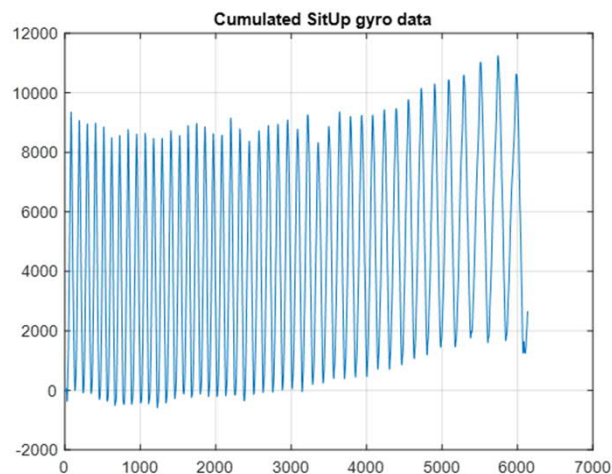


SmartWear-
sykeanturi

Esimerkki 1

Istumaannousun anturointi

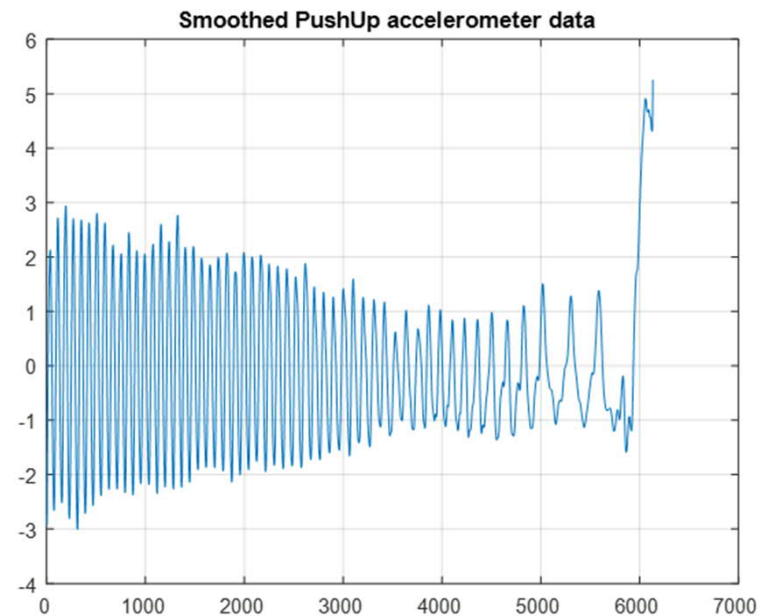
- istumaannousun suoritus on suoraviivaisesti mitattavissa antureilla
- tulokset voidaan laskea gyroskoopin datasta
- suorituksen alkuhetki merkittävissä dataan suorituksen aloituskäskyn avulla



Esimerkki 2

Etunojapunnerruksen anturointi

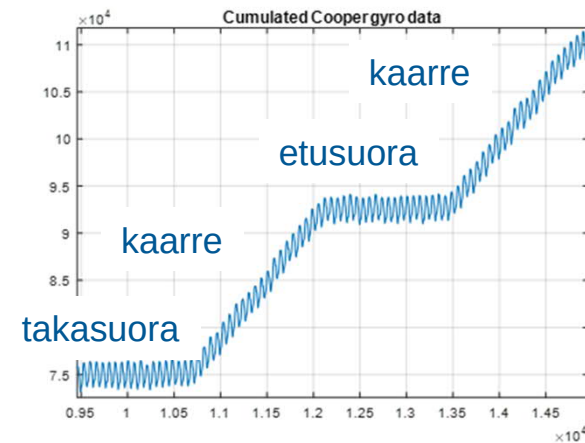
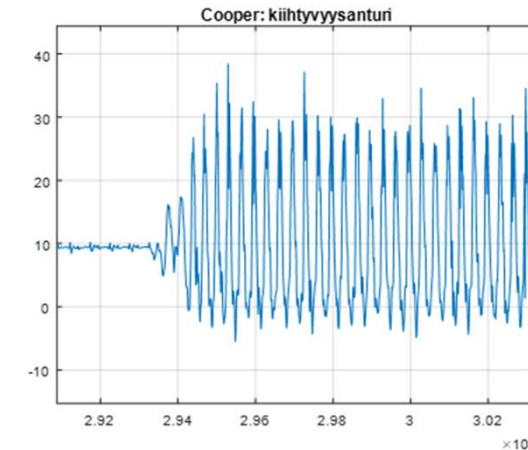
- etunojapunnerrustesti voidaan sujuvasti mitata antureilla
- suorituspurehtauden analysointi vaatii vielä algoritmin kehitystä
- suorituksen aloitusajankohdan määrittämisestä mahdollinen virhelähde, alkuhetki kuitenkin merkittävässä dataan suorituksen aloituskäskyn avulla



Esimerkki 3

12 minuutin juoksutestin (Cooper) anturointi

- Liikeanturit toimivat hyvin Cooper testin analysoinnissa
- Kiihtyvyysanturi
 - suorituksen alku
 - erilliset askeleet
- Gyroskooppi
 - juostujen kierrosten määrä
 - askelten lukumäärä
 - kierrosajat ja vauhdinjako



Yhteenveto sensoriteknologian soveltuvuudesta fyysisen toimintakyvyn testaamiseen



4.4.2023

- luotettava ja tarkka mittausdata
- kattava kuva fyysisestä suorituskyvystä
- testaus ja harjoittelu mahdollista etänä ja itsenäisesti, esim. ennen palvelusta ja koulutuksissa
- kustannussäästöt automatisoinnista ja samanaikaisista mittauksista, teknologian kustannustaso laskee
- vaatii investointeja uusien käytäntöjen määrittelyyn sekä tietoratkaisuun ja mittalaitteisiin
- tulosten tulkinta saattaa vaatia erityisosaamista
- prosessin/ järjestelmän ja mittalaitteiden häiriöt ja vikaantumiset

Yhteenveto

- Joustavalla elektroniikalla rajattomat sovellusmahdollisuudet terveys- ja hyvinvointisovelluksissa ja puettavassa teknologiassa joko ihotatuointeina tai älytekstiileinä
- Anturointi voi perustua liikkeen, fysiologisten parametrien tai kehon aineenvaihduntatuotteiden mittaukseen
- Puettavien sensorien avulla voidaan saada luotettavaa ja tarkkaa mittausdataa fyysisestä suorituskyvystä



Kiitokset

- VTT Mikko Heiskanen, Jouni Kaartinen, Mikko Lindholm, Jari Laarni, Markus Tuomikoski, Ari Alastalo, Johanna Närväinen, Tuija Teerinen
- KIHU Esa Hynynen, Ari Nummela, Tomi Vääntinen
- TTL Kristian Lukander, Satu Pakarinen, Tomi Passi