FOTONIIKASTA VALOA SUOMEN HYVINVOINTIIN

- SELVITYS ALAN VAIKUTTAVUUDESTA JA KASVUNÄKYMISTÄ -

– v5.1 –

18.11.2018

Tilaaja:

Eduskunnan kanslia, Valiokuntasihteeristö, Tulevaisuusvaliokunta

SISÄLLYSLUETTELO

SAATE **6**

1. JOHDANTO **7**

2. FOTONIIKAN SOVELLUKSET SUOMELLE TÄRKEISIIN TEEMOIHIN 15

2.1. BIOTALOUS 15

2.1.1 Metsästä portille *15*

Strategisen tason sovellukset – Valtakunnan metsien inventointi poliittisen päätöksenteon tueksi – fotoniikkaa satelliittiaineistoilla 15

Metsänomistajatason sovellukset – fotoniikkaa laserkeilauksella 16

Yritystaso – Puunhankinta, korjuu ja logistiikka 17

2.1.2 Metsäkoneet *19*

2.1.3 Metsä portilta tuotteeksi *23*

Fotoniikka puutuoteteollisuudessa ja puutuotteiden ominaisuuksien seurannassa. 24

Fotoniikka massa-, paperi- ja kartonkiprosesseissa 28

Menestystarina – Valmet Oyj 31

2.1.4 Kasvit (biofotoniikka) *33*

Tulevaisuus 37

Merkitys Suomen kilpailukyvylle 38

Merkitys Suomen yhteiskunnalle 39

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet 39

2.1.5 Ruoka *40*

Sovellukset tänään 40

Tulevaisuus 41

Merkitys Suomen kilpailukyvylle 44

Merkitys Suomen yhteiskunnalle 45

2.2. CLEANTECH JA YMPÄRISTÖ 45

Mistä on kyse? 45

Fotoniikka ja cleantech 45

Menestystarina – Vaisala Oyj 46

Tulevaisuus 48

Suomen kilpailukyky 52

2.3. DIGITALISAATIO 53

2.3.1 Tietoliikenne ja laskenta *53*

Sovellukset tänään 53

Tulevaisuus 57
Merkitys Suomen kilpailukyvylle 59
Merkitys Suomen yhteiskunnalle 60
Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet 60
2.3.2 Näytöt ja niiden mittaus t&k:ssa ja tuotannossa *61*
Sovellukset tänään 61
Tulevaisuus 65
Merkitys Suomen kilpailukyvylle 66
Merkitys Suomen yhteiskunnalle 66
Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet 66
2.4. HYVINVOINTI JA TERVEYS 67
Sovellukset tänään 67
Success story – Perkin Elmer/Wallac 72
Success story – Modulight Oy 73
Tulevaisuus 73
Merkitys Suomen kilpailukyvylle 77
Merkitys Suomen yhteiskunnalle 79
Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet 79
2.5. KIERTOTALOUS 80
Fotoniikka tuotannossa 81
Fotoniikka kierrätyksessä 82
Esimerkki ZenRobotics Oy 83
Merkitys Suomen yhteiskunnalle ja kilpailukyvylle 84
Tulevaisuus 85
2.6. TEKOÄLY 85
2.7. OPETUS 88
3. FOTONIIKAN SOVELLUKSET MUIHIN GLOBAALISTI TÄRKEISIIN TEEMOIHIN 92
3.1. KAMERATEKNOLOGIAT 92
3.2. TEOLLISUUS 4.0 98
3.3. LIIKENNE 103
Sovellukset tänään 103
Tulevaisuus 105
Merkitys Suomen kilpailukyvylle 106
Merkitys Suomen yhteiskunnalle 107

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet 108
3.4. MATKAILU 110
Fotoniikan mahdollisuudet 110
Suomen mahdollisuudet 113
3.5. KAIVOSTEOLLISUUS 113
Esimerkki SGU -projekti 114
Merkitys Suomen yhteiskunnalle 116
Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet 116
3.6. VIRTUAALITODELLISUUS JA LISÄTTY TODELLISUUS (VR/AR/MR) 117
Virtuaalitodellisuus 117
Lisätty todellisuus 118
Nykytilanne, lisätyn todellisuuden osaaminen ja kehitys Suomessa 119
Tulevaisuus, lisätyn todellisuuden osaaminen ja kehitys Suomessa 120
Esimerkkejä mahdollisista sovelluskohteita - lisätty todellisuus 122
3.7. ENERGIA 123
Globaali kokonaiskuva 123
Aurinkolämpö 126
Aurinkosähkö 127
Valaistus 130
3.8. TURVALLISUUS 133
Terahertsitekniikka (fotoniikkaa ja elektroniikkaa) - Sovellukset tänään 133
Tulevaisuus 136
Merkitys Suomen kilpailukyvylle ja yhteiskunnalle 136
Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet 137
3.9. PERUSTUTKIMUS 137
4. TOIMENPIDESUOSITUKSIA FOTONIIKKAAN LIITTYVÄN OSAAMISEN JA LIIKETOIMINNAN KEHITTÄMISEKSI SUOMESSA 141
5. LAINATUT LÄHTEET 147
FOTONIIKKA-SELVITYKSEN PHOTONICS FINLANDIN PUOLESTA TOTEUTTIVAT 151
PHOTONICS FINLANDIN HALLITUS 153
PHOTONICS FINLANDIN TIETEELLINEN NEUVOTTELUKUNTA 154

PHOTONICS FINLANDIN YRITYS- JA YHTEISÖJÄSENET.....155

TOIMITTAJAT 156

ASIAHAKEMISTO.....157

KUVAHAKEMISTO 160

SAATE

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta kirjoittaa.

1. JOHDANTO

Fotoniikka, fotonitiede eli valotiede, (https://fi.wikipedia.org/wiki/Fotoniikka) on tieteen ja teknologian ala, jossa käsitellään fotonien eli valon tuottamista, niiden kulun ohjailua ja havaitsemista sekä valoon perustuvaa tiedonkäsittelyä ja –siirtoa. Valoa tuotetaan muun muassa lasereilla, LED-lampuilla (*Light Emitting Diode*) ja erilaisilla näytöillä. Valon kulkua ohjaillaan erilaisilla optisilla komponenteilla, kuten linsseillä, prismoilla ja peileillä sekä valokuiduilla. Ja valoa havaitaan erilaisilla sensoreilla/antureilla/ilmaisimilla/valoilmaisimilla. Markkinasta riippuen valoa havaitsevasta optoelektronisesta komponentista käytetään eri termiä – myös tässä selvityksessä pitäydytään vakiintuneissa termeissä. Fotoniikka käsitteenä on vastaava kuin paremmin tunnettu elektroniikka, jossa hyödynnetään elektronien kuljettamaa sähköä. Suomen Akatemia käyttää fotoniikka-termiä optiikan ja optoelektroniikan yhteisnimenä.

Fotoniikka kattaa sähkömagneettisesta spektristä eli valon aallonpituusalueesta

- ultraviolettisäteilyn (esimerkiksi auringosta tulevan näkymätön rusketusta, mutta myös ihosyöpää, aiheuttavan säteilyn)
- silmälle näkyvän valon violetista sinisen, vihreän, keltaisen ja oranssin kautta punaiseen
- infrapunasäteilyn (=lämpösäteilyn).

Lähisukulaisena tähän selvitykseen on otettu mukaan myös terahertsitekniikka, joka käsittää mikroaalto- ja infrapunasäteilyn väliselle alueelle jäävän spektrin. Tämä, sekä fotoniikkaa että elektroniikkaa hyödyntävä, tekniikka on nopeasti saanut sovelluksia ennenmuuta tulevaisuuden turvallisuusteknologioissa.

Fotoniikka on tämän vuosisadan merkittävin teknologia, joka tekee useimmat tänä päivänä tuntemamme uudet sovellukset mahdollisiksi (englanniksi *enabling technology*). Esimerkkeinä mainittakoon Internetin perustana oleva optinen tietoliikenne (Agrell, Erik et al, 2016), CD & DVD -soitin (*compact disc & digital video disc)*, lasertulostin, viivakoodinlukija kaupassa ja varastossa, laserleikkaus ja monenlaiset hoidot lääketieteessä, lasertyöstö ja monenlaiset prosessoinnit teollisuudessa, hologrammi, optiset turva- ja aitousmerkinnät seteleissä ja

passeissa, optinen litografia mikropiirien valmistukseen, kamera, LED-valaistus näyttö [LED, OLED (*Organic Light Emitting Diode)*, nestekide, DLP (*Digital Light Processing)* ja sähköinen paperi (*e-paper)*], lääketieteellinen tähystys endoskoopilla sekä aurinkokenno. Mitä olisi tähtitiede ilman kaukoputkea tai mikrobiologia ilman mikroskooppia?

Uudet, entistä pienemmät ja hinnaltaan huokeammat, mutta paremmat sensorit ja optiset mittausmenetelmät avaavat ennennäkemättömiä mahdollisuuksia havainnoida ympäröivää maailmaa muun muassa lääketieteessä, farmakologiassa, biologiassa, kemiassa, teollisuudessa, metsätaloudessa ja maanviljelyssä, ruuanvalmistuksessa, itseohjautuvissa ajoneuvoissa ja jopa kuluttajasovelluksissa. Risto Linturi (Linturi, 2018) on nostanut raporteissaan esille käsitteen “materiaalitutka” yhtenä kaikkein merkittävämpänä tulevaisuutta muuttavana sovelluksena. Sensoreiden keräämä data luo perustan *Internet of Things*’ille (*IoT*’lle) eli esineiden (ja laitteiden) väliselle tiedonvälitykselle, Teollisuus 4.0 –konseptille eli tulevaisuuden tehtaalle ja valmistukselle, Big Datalle sekä tekoälylle. Fotoniikka näyttelee merkittävää rooli ei vain tiedon keräämisessä, vaan myös tiedonvälityksessä ja –tallennuksessa sekä tulevaisuudessa myös tietojenkäsittelyssä (optinen kvanttilaskenta ja niin edelleen).

Fotoniikalle ominaista on sen monitieteellisyys, kuten tämän selvityksen kirjoittajien taustoista voidaan päätellä. Mainion ja kattavan katsauksen fotoniikan historiaan, nykyhetkeen ja tulevaisuuteen antaa Kalevi Rantasen kirjoittama “Valo ja sen hyödyntäminen ennen ja nyt” -kirja (Rantanen, 2015), jossa hän toteaa: “On alkanut valon aikakausi, jona uudet, valoon perustuvat keksinnöt tulevat muuttamaan tekniikkaa, kulttuuria ja jokapäiväistä elämäämme.”

Fotoniikka on yksi kuudesta Euroopan Komission määrittelemästä *Key Enabling Technologies* (*KET*’s) eli kehitystä vauhdittavasta teknologiasta, joka vaikuttaa meidän jokapäiväiseen elämäämme miltei jokaisella sektorilla. USA:ssa on puolestaan vuodesta 2012 lähtien ollut käynnissä *National Photonics Iniative* (https://www.lightourfuture.org/home), jossa kokoamalla yhteen teollisuus,

tutkimus ja päättäjät ohjataan ja priorisoidaan rahoitusta ja investointeja viiteen fotoniikan alueeseen: kehittyneet valmistusmenetelmät, tietoliikenne & ICT (*Information and Communications Technology*), puolustus ja kansallinen turvallisuus, energia sekä terveys & lääketiede.

Fotoniikka sai merkittävän huomionosoituksen, kun YK julisti vuoden 2015 Kansainväliseksi valon ja valoon perustuvan teknologian vuodeksi (http://www.light2015.org). Vuodesta 2018 alkaen toukokuun 16. päivää vietetään Kansainvälisenä valon päivänä (https://www.lightday.org). Tällä halutaan vuosittain muistuttaa fotoniikan merkityksestä tieteessä, kulttuurissa, taiteessa, koulutuksessa ja kestävässä kehityksessä sekä fotoniikan monialaisuudesta aina lääketieteestä tietoliikenteeseen ja energiaan.

Virallista fotoniikan teollisuutta ja markkinaa ei ole olemassa, koska tuotteet ja palvelut sijoittuvat sovellustensa alle tuotanto- ja vientitilastoissa. Tutkimusten ja laskelmien tuloksena on kuitenkin päädytty, että globaali fotoniikan markkina oli miltei 500 miljardia € vuonna 2015 keskimääräisen vuotuisen kasvun ollessa 6%. Huomionarvoista on se, että yrityksistä yli 75% on pk-yrityksiä, joiden liikevaihto on alle 10 miljoonaa USD. Varsinaista fotoniikan markkinaa merkittävämpi on niin sanottu *photonics-enabled* markkina eli sellaisten tuotteiden markkina, jotka perustuvat fotoniikkaan eivätkä olisi mahdollisia ilman fotoniikkaa: USA:n *the National Academy of Science* on arvioinut sen suuruudeksi yli 7 000 miljardia USD eli jokainen USD fotoniikan teollisuudessa generoi yli 10 USD lopputuotteiden arvossa.

Euroopassa fotoniikan teollisuus ja tutkimus on järjestäytynyt *Photonics21*-organisaation alle (https://www.photonics21.org), jolla on yli 2 500 jäsentä. Se on virallinen neuvottelu- ja sopimuspartneri, kun Euroopan fotoniikan teollisuus ja tutkimus on sopinut Euroopan kommission kanssa tutkimusrahoituksesta Horizon2020-ohjelmassa [niin sanottu *Public Private Partnership (PPP*)]. Suomesta Photonics21:n ylimmässä päättävässä elimessä *Board of Stakeholders*issa on edustettuna neljä tahoa: UEF (edustajana professori Jyrki Saarinen), Tampereen teknillinen yliopisto (professori Mircea Guina), VTT Oy

(Harri Kopola) ja Photonics Finland. (toiminnanjohtaja Juha Purmonen). Euroopan tutkimusmaailma on puolestaan järjestäytynyt kansallisten optiikan seurojen alle, joiden kattojärjestönä toimii *European Optical Society* (EOS). EOS:n päämaja on ollut Suomessa Joensuussa vuodesta 2013 alkaen.

Euroopan fotoniikan markkina on noin 70 miljardia € ja sen teollisuus työllistää yli 300 000 ihmistä. Viimeisen 10 vuoden aikana (vuosina 2005-2015) fotoniikan teollisuus on kasvanut kaksi kertaa nopeammin kuin bruttokansantuote. Fotoniikan teollisuuden tavoitteena on kolminkertaistaa fotoniikan tuotteiden tuotanto yli 200 miljardiin € vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteena on myös luoda yli miljoona uutta työpaikkaa eurooppalaisiin tehtaisiin tekemällä tuotannosta innovatiivisemman, kustannustehokkaamman ja tehostetumman lasereiden, sensoreiden ja 3D-näyttöjen avulla. Vuoteen 2020 mennessä joka kymmenes työpaikka Euroopassa on arvioitu olevan riippuvainen fotoniikasta. Kuten globaalisti, Eurooppaa hallitsevat myös pk-yritykset: yli 5 000 optiikan valmistajasta vain alle 200 yritystä työllistää yli 250 henkilöä. Fotoniikan yritykset käyttävät keskimäärin 10% liikevaihdostaan t&k:hon.

Suomessa fotoniikan teollisuus ja tutkimus ovat järjestäytyneet Photonics Finland –organisaation (https://www.photonics.fi) alle vuodesta 2014 alkaen, kun alan teollisuus ilmoittautui mukaan vuonna 1996 perustettuun Suomen optiikan seuraan. Suomen fotoniikan yritysten liikevaihto on miltei 1 miljardi € työllistäen noin 4 000 työntekijää. Yrityksiä on yli 200, joista yli puolet on pieniä, alle 10M € ja alle 15 henkilöä työllistäviä. Yritysten lukumäärä on kuitenkin suurin asukaslukuun verrattuna koko Euroopassa. Puolet yrityksistä harjoittaa miltei 100%:sesti vientiin suunnattua tuotantoa, mikä on äärimmäisen tärkeää Suomen talouskasvun ja hyvinvoinnin kannalta: on hyvin tunnettua, että valmistavan teollisuuden viennillä on vahva vaikutus maan talouskasvulle, mitä puolestaan perushyödykkeiden viennillä ei ole (Raut, et al, 1997). Fotoniikan yritysten odotukset kasvusta ovat merkittävät: yli 20% vuosittainen markkinoiden kasvu, miltei 30%:n liikevaihdon kasvu ja miltei 20%:n kasvu työntekijöiden määrässä. Photonics Finlandin tavoitteena on synnyttää yli 2 500 uutta työpaikkaa fotoniikassa vuoteen 2020 mennessä.

Tästä selvityksestä käy hyvin ilmi fotoniikan merkitys muun muassa Suomen metsä- ja paperiteollisuudelle ja muille suuryrityksille. Tämän lisäksi fotoniikka on myös merkittävä veturi suomalaisessa start-up-toiminnassa, mikä alkoi jo 1990-luvulla paljon ennen varsinaisen start-up boomin syntyä Suomessa. Fotoniikasta ei ole vain lähtenyt liikkeelle, vaan myös kasvanut menestyksekkäästi kansainvälisiä exitiin saakka selviytyneitä pk-yrityksiä ja jopa suuryrityksiä. Tällaisia menestystarinoita ovat muun muassa Teknillistä korkeakoulusta (nykyinen Aalto-yliopisto) vuonna 1993 alkunsa saanut Heptagon Oy, josta kasvoi maailman johtava optoelektroniikan sensoreita ja optiikkaa valmistava yritys, joka Suomesta laajeni 2000-luvulla Sveitsiin, Piilaaksoon USA:han, Singaporeen ja Kiinaan. Sen valuaatio vuoden 2017 alussa tapahtuneessa exitissä oli 920M USD. Itävaltalaisen ams AG:n tytäryhtiönä nykyään toimiva Heptagon työllisti jo yli 7 500 työntekijää maailmanlaajuisesti vuoden 2018 alussa. Tampereen teknillisen yliopiston spin-off yritys vuodelta 1990, TUT-Core Oy, kaupallisti laserdiodi-teknologiaa ja päätyi menestyksekkään kaupallistamisen jälkeen amerikkalaisen Coherentin omistukseen. Sarjayrittäjinä TUT-Coren avainhenkilöt perustivat edelleen vuonna 2003 kuitulasereita valmistavan Corelase Oy:n, joka puolestaan päätyi Rofin-Sinarin omistukseen jatkaen edelleen toimintaansa Tampereella (Rofin-Sinar on nykyään osa Coherent-konsernia). UEF:n spin-off yritys vuodelta 1997, Nanocomp Oy, joka oli vuonna 2015 Tekniikka&Talous-lehden, Kauppalehden ja Pohjois-Karjalan Kauppakamarin palkitsema kasvuyritys, jatkaa edelleen miltei kokonaan vientiin menevien litteiden mikro-optiikan tuotteiden tuotantoa Joensuun seudulla. Tässä selvityksessä on erikseen kerrottu myös yrityksistä nimeltä Wallac Oy/Perkin Elmer Oy, Modulight Oy, Vaisala Oyj, Valmet Oyj ja ZenRobotics Oy. Tuoreimpia startup-up-menestystarinoita ovat tässä selvityksessäkin useasti mainittu Spectral Engines Oy, joka vastikään tänä vuonna sai päätökseen exitin saksalaiselle m-u-t AG:lle, ja Primoceler Oy, joka vastikään tänä vuonna toteutti exitin maailmankuululle Schott AG:lle. Amerikkalainen Bloomberg Businessweek valitsi vuonna 2017 VTT:n spin-off yrityksen vuodelta 2015, Dispelix Oy:n, 50 lupaavimman start-up yrityksen joukkoon maailmassa 50 000 start-up yrityksen joukosta.

Fotoniikka on nousemassa elektroniikan rinnalle Euroopan talousveturiksi:
Alexander Stubb, Vice-President, European Investment Bank:
“It is no exaggeration to say that photonics, which uses the science of light to create key technologies, and the semiconductors that function as the "brains" of electronic devices are vital to the economic future of Europe. These high-technology fields are key "enablers" for consumer goods, the automotive and defence sectors, and renewable energy, among other industries.” “The success of Europe in this next wave of innovation will ultimately depend on photonics and semiconductor components.” “Nevertheless, photonics and semiconductor sectors are characterized by high complexity. Photonics and semiconductor companies have difficulty financing through the "Valley of Death" from demonstration-scale to commercialisation. There is a clear need for an EU intervention to improve funding available for European photonics and semiconductor companies.”

Ja Suomella on erinomainen mahdollisuus pärjätä tässä globaalissa kilpailussa:

Antti Vasara, VTT:n pääjohtaja:
”Ei ole liioiteltua sanoa, että biotekniikassa ja -taloudessa olemme jo maailman huipulla. Fotoniikka on toinen erittäin tärkeä ala, jossa Suomi on edelläkävijä.” (Helsingin Sanomat, 2016)

Timo Ahopelto, Lifeline Ventures –sijoitusyhtiön perustaja ja osakas; EVAn, SLUSHin, Tekesin ja Tiedon hallituksen jäsen:
Kysymys: “Olet Supercellin ensimmäisiä sijoittajia. Mistä löytyy Suomen seuraava Supercell?”
Vastaus: “Luulen, että se löytyy lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden puolelta. Suomessa on esimerkiksi optiikan puolella kovaa osaamista. Kyllä niitä voi tulla.” (Talouselämä, 5/2018).

Fotoniikan teollisuus ja tutkimus Suomessa ovat positiivisella odottavalla kannalla päättäjien huomattua alan merkityksen tulevaisuuden yhteiskunnalle ja hyvinvoinnille:
”Hyvä esimerkki suomalaisesta cleantech-osaamisesta on fotoniikka, jolla on sovellutusalueita muun muassa aurinkokennoissa, energiaa säästävissä led-valoissa, valaisevissa pinnoissa, infrapunasensoreissa sekä materiaalitutkissa, joiden avulla voimme läpivalaista itsemme tarkistaaksemme bakteerimme ja nähdä kaupassa ovatko hedelmät kypsiä. Fotoniikkaa hyödynnetään myös itseohjautuvissa ajoneuvoissa, lentävissä kameroissa, satelliiteissa ja laajemminkin avaruusteknologiassa, diagnostiikassa sekä modernissa sisäviljelyssä.” (Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta, 2016-2017)

Huolimatta laajasta kirjoittajakunnasta tämän selvityksen ulkopuolelle jää edelleenkin fotoniikan sovelluksia, yritystoimintaa ja tutkimusta Suomessa eli kaiken kattavaa teosta emme ole yrittäneetkään kirjoittaa – fotoniikka on niin monessa mukana. Yksi merkittävämmistä alueista, joita emme tietoisesti yrittäneet mahduttaa tähän, on mittava ja vahva sovelletun fotoniikan tutkimus suomalaisissa yrityksissä, tutkimuslaitoksissa, yliopistoissa ja ammatillisissa korkeakouluissa - osittain sen takia, että aihepiirit ja tutkimustulokset saattavat useinkin olla luottamuksellisia ennenkuin ne näkevät päivänvalon julkaisuina, patentteina tai uusina tuotteina tai palveluina. Mutta maailmalta tässä mainittakoon jo kahtena vuonna peräkkäin myönnetty Fysiikan Nobel. Vuonna 2017 yhdysvaltalaisen pk-yrityksen kehittämä laser mahdollisti gravitaatioaaltojen kokeellisen havaitsemisen, josta Rainer Weiss, Barry B. Barish ja Kips. S. Thorne saivat palkintonsa. Tänä vuonna 2018 puolestaan Arthur Ashkin sai palkintonsa optisesta pinsetistä ja sen sovelluksista biologiassa sekä Gérard Mourou ja Donna Strickland lyhyen voimakkaiden laserpulssien kehittämisestä, jolla on merkittäviä sovelluksia silmäkirurgiassa, teollisuudessa ja fysiikan tutkimuksessa.

Tämä selvitys on laadittu siten, että kukin kappale on oma kokonaisuutensa. Eli tietystä sovellusalueesta kiinnostunut henkilö voi suoraan hypätä lukemaan haluamansa kappaleen. Tämän takia kappaleiden teksteissä on hieman

päällekäistä tietoa, joka toivottavasti ei haitaa lukijoita, jotka haluavat lukea tämä selvityksen kannesta kanteen. Yksityiskohtaisella sisällysluettelolla ja erillisellä asiahakemistolla on haluttu auttaa lukijoita löytämään helposti haluamansa asiat.

2. FOTONIIKAN SOVELLUKSET SUOMELLE TÄRKEISIIN TEEMOIHIN

2.1. Biotalous

2.1.1 Metsästä portille

Strategisen tason sovellukset – Valtakunnan metsien inventointi poliittisen päätöksenteon tueksi – fotoniikkaa satelliittiaineistoilla

Kansallisen tason tietojärjestelmä tuottaa tietoa poliittiselle päätöksenteolle ja strategisille investoinneille. Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) osana toteutettavan monilähdeinventoinnin avulla kontrolloidaan metsien tilaa suuraluetasolla ja seurataan metsäpolitiikan vaikutuksia. Monilähdeinventoinnissa käytetään maastotietojen lisäksi satelliittikuvia ja muita numeerisia tietolähteitä, esimerkiksi numeerisia peruskarttoja ja korkeusmalleja. Niiden avulla koealoilta mitatut tiedot voidaan yleistää suhteellisen harvan koealaverkon väliin jääville alueille. Satelliittikuvien käytön keskeisiä etuja ovat tulosten saaminen maastoinventointia pienemmille alueille, esimerkiksi kunnittain, ja tulosten saaminen paikkaan sidottuna. Inventoinnin tulokset voidaan siten esittää sekä tilastoina että teemakarttoina. Nykyisin teemakarttoja tuotetaan runsaasta 40 tunnuksesta, jotka kuvaavat muun muassa metsien puuston määrää ja rakennetta.

VMI:ssä on käytetty pääasiassa Landsat–satelliittikuvia. Numeerista karttatietoa käytetään muun muassa metsätalousmaan ja muun maan erottamisessa, laskentayksiköiden rajaamisessa ja tulosten luotettavuuden parantamisessa. Numeerisen korkeusmallin avulla voidaan välttää maanpinnan muotojen aiheuttamia virhetulkintoja. Lähtöaineistojen ja tuloskuvien kuvanalkioiden koko maastossa on 16 m x 16 m.

Aineistoa voidaan käyttää ilmastoneuvottelujen lähtökohtana ja hiilivarastojen määrän seurannassa. Suomalaisilla on merkittävää yhteistyötä FAO:n (*Food and Agriculture Organization of the United Nations)* kanssa ja Suomessa kehitettyjä

menetelmiä on viety useisiin maihin osana kehitysyhteistyötä tai kaupallista toimintaa. Osoitteessa www.paikkatietoikkuna.fi on karttapalvelu, jossa pääsee tutkimaan Luonnonvarakeskuksen (Luke) metsävarakarttojen sisältöä. Valitse valikosta Karttatasot > Tiedontuottajittain > Luonnonvarakeskus.

Karttasivuja pääsee lataamaan GeoTIFF-tiedostoina Luken omasta tiedostopalvelusta osoitteessa kartta.luke.fi. Tiedostojen katselu ja käsittely vaativat erityisen ohjelmiston.

Metsänomistajatason sovellukset – fotoniikkaa laserkeilauksella

Suomen metsäkeskus (SMK) tarjoaa avoimen metsätiedon palveluita kartta- ja rajapintapalvelujen kautta. SMK organisoi metsänomistajakohtaisen metsävaratiedon keruun kaukokartoituksen avulla. Keruujärjestelmä perustuu laserkeilaukseen, ilmakuvaukseen, koealamittauksiin ja kohdennettuun maastoinventointiin. Aiemmin vastaavat tiedot kerättiin maastoarvioinnilla.

Laserkeilauksella saadaan tehokkaasti tarkkaa kolmiulotteista tietoa puuston rakenteesta ja maaston muodoista. Lisäksi hyödynnetään ilmakuvia tarkentamaan puulajien tunnistamista. Puustotulkintaa varten laserkeilaus tehdään lentokoneesta noin kahden kilometrin korkeudesta ja ilmakuvaus vastaavasti 6-7 kilometristä. Kaukokartoituksella inventoitavat alueet ovat metsäpinta-alaltaan noin 200 000 hehtaarin kokoisia ja vuosittain SMK inventoi noin 1,5 miljoonaa hehtaaria yksityismetsiä. Kaukokartoitusperusteinen metsävaratiedon keruu kestää noin vuoden ja tietojen täsmennys maastossa esimerkiksi taimikoiden osalta on jatkuva prosessi.

Kaukokartoitustietojen avulla puustotiedot ennustetaan jokaiselle alueen metsätalousmaan hilaruudulle. Hilaruudut ovat 16 m x 16 m kokoisia alueita, joista inventointialue koostuu. Kartta- ja kaukokartoitusaineiston perusteella tehdään myös lopullinen metsikkökuviointi. Kuvioiden puustotiedot lasketaan hilaruutujen summa- tai keskiarvotietoina. Lisäksi kuvioille liitetään kasvupaikkatiedot muista tietolähteistä. Tämän jälkeen lasketaan vielä

suositusten mukaiset metsänhoito- ja hakkuuehdotukset. Osalle kuvioista ei saada riittävän luotettavaa tietoa kaukokartoituksella tai muun olemassa olevan tiedon perusteella. Nämä kohteet ovat pääasiassa taimikoita, joille tehdään maastoinventointi kuvioittaisena arviointina.

SMK:n keräämää avointa metsätietoa on mahdollista katsella karttapalveluissa ilman erillistä paikkatieto-ohjelmaa verkkoselaimella. Karttapalveluiden avulla pääsee tarkastelemaan lisäksi metsälain erityisen tärkeitä elinympäristöjä, puustotulkinnan hila-aineistoa, metsänkäyttöilmoituksia ja Kemera-tuettuja metsänhoito- ja metsänparannustöitä.

Puustotietojen keruuseen maastossa on kehitetty myös älypuhelimen kameraa hyödyntäviä sovelluksia, joita voidaan hyödyntää kaukokartoitusperusteisen puustotulkinnan laadunvalvonnassa. Metsäpalveluyrittäjät hyödyntävät älypuhelinsovelluksia myös kuviotietojen keräämiseen ja tarkastamiseen maastossa. Älypuhelinsovelluksia hyödynnetään myös leimikoiden ennakkomittauksissa. Puu- ja puustotietojen keräämiseen maastokoealoilta on kehitetty myös maastolaserkeilausta hyödyntäviä menetelmiä. VMI:n koealamittauksissa maastolaserkeilausta on testattu pienillä koealamäärillä.

Yrityspuolella edelläkävijä on Arbonaut Oy, joka on vastikään tuonut markkinoille ArboTimber hakukoneen https://www.arbotimber.com/arbotimber/, jolla voi hakea suomalaisista metsistä alueita maaperä- ja ilmasto-olojen sekä puuston mukaan. Arbonaut Oy:n tuotteita ja palveluja on käytössä kaikissa maapallon maanosissa.

Yritystaso – Puunhankinta, korjuu ja logistiikka

Metsäteollisuusyrityksissä tehdään hankittavan puumäärän ja kuljetusten optimointi koko hankinta-alueittain. Näin pystytään kuukausittaiset auto- ja rautatiekuljetukset määrittämään kunnittain ja tehtaittain. Keskisuurissa yrityksissä keskusjohto laatii vaihtoehtolaskennan avulla hankinta-alueille tai –piireille tavoitteet, joilla pyritään kokonaiskustannusten minimointiin. Tähän on

perinteisesti käytetty avoimia monilähdepohjaisia tai satelliittikuvapohjaisia-aineistoja ja nykyisin myös SMK:n avoimesti saatavilla olevaa kuviotietoa. Puunhankinnan suunnittelussa ostetut metsiköt (leimikot) on ketjutettava eli priorisoitava korjuujärjestykseen, jotta tehtaiden toiveet tuotantotavoitteisiin sopivasta raaka-aineesta täyttyisivät.

Metsä Group Oyj on tuonut lennokkipohjaiset (*drone*) palvelut osaksi puunhankinnan ostotoimintaa ja testaa uudenlaista metsänmittausmenetelmiä. Kaikissa yrityksissä mittaussovelluksissa hyödynnetään droneja eli kauko-ohjattavia nelikoptereita ja kiinteäsiipisiä lennokeita. Dronien hyödyntämisen tavoitteena on kehittää uusia menetelmiä muun muassa metsäsuunnitelmien tekoon joustavasti tilakohtaisesti, mikä ei ole nykyisellä laserkeilaukseen perustuvalla tiedon keruumenetelmällä mahdollista. MosaicMill-yhtiön kanssa Metsä Group Oyj kehittää menetelmää, jossa dronella kerätään ilmakuva-aineisto yksittäiseltä metsätilalta ja puustotunnukset tuotetaan digitaalisen kuvatulkinnan avulla. Tulevaisuudessa mitattu data lähtisi pilvipalvelussa sijaitsevaan laskentaohjelmaan, joka tuottaisi valmiin metsäsuunnitelman. Yhdellä dronelennolla voidaan kerätä aineisto noin 50-100 hehtaarin metsätilalta. Nelikoptereiden akut kehittyvät kuitenkin jatkuvasti, joten tulevaisuudessa lentoajat ovat nykyistä pidempiä.

Metsä Group Oyj testaa myös Tieto Oyj:n kanssa menetelmää, jolla voidaan havaita kuusen kaarnakuoriaistuhot aiemmin kuin visuaalisesti maastossa. Menetelmässä droneen sijoitettu laitteisto havaitsee puut, joiden nestekierto on häiriintynyt. Tulevaisuudessa tavoitteena on hakata vaurioituneet puut ennen kuin tukkiosa menee pilalle ja muuttuu vähempiarvoiseksi kuitupuuksi.

Fotoniikka hyödyntävien menetelmien avulla on mullistettu koko prosessi, jolla metsäsuunnitelmia tehdään. Dronet ja älypuhelinsovellukset tuovat lisämahdollisuuksia joustavaan tiedonkeruuseen metsäsuunnittelua varten. Metsävaratiedon ja metsäsuunnitelmien laatimisen kustannukset laskevat tulevaisuudessa ja metsätilan tiedot ovat aiempaa tarkempia. Jatkossa

mahdolliseksi tulevat myös 3D- eli virtuaalimetsäsuunnitelmat, joita pilotoidaan jo useissa metsäpalveluyrityksissä jollain tasolla.

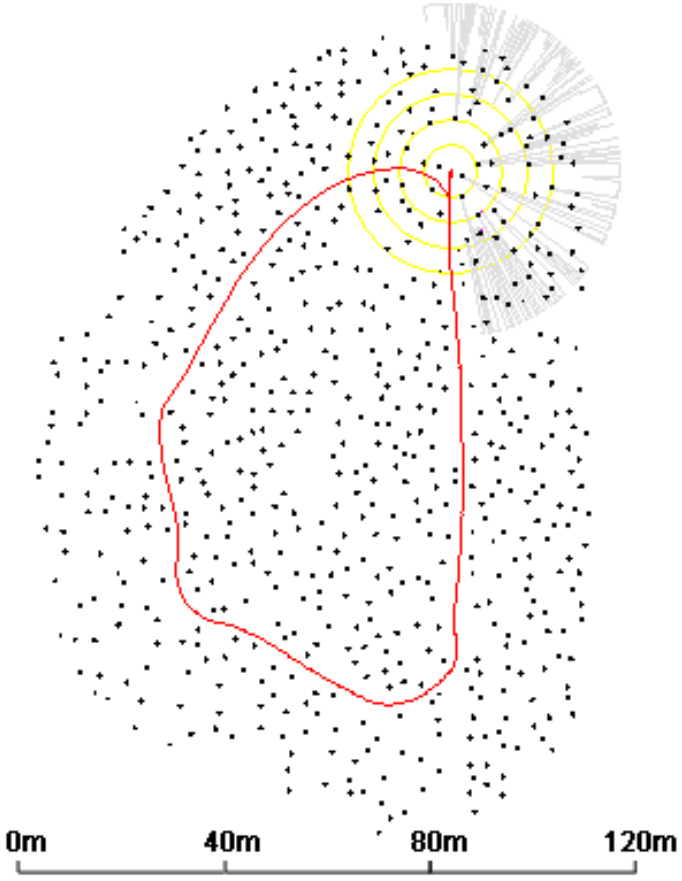
Puunkorjuussa käytettävissä metsäkoneissa on myös runsaasti fotoniikan sovelluksia. Puun koon mittauksessa on lähinnä puu kokoon liittyviä sensoreita. Puun katkonnan reaaliaikaista ohjausta ja arvokatkontaa on kehitetty melko pitkälle. Siinä erilaiset fotoniikan ratkaisut ovat avainasemassa. Harvennushakkuissa jäävän puuston mittaamiseen on kehitetty kamera- ja laserkeilaukseen perustuvia menetelmiä. Vastaaviin tekniikkoihin perustuvia menetelmiä on kehitetty myös korjuuvaurioiden seurantaan hakkuun yhteydessä. Hakkuukoneen kuljettajaa avustavia järjestelmiä on kehitteillä, mutta ne eivät ole vielä pilotointivaiheessa.

Kuljetusautoissa on tyypillisesti autojen toimintaa ja toimintaympäristöä tukevia fotoniikan sovelluksia. Kapeilla metsäteillä kääntöpaikkojen ja teiden laadun arviointiin liittyvät tietolähteet karttajärjestelmissä tuovat lisää toimintavarmuutta. Tyypillisesti kääntöpaikat arvioidaan ilmakuvista tai laserkeilausaineistosta. Laserkeilainaineistoista on selvitetty myös metsätien kuntoa. Kamerapohjaisia järjestelmiä on kehitteillä joukkoistettuun tiedonkeruuseen metsäteiden kunnosta.

2.1.2 Metsäkoneet

Aalto-yliopiston professori Arto Visalan Autonomisten järjestelmien tutkimusryhmässä on tutkittu metsäkoneiden automaatiota vuodesta 2005 yhteystyössä Luken ja Tampereen teknillisen yliopiston professori Risto Ritalan tutkimusryhmien kanssa. Käytännön metsätalouden näkökulmaa ovat hankkeisiin tuoneet Metsäteho Oy, metsäteollisuusyritykset UPM-Kymmene, Stora Enso Oyj ja Metsä Group Oyj(Metsäliitto) sekä metsäkoneyritykset John Deere Forestry Oy, Ponsse Oyj, Komatsu-Forest Oy, Logset Oy sekä Kesla Oyj ja Junkkari Oy sekä ohjainvalmistaja Parker Hannifin Oy ja muut yhteisöt, kuten MTK.

Hakkuukoneen osalta **Forestix** (2005-2008) -hankkeessa (Metsäkoneen aistinjärjestelmä ja puoliautomaattinen ohjaus) Aalto-yliopiston tutkijat tutkivat ja kehittivät Metlan tutkijoiden metsätieteellistä osaamista ja koetoimintaa hyödyntäen metsäkoneen aistinjärjestelmää ja –menetelmiä, jolla pystytään mittaamaan hakkuukoneen puomin ja hakkuupään liikkeiden automatisoinnissa tarvittavat ulkoiset perustiedot. Keskeinen kehityskohde on ollut niin sanottuun LiDARiin eli ”laserskanneriin” (Laser Range Finder) perustuva mittalaite, jolla voidaan muodostaa puukarttaa koneen ympärillä olevista puista: puiden paikat, läpimitta rinnankorkeudelta sekä puulaji. Samalla metsäkone voidaan paikantaa erittäin tarkasti puihin nähden (Kuva 1).



Kuva 1: LiDARilla niin sanotulla SLAM-algoritmilla mitattu puukartta, pisteet puita punainen trajektori kuljettu matka. (Lähde: Arto Visala, Aalto yliopisto)

Ponssen ja Argonen puukarttalaitteen tuoteprototyyppiä testattiin (2010-2013) Metsätehon kanssa yhteistyössä 53 koealalla hyvin tuloksin.

Puukartta on hakkuun laatudokumentti, josta voidaan laskea harvennustiheys sekä ajouraleveydet. Hakatulta puolelta mitatun puukartan avulla voidaan päivittää metsätietojärjestelmän metsäkuvion tiedot automaattisesti jo hakkuun yhteydessä.

Autonomisten autojen kehitystyön ja valmistuksen yhteydessä metsäkoneisiinkin soveltuvien LiDARien- hinnat ovat jo laskeneet ja laskevat edelleen. On todennäköistä, että hakkuukoneet koneet tullaan varustamaan tällaisilla LiDAR-puukarttalaitteilla jo lähivuosina. Tuotekehitys on käynnissä.

Metrix (2006-2009) -hankkeessa (Hakkuukoneen mittaustekniikan kehittäminen) tutkittiin hakkuupään puuta koskettamattomia konenäköpohjaisia perusmittauksia. Lisäksi vielä pystyssä olevan, seuraavaksi kaadettavan puun, 3D muodon mittausta tutkittiin apteerauksen eli rungon katkonnan, etenkin tyvitukin, automatisointia ja optimointia varten. Todettiin että 3D-muodon mittaus voidaan tehdä puukarttaa laativalla LiDAR-mittalaitteella. **MetrixPro**-hankkeessa (2011-2012) kehitettiin hakkuupään konenäkömittauksia pidemmälle, lähemmäksi tuotteistamista. Ponssen hakkuukoneen hakkuupäähän toteutettiin ja asennettiin niin sanottu pöllinpäästereokameravarustus. Komatsu-Forestryn hakkuupäähän mittapyörän paikalle suunniteltiin ja asennettiin nopeaan kameraan ja laserjuova-kolmioetäisyysmittaukseen perustuva pituudenmittauslaitteisto, optinen mittapyörä. Laskenta onnistui reaaliajassa, mutta tarkkuustavoitteeseen ei vielä päästy. Kehitystyötä on jatkettu ja mittaustarkkuus on parantunut. Metsäteho Oy on koordinoinut tuotteistamishankkeiden käynnistämistä.

Hakattavan puuston laatuun pitää päästä konenäkö ja LIDAR-mittauksin jo metsässä. Rungon 3D-muoto on jo myös laatusuure. Metrix-hankkeessa osoitettiin, että pöllinpäiden kuvista voidaan määrittää vuosilustot (Österberg, 2009). Työtä on jatkettu kahdessa Luken vetämässä projektissa. Aalto-yliopistossa tutkimme meneillään olevassa projektissa, miten oksa-analyysiä voidaan tehdä pöllin sivukuvista.

Reaaliaikaisen konenäön vaatima laskenta voidaan tehdä reaaliajassa hyödyntäen edullista grafiikkakorttien (GPU) laskentakapasiteettia. On todennäköistä, että konenäköön perustuvat laatumittaukset tulevat hakkuukoneisiin 5-10 vuoden aikajänteellä. Tekniset edellytykset on olemassa.

Tukki	Kone	Käsin mitattu	Menetelmä A	Virhe A	Menetelmä B	Virhe B	Menetelmä C	Virhe C
2a	297	297,1	297,2	0,1	297,1	0,0	297,0	-0,1
2b	313	316,2	316,6	0,4	316,2	0,0	317,5	1,3
2c	310	309,4	309,6	0,2	309,5	0,1	310,6	1,2
2d	316	317,0	316,4	-0,6	315,8	-1,2	318,9	1,9
3b	303	302,5	303,0	-0,5	303,0	0,5	302,1	-0,4
4b	294	295,4	296,8	1,4	295,5	0,1	296,0	0,6
4d	336	336,5	337,0	0,5	336,4	-0,1	337,3	0,8
k-a	309,9	310,6	310,9	0,53	310,5	0,29	311,3	0,90

Kuva 2: Konenäköön perustuva pöllin pituuden mittaus (Metrix) on erittäin tarkka ideaalisissa olosuhteissa (Lähde: Arto Visala).

NeoSilvix-hankkeessa (2009-2012) tutkittiin koneellisen taimikonhoidon robotisointia, puomin automaattista ohjausta, konenäköä taimien havainnoimiseen ja paikantamiseen sekä koneen vuorovaikutteista käyttöliittymää. Projektin loppudemossa esiteltiin toimivaa automaattista varhaisperkausjärjestelmää. NeoSilvix-algoritmit on esitetty Jouko Kalmarin väitöskirjassa (Kalmari, 2015).



Kuva 3: Automaattisessa varhaisperkauksessa taimet havainnoidaan ja paikannetaan konenäöllä, visual servoing puomin ohjauksessa. (Aalto yliopisto)

On todennäköistä, että varsinkin taimikonhoito pystytään osaksi robotisoimaan lähivuosina. Taimien ja maaston havainnoinnissa tarvitaan konenäköä ja LiDAReita.

2.1.3 Metsä portilta tuotteeksi

Puu on Suomen merkittävin uusiutuva luonnonvara, jota jalostetaan teollisessa mittakaavassa. Maamme metsäteollisuus käyttää puuta sellun, paperin, kartongin, sahatavaran, vanerin, pylväiden, liimapuun, kertopuun ja monien muiden tuotteiden raaka-aineena. Raaka-aineen osuus perusteollisuuden tuotteiden tuotantokustannuksista voi nousta jopa 75%:iin, joten raaka-ainevirran määrän ja laadun hallinta on keskeinen liiketoiminnan kannattavuuteen vaikuttava tekijä. Kattavan tuoteluettelon tekeminen eri prosesseissa käytettävistä fotoniikan sovelluksista on kuitenkin vaikeata, ellei mahdotonta, sillä niitä on valtavat määrät.

Erilaiset fotoniikan sovellukset materiaalivirtojen ja prosessiparametrien hallinnassa, mittausteknologioissa, laadunhallinnassa ja työtehtävien

automaatiossa ovat merkittävässä asemassa nykyisten tuotantovolyymien ja laatutason saavuttamisessa. Kuvantavat ja optiset mittalaitteet sekä laadunvalvonnan menetelmät ovat keskeisiä niin saha- ja puutuoteteollisuudelle kuin sellu-, paperi- ja kartonkitehtaille. Ne tarjoavat edullisia ja varmatoimisia ratkaisuja mekaanisen ja kemiallisen metsäteollisuuden prosessien monitorointiin ja valvontaan. Yksinkertaisia optisia laitteita ovat esimerkiksi optiset portit, laseretäisyysmittarit ja erilaiset kameratekniikat ja konenäkö, jotka tuottavat numeerisia suureita tai kuvainformaatiota. Lasermittauksia ja valoverhoja ynnä muita käytetään myös tuotantolinjoilla automaation ohjaamisessa.

Fotoniikka puutuoteteollisuudessa ja puutuotteiden ominaisuuksien seurannassa

Olipa kyse puun sahauksesta tai kuiduttamisesta, puun matka tehdasalueella alkaa useimmiten kuorinnasta, jossa se kohtaa myös ensimmäiset optiset mittalaitteet. Kuorinnan jälkeen esimerkiksi sahausasennon optimointi on helpompaa, koska oksat ja viat ovat paremmin näkyvissä kamerajärjestelmille. Kuorinta on myös edellytys sille, että tukin pintaosista saa tuotettua selluhaketta. Optisia mittalaitteita käytetään kuorintatuloksen optimointiin sekä laaduntarkkailuun. Liika kuorinta vähentää jalostuksessa käytettävissä olevan puun määrää. Toisaalta liian vähäinen kuorinta näkyy usein tuotteen heikentyneenä laatuna myöhemmissä prosessivaiheissa. Kuori päätyy useimmiten polttoon, jossa syntyviä pienhiukkaspäästöjä mitataan optisin menetelmin. Kuorintaprosessissa käytetty vesi päätyy puhdistusprosessiin, jonka tehokkuuden mittareista yksi keskeisimpiä on usein optinen kiintoainemittari. Mittaustulosta käytetään prosessin ohjaustietona sekä seuraamaan takaisin vesistöön palautettavan veden epäpuhtauksia, jotka on määritelty tehtaan ympäristöluvassa.

Puutuoteteollisuudessa (saha- ja puulevyteollisuus sekä jatkojalostava teollisuus) on hyödynnetty fotoniikkaan perustuvia laitteita ja järjestelmiä vuosikymmeniä. Tavallisimpia sovelluksia ovat laseriin perustuvat rungon tai

tukin muodon, tilavuuden ja asemoinnin mittarit sekä erilaiset kameralajittelulaitteet, joita käytetään muun muassa tuoreen ja kuivatun sahatavaran tai viilujen visuaaliseen lajitteluun käytännössä kaikilla teollisuuslaitoksilla. Ennen sahausta tai sorvausta tukeista mitataan laseriin perustuvalla niin sanotulla tukkimittarilla latvaläpimitta, pituus, kartiokkuus (tukin muoto), lenkous, tilavuus ja kameran ollessa käytössä mahdollisesti muitakin laatuominaisuuksia. Tukit lajitellaan jopa yli 70 luokkaan sahausta varten vähintään puulajin ja latvaläpimitan, usein myös pituuden ja laatuominaisuuksien perusteella.

Kameratekniikka mahdollistaa värikamerakuvauksen perusteella (esimerkiksi Woodeye AB) tukin asennon matemaattisen optimoinnin lenkouden ja vikojen suhteen siten, että mahdollisimman suuri osa tukista tulee hyödynnettyä sahatavarana. Jos sahalinjan jälkeen on erikseen niin sanottu särmäyslinja, jossa laudoista sahataan pois vajaasärmäiset sivut, optimoi kameratekniikka myös särmäysleveyden. Sahatavaran paksuus ja leveys mitataan optisilla tunnistimilla poikittaiskuljettimelta, ja saheet lajitellaan sitten dimensioidensa mukaisesti lokeroihin odottamaan kuivauskuorman tekoa.

Konenäön ja oppivan kuvantulkinnan avulla voidaan kuivista sahatavarakappaleista lajitella visuaalisesti arvokkaita jatkojalosteita, kuten kalusteosia, parkettiaihioita ja liimalevyn lamelleja, tai määrittää sormijatkettavien hirsi-, rakennesahatavara- tai huonekalukomponentin pois leikattavat vikakohdat. Konenäköpohjaisessa lajittelussa tarkasteltavia perustunnuksia ovat väri, eri laatuiset oksat, syysuunta sekä halkeamat. Tehdasolosuhteissa suuria haasteita optisille järjestelmille asettavat tärinä, kuvattavan kohdan valaistus, puun pinnan ja ilman epäpuhtaudet, lämpötilariippuvat ominaisuudet (jäätynyt versus sula pinta) sekä puupinnan visuaalisen ilmeen voimakas luontainen vaihtelu erityisesti havupuilla (sydänpuu-pintapuu, vuosirenkaiden leikkautumissuunta, syysuuntapoikkeamat oksien lähellä, väriviat, vajaasärmä, pihkakeskittymät tai -taskut, ja niin edelleen). Alalta löytyy suomalaisia maailmanluokan toimijoita, kuten Finscan Oy ja Raute Oyj.

Kaikki EU-alueella rakenteellisiin käyttötarkoituksiin myytävä puutavara on kesällä 2014 voimaan astuneen CE-merkintävelvoitteen mukaisesti lujuuslajiteltava. Sahatavara voidaan lujuuslajitella visuaalisten ominaisuuksien pohjalta, mutta visuaalinen lujuuslajittelu on sallittua vain alemmille lujuusluokille. Visuaalisessa lujuuslajittelussa lajittelijan silmän tai kamerajärjestelmän huomio kiinnittyy oksien lukumäärään, sijaintiin ja laatuun sekä halkeamiin, kierouteen, vuosiluston leveyteen ja muihin vikoihin. Ylimmät lujuusluokat saa lajitella vain koneellisesti, nykyisin tavallisimmin mittaamalla ääniaallon kulkunopeus kappaleessa ja arvioimalla puukappaleen lujuus saadun informaation avulla.

Väri ja tekstuuri ovat keskeisiä laatutekijöitä muun muassa lattiapäällysteissä (lattialaudat, parketit, kynnykset, portaat), kalusteissa sekä sisustuskäyttöön tulevissa koivuvaneri- ja viilupinnoissa. Kamera- ja konenäköjärjestelmät korvasivat teollisuuslaitoksilla ihmissilmän näiden tuotteiden lajittelussa viimeistään vuosituhannen vaihteessa.

Puussa olevat uuteaineet fluoresoivat tiettyjen aallonpituuksien valoa, ja fluoresenssin avulla voidaankin tuottaa hyödyllistä tietoa puutuotteen ominaisuuksista. Esimerkiksi männyn sydänpuusta on fluoresenssin perusteella määritetty lahonkestävyyttä indikoivien fenolisten stilbeeniyhdisteiden pitoisuutta. Menetelmä on kehitysvaiheessa, mutta sillä on suuri teollinen potentiaali luontaisesti lahonkestävien kappaleiden lajittelussa erilleen miljoonien kuutiometrien sahatavaravirrasta. Ympäristötietoiset kuluttajat ovat kiinnostuneita vaihtoehdoista esimerkiksi kuparisuolakyllästetylle terassilaudalle.

Näkyvän valon (380–780 nm) sekä infrapunan (IR, 2500–25000 nm) aallonpituuksien väliin jäävän lähi-infrapuna-alue (NIR, 800–2500 nm) on paljon tutkittu ja kiinnostava aallonpituusalue puun ominaisuuksien tutkimiseen. Vuosikymmenten tutkimus- ja kehittämisponnisteluista huolimatta puutuoteteollisuuteen ei ole onnistuttu kaupallistamaan NIR-spektroskopiaan perustuvia riittävän kilpailukykyisiä mittausmenetelmiä. Sekä IR- että NIR-alueen spektreistä voidaan määrittää materiaalin molekyylirakenteeseen liittyviä ominaisuuksia. NIR-alueen tekee erityisen kiinnostavaksi se, että orgaaniset

materiaalit absorboivat NIR-valoa vain murto-osan siitä mitä IR-valoa, joten mittauksen ”hyötysuhde” on korkea. NIR-spektroskopian avulla voidaan laboratorio-olosuhteissa määrittää muun muassa ligniinipitoisuus, uuteainekoostumus, pintakosteus sekä kemiallisten komponenttien määrän avulla epäsuorasti tiheys. Myös tuoreen puun (kasvava puu, kaadettu runko tai tukki) mekaanisia ominaisuuksia (kimmokerroin, puristuslujuus) voidaan estimoida NIR-spektristä laboratorio-olosuhteissa. NIR-mittauksia on käytetty myös puulajin sekä puun maantieteellisen kasvupaikan jälkikäteismääritykseen. Lastulevystä on mitattu – niin ikään laboratoriossa – fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia NIR-spektrin avulla. Paraikaa kehitetään NIR-spektroskopiaan perustuvaa kierrätys- ja jätepuun online-lajittelumenetelmää.

Verrattain lähellä teollista NIR-sovellusta on viilujen tai sahatavaran pinnan kosteusmittaus, joissa ei kuitenkaan vielä päästä aivan teollisten prosessien nopeuksiin. Toisaalta NIR-mittauksen yksi ongelma on se, että sillä voi mitata vain kiinteän kappaleen pintaa: esimerkiksi sahatavarassa olevien kosteusgradienttien vuoksi tämä ei useinkaan riitä. Sähkönjohtavuuteen (kapasitanssiin) perustuvat kosteusmittausmenetelmät ovat myös nopeampia ja edullisempia. NIR- tai IR-mittauksilla tulisikin pystyä tuottamaan puutuotteesta kosteuden lisäksi muuta tarpeellista tietoa, joka perustelisi menetelmien käyttöä. NIR-spektroskopia voi laboratoriossa tuottaa tietoa myös solujen anatomiasta (esimerkiksi kuidun pituus, soluseinän läpimitta, mikrofibrillikulma, jotka mahdollistaisivat muun muassa lylypuun tunnistaminen), mitä voidaan käyttää hyödyksi kasvinjalostuksessa, kun halutaan valita kiinnostavia perinnöllisiä ominaisuuksia edustavia emokasveja. Näidenkään puutuotteillekin monella tapaa relevanttien ominaisuuksien mittaus ei toistaiseksi onnistu teollisesti.

Puun ominaisuuksien muutokset modifiontiprosesseissa sekä biologinen- tai fotodegradaatio ovat kemiallisia muutoksia, ja siksi potentiaalisia NIR- tai IR-spektroskopian sovellusaloja. Puutuotteen pinnalta mitattua väriarvoa voidaan käyttää esimerkiksi lämpökäsitellyn puutavaran laadunvarmistusparametrina: väri korreloi lämpökäsittelyprosessissa käytetyn lämpötilan kanssa. Alkava laho, jota ei pysty vielä silmin tai massahäviön perusteella havaitsemaan, voidaan

mitata NIR- tai IR-spektristä laboratorio-olosuhteissa. Auringon ultraviolettisäteilylle (uv) altistuminen aiheuttaa puun pinnalle fotodegradaationa tunnettuja kemiallisia reaktioita, kuten ligniinin kellastumista tai tummumista. Sama ilmiö kellastaa sanomalehtipaperia ja muita mekaanisesta puumassasta tehtyjä paperilaatuja. Kotimaisista pääpuulajeista mänty ja koivu ovat verrattain herkkiä kellastumaan uv-säteilyssä. Kuusi ja haapa puolestaan säilyttävät vaalean värinsä hyvin.

Yksi fotoniikkaan perustuva sovellus on maalien kuivattaminen. Esimerkiksi ikkunanpuitteet ja kalustepinnat maalataan moneen kertaan riittävän sään- tai kulutuskeston saavuttamiseksi. Yhden maalikerroksen tulee kuivua ennen seuraavaa maalausta, ja tuotantolinjan nopeutta kasvatetaan kuivattamalla maali infrapuna- tai ultraviolettisäteilyllä.

Infrapunakameralla (lämpökameralla) voidaan analysoida lämpövuotojen lisäksi myös esimerkiksi liimasauman yhtenäisyyttä (rakenteelliset liimapalkit), lahon esiintymistä tai pinnan ja rakenteen kosteutta. Lämpökameraa voidaan käyttää myös murtumismekaniikassa. Väsytystestissä on mahdollista määrittää kokeellisesti materiaalille tai tuotteelle kriittinen lämpötilataso, jossa koe keskeytetään aiheuttamatta lopullista murtumaa. Puutuotteita käytetään kuitenkin harvoin kohteissa, joissa väsyminen on kriittisin mekaanisen rasituksen muoto. Lämpöenergiaa muodostuu luonnollisesti murtuma-alueelle myös staattisessa puristuksessa, vedossa tai leikkauksessa, ja sitä voi ainakin laboratorio-olosuhteissa havainnoida infrapunakameralla. Lämpösäteilyn mittaaminen valmistusprosessin tai tuotteen käytön aikana tarjoaa monia puurakenteiden turvallisuuteen, terveellisyyteen tai biologiseen kestävyyteen liittyviä mahdollisuuksia, joita halpeneva kameratekniikka ja laskentatehon kasvu tuovat lähemmäs kaupallisia sovelluksia.

Fotoniikka massa-, paperi- ja kartonkiprosesseissa

Paperi- ja massaprosesseja on perinteisesti ohjattu mittaamalla lopputuotteen laatua. Suoraan prosessista tapahtuvat mittaukset sekä mittaustietoon kytketyt

säädöt ovat jatkuvasti lisääntyneet. Esimerkiksi selluteollisuudessa käytetään optisia antureita ja spektrimittareita prosessin eri vaiheissa ja lopputuotteen laadun valvontaan tarkoitetuista kansainvälisistä analyysistandardeista merkittävä osa perustuu optisiin mittausmenetelmiin. Putkistoista, säiliöistä tai paperi- ja kartonkikoneilta online-mitattavat kuitumassan ja lopputuotteen ominaisuudet ovat mahdollistaneet nykyiset tuotantomäärät ja mittaustietoa hyödyntävät automaatiojärjestelmät sekä niiden ohjauksessa olevat annostelu- ja toimilaitteet pitävät huolta tuotannon laadusta ja virheiden havainnoimisesta.

Energia- ja kuitusovelluksissa keskeinen mitattava tai menetelmillä arvioitava suure on massan kosteuspitoisuus. Teollisille linjoille kosteuden mittaukseen soveltuvista optisista menetelmistä erityisesti NIR-tekniikat soveltuvat kosteuspitoisuuden ennustamiseen. Hakesovellusten ohella vastaavat optiset menetelmät ovat saaneet kaupallisia sovelluksia esimerkiksi paperirainan kosteuden online–mittauksesta. Erityyppisten sellujen ja mekaanisten puumassojen valmistuksessa kuvantavia mittausmenetelmiä on kehitetty muun muassa valkaisukemikaalien sekoittamisen mittaukseen, ilmakuplien kokojakauman ja määrän arviointiin, ligniinin ja pihkan määrän arviointiin sekä lukuisten kemikaalien sekoittumisen ja annostelumäärien hallintaan.

Paperituotteiden laatuominaisuuksista suurta osaa hallitaan tuotannossa ja mitataan myös laboratorioissa standardoitujen optisten analyysien avulla. Puumassan koostumus, suotautuvuus ja sakeus ovat tyypillisiä putkesta optisesti mitattavia parametreja, joita automaatiojärjestelmät ohjaavat valmistettavien tuotevaatimusten mukaisiksi. Valmiin paperin tai kartongin kosteusmittaukset ja -profiilit, käytetyn pinnoitteen paksuus ja koostumus, kiilto ja painatuslaatu ovat myös esimerkkejä optisten mittausten tuottamasta informaatiosta. Prosessista tehtävistä online-mittauksista keskeisin lienee kuitenkin kuitusulpun sakeuden määritys, johon on kehitetty erinomaisia optisia mittareita. Ne ovat tärkeitä etenkin lähellä paperi- tai kartonkikonetta, jolloin massan sakeus on alhainen eivätkä virtauksen leikkausvoimaan perustuvat lapamittarit toimi tarkasti. Samoin viiraretention eli paperikoneen viiraosalle jäävän kiintoaineen määrä arvioidaan sakeusmittausten perusteella.

Laserin avulla voidaan mitata paperiradan nopeutta sekä perälaatikon huulisuihkun nopeusprofiilia. Sitä voidaan käyttää myös suihkuviiranopeussuhteen mittaamiseen, formaation eli neliömassan vaihtelun, kuitujen orientaation sekä valmistuneen ja telalle rullatun paperinradan pituuden määrittämiseen. Muita paperi- ja kartonkituotteiden valmistuksessa käytettyjä optisia online-mittauksia ovat infrapunasäteilyn avulla määritetty kosteus- ja tiheysprofiili, väri ja vaaleus, lasertekniikkaan perustuva sileysmittaus. Valmistettu paperi ja kartonki kuvataan automaattisella kamerajärjestelmällä, josta kuva-analyysin keinoin havaitaan poistoa tai paikkausta vaativat viat, kuten reiät, täplät ja likatahrat, joita aika-ajoin syntyy.

Yksi ikonisin ja yleisimmin käytetty laboratoriomittalaite on 1980-luvulla Keskuslaboratoriossa kehitetty kuidunpituusmittari, jossa kapillaariputken läpi virtaavasta hyvin laimeasta kuituseoksesta mitataan optisesti yksittäisten kuitujen pituuksia ja siten koko seoksen kuidunpituusjakauma. Toimiva prototyyppi ja sen oikeudet myytiin silloiselle Kajaani Elektroniikka Oy:lle (Valmet Automation Oyj), jonka myymänä se on levinnyt hyvin laajalle selluteollisuuden laboratorioihin ympäri maailmaa. Valmet on kehittänyt sitä mittaamaan myös kuitujen leveyttä, kiharuutta, fibrilloituneisuutta ja muita kuitutuotteita valmistettaessa tarkasteltavia ominaisuuksia. Uusimpana ominaisuutena siihen on yhdistetty neuroverkkojen suorittamia luokittelumahdollisuuksia erilaisten puun solutyyppien ja hienoaineksen tunnistamiseen. Myös kuitujen ominaisuuksien optiseen mittaamiseen perustuvaa puulajien tunnistusta on kehitetty, jotta voitaisiin analysoida putkivirtauksesta missä suhteessa eri puulajien massoja on sekoitettu. Samankaltaiseen konenäkö- ja koneoppimismenetelmien hyödyntäminen kuvamateriaalin analysoinnissa mahdollistanee tulevaisuudessa yhä laajemman haitta-aineiden tunnistamisen kuitumassan joukosta, joka parantaa tuotteiden laatua ja vähentää tuotantokatkoksia.

Paperi- ja kartonkituotteiden optiset ominaisuudet määräävät niille painetun kuvan ja tekstin laadun. Siksi niitä mitataan ja säädetään jatkuvasti. Tuotteen laadun arvoa määrääviä ominaisuuksia ovat esimerkiksi vaaleus,

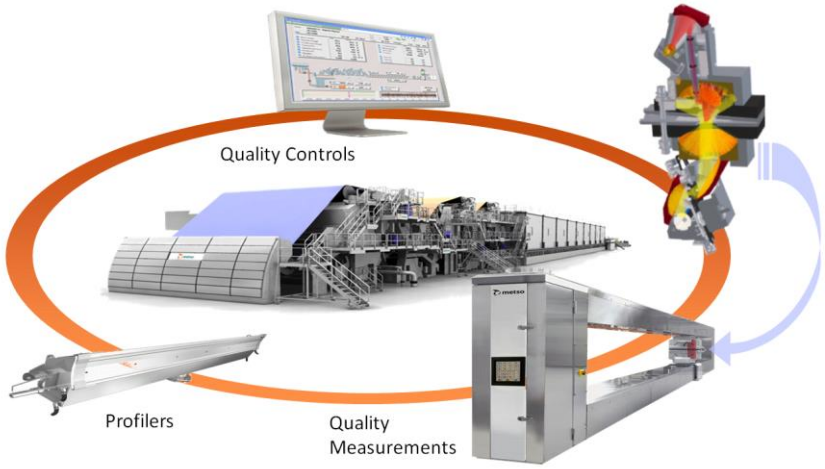
läpinäkymättömyys, väri ja kiilto. Mitattaessa paperin ominaisuuksia laboratoriossa tulee mittalaitteen olla standardisoitu juuri tietyn optisen mittausparametrin määritystä varten käyttäen oikeaa mittausgeometriaa, taustavaloa ja valon taajuussuodattimia. Prosessimittalaitteiden toiminta varmistetaan vertaamalla niitä säännöllisesti tehdaslaboratorioiden omiin laatumäärityksiin. Yleisin paperiteollisuudessa käytetty värien ja sävyjen mittaus perustuu CIE Lab järjestelmään, joka mittaa luminanssikomponenttia (L*) sekä kromaattisuuskomponentteja puna-vihreä (a*) ja kelta-sininen (b*). Sen etuja on mittausalueen lineaarisuus sekä vastavärien käyttäminen. Käytännön tilanteessa vastavärit on helppo hahmottaa ja se helpottaa väriaineiden käytön säätämistä sekä varsinaista prosessissa tapahtuvaa online mittausta.

Tehdasympäristössä toimittaessa mittaaminen ja tiedon kerääminen sekä sen esittäminen ja visualisointi ovat tulevaisuudessa yhä tärkeämpiä, koska käsiteltävän informaation määrä kasvaa koko ajan. Siksi laitevalmistajat ja tuotantotehtaat kehittävät virtuaalitodellisuuden (VR) ja lisätyn todellisuuden (AR) työkalujen käyttöä erityisesti koulutus, kunnonvalvonta- ja huoltotehtävissä.

Menestystarina – Valmet Oyj

Suomalaisilla ja eurooppalaisilla yrityksillä on vahva asema optisen mittaustekniikan hyödyntämisessä. Tästä hyvä esimerkki on Valmet Automaation - erityisesti Valmetin tuotteet paperiteollisuuden tarpeisiin (Kuva 4). Valmet Automaation menestystarina alkoi vuonna 1987, jolloin yritys osti kanadalaisen paperin laatumittauksia ja säätöjärjestelmiä valmistavan Sentrol Systemsin. Valmet päätti siirtää kehitystyön, valmistuksen ja sovellustutkimuksen Suomeen ja samalla uudistaa systeemin. Ensimmäinen uudistettava anturi oli optinen lähi-infrapunaspektroskopiaan perustuva läpimittaava kosteusmittaus, jonka optiikan ja mittausperiaatteen uudistamisen VTT Oy sai tehtäväkseen. Tuotteen julkaisu vuonna 1995 käynnisti Valmetin ja VTT:n välisen pitkään jatkuneen yhteistyön. Yhteistyön tuloksena syntyi tuotteiden ketju seuraavasti: Heijastukseen perustuva kosteusmittari (vuonna 1996), kiiltomittari (1997), päällystemäärän paksuusmittari (lähi-infrapuna 1998, lähi- ja keski-infrapuna 1999), värimittari

(2001), kuvantava koko rainan kosteusmittari (2002), formaatiomittari (2006), läpäisyyn perustuva toisen sukupolven kosteusmittari (2006), pintatopografia- ja kuidun orientaatiomittari (2010) sekä monipistekosteusmittari (2018).



Kuva 4: Valmet Automaation tuotteet paperikoneautomaatioon.

Toteutetut mittaukset ovat olleet tekniseltä suorituskyvyltään erinomaisia niin tarkkuudessa kuin mittausten stabiilisuudessakin. Hyvä esimerkki ylivoimaisesta mittaustarkkuudesta on uuden sukupolven kosteusmittari, joka ei ole ainoastaan hyvä kosteusmittari vaan samalla myös markkinoiden ainoa optinen mittapää pehmopaperin neliöpainomittaukseen.

Mittalaitteiden pohja rakennettiin Valmetin ja VTT:n vahvan luottamuksen ja osaamisen pohjalle. Valmet toi markkina- ja sovellusosaamisen ja VTT teknologisen osaamisen. Tuotteiden arvoketju on saatu pysymään Suomessa siten, että peruskomponentit ja ratkaisut valmistetaan suomalaisten alihankkijoiden voimin.

Suomessa on tehty viime vuosina merkittäviä avauksia uusien mittaustekniikkaan soveltuvien komponenttien kehittämiseksi. Näistä hyvä esimerkki on piimikromekaaninen suodatin (FPI). Piifotoniikka on vahvassa kasvussa ja piifotoniikkaan perustuvat anturit nähdään tulevaisuudessa vahvana kilpailuvalttina. Suomalaisissa tutkimuslaitoksissa tehtävä puolijohdelähteiden kehitys IR-alueelle tuo yrityksille uutta kilpailukykyä. Aika-ikkunoitu Raman-

tekniikka avaa myös uusia mahdollisuuksia. Mahdollisina hyödyntäjiä ovat muun muassa Vaisala Oyj, Gasera Oy, TimeGate Instruments Oy ja Spectral Engines. Loppukäyttäjiä on muun muassa suomalainen metalli- ja puunjalostusteollisuus sekä kaivosteollisuus. Tulevaisuuden kannalta on tärkeää, että tuotteiden peruskomponentit valmistetaan Suomessa. Näin tuotteita ei voida kopioida helposti ja yritysten kilpailuetu markkinoilla säilyy. Tämän varmistamiseksi tarvitaan panostuksia koulutukseen, tutkimukseen, kansainväliseen verkottumiseen sekä toimenpiteitä innovaatiotoiminnan ja innovaatiokulttuurin kehittämiseen.

2.1.4 Kasvit (biofotoniikka)

Fotoniikan sovellutuksilla on nykyisin keskeinen asema kasvien tutkimuksessa ja niiden tuotannossa. Kasvien kasvu ja kehitys perustuu valon energian sitomiseen yhteyttämisessä ja valon laadun välittämiin viesteihin ympäristöstä. Kasvihuoneviljelyssä valo-olosuhteisiin vaikuttavat keskeisesti kasvihuoneen katemateriaali ja keinovalaistuksen luonne. Perinteiset kasvintuotannossa käytettävät lamput ovat runsaasti energiaa kuluttavia eivätkä välttämättä valon laatunsa suhteen optimaalisia eri satokasvien viljelylle. Eri aallonpituuksilla energiatehokkaasti valoa tuottavat LED-valaisimet ovatkin tällä hetkellä intensiivisen tutkimuksen ja kehitystyön kohteena. Energiatehokkuuden lisäksi mahdollisuus valon spektrin ominaisuudet, eli valon sisältämien aallonpituuksien suhteet toisiinsa, mahdollistavat satokasvien optimaalisen valaistuksen kasvien eri kehitysvaiheissa ja sen sovittamisen kullekin kasvilajille tai –lajikkeelle sopivaksi. Valaistuksen räätälöimisellä voidaan lisäksi vaikuttaa kasvien terveydentilaan ja laatuominaisuuksiin, kuten terveyttä edistävien antioksidanttien määrään. Joillakin kasveilla, kuten tomaatilla, laatuominaisuuksiin keskittyminen niin kasvatuksen valaistusta kuin optista sadon seurantaa kehittämällä mahdollistaa myös kuluttajan kannalta tärkeiden ominaisuuksien parantamisen. Tässä ilmeinen tavoite olisi tuottaa fotoniikan keinoin juuri oikeaan aikaan poimittuja tomaatteja, joiden maku ja tuoksu olisivat olennaisesti nykyisiä kaupallisesti tuotettuja tomaatteja parempia.

Kasvit tuottavat huomattavia määriä erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joiden tehtävänä on toimia puolustuskeinona kasvinsyöjiä ja taudinaiheuttajia vastaan tai suojella haitallisilta ympäristöolosuhteilta. Nämä yhdisteet vaikuttavat myös huomattavasti määrin sadon laatuun ja tuotteiden terveellisyyteen kuluttajan kannalta. Kasvien kemiallinen koostumus ja kasvin osien erilaiset rakenteelliset erot vaikuttavat toisaalta oleellisesti myös valon heijastuvuuteen kasvien pinnoilta, mitä voidaan seurata fotoniikan keinoin. Yhtenä tavoitteena modernissa kasvinviljelyssä ja kasvinjalostuksessa onkin kehittää optisia seurantamenetelmiä kasvien rakenteellisista muutoksista niiden kehityksen myötä ja niiden sisältämien keskeisten yhdisteryhmien pitoisuuksista. Tarkoitukseen suunnitellut erilaiset kamerat ja optiset anturit ovat erityisen kiinnostuksen kohteena niin sanottua täsmäviljelyä koskevassa tutkimuksessa, jossa kasvatusolosuhteita ja kasvien kasvua ja kehitystä seurataan automatisoidusti käsin koskematta. Täsmäviljelyllä viitataan suppeasti käsitettynä useimmiten tuotantomuotoon, jossa tilan olosuhteista kerätään tarkkaa paikkatietoa, jota hyödynnetään esimerkiksi täsmälannoitukseen. Alan tutkimuksessa keskitytään kuitenkin tällä hetkellä erityisesti kuvantaviin menetelmiin, jossa kasvien heijastusspektrin ominaisuuksia hyödynnetään myös kasvitautien ja tuholaisten aiheuttamien oireiden seurantaan ja paikallistamiseen ja erilaisten ympäristöstressien aiheuttamien oireiden seurantaan. Tavanomainen valokuvaus ja ihmisen näkökyky ovat kuitenkin optisesti hyvin rajoittuneita ja soveltuvat kasvin ominaisuuksien ja stressioireiden seurantaan vain, jos ne ilmenevät selkeästi ympäristöstään erottuvina esimerkiksi värillisinä alueina. Viime vuosina kehitetyt uudet spektrikuvausmenetelmät mahdollistavat kuitenkin kasvien tutkimuksen ja niiden hyvinvoinnin määrittämisen huomattavasti tarkemmin.

Spektrikuvaus mahdollistaa värien hyvin tarkan erottelun. Hyperspektrikameralla voidaan havaita jopa satoja eri aallonpituuskaistoja (”värejä”), ihmissilmän tai tavanomaisen kameran kolmen värin (punainen, vihreä ja sininen) sijaan. Spektrikuvaus mahdollistaa kuvaamisen myös näkyvän valon ulkopuolella, kuten ultravioletti- ja infrapunasäteilyn alueella. Spektrikuvausta hyödynnetään jo tällä

hetkellä monin eri tavoin biologisessa tutkimuksessa, erityisesti kasvien stressien havainnoinnissa, kasvinjalostuksessa ja viljelykasvien sadon laadun seurannassa. Näissä sovelluksissa tutkittavat piirteet ovat muutoksia kasvien optisissa ominaisuuksissa, mitkä puolestaan johtuvat pääosin eroista kasvinosien rakenteessa ja kemiallisessa koostumuksessa. Maa- ja metsätaloudessa spektrikuvauksella voidaan havaita ja kartoittaa entistä tarkemmin tautien ja tuholaisten aiheuttamia ensioireita kasvustossa, jopa ennen paljain silmin näkyvien vaurioiden syntyä, mikä mahdollistaa tarvittavan torjunnan aikaistamisen ja tarkemman kohdentamisen. Laajojen alueiden optinen havainnointi voidaan toteuttaa perinteisen kaukokartoituksen keinoin lentokoneesta ja satelliittikuvauksella. Mutta pienipiirteisempien seikkojen seurannassa hyödynnetään useimmiten kevytrakenteisia lentäviä kamera-alustoja, droneja, joilla voidaan kartoittaa esimerkiksi satojen hehtaarien kokoisia peltoalueita. Tällä hetkellä näissä käytetään pääosin tavanomaisia ja niin sanottuja multispektrikameroita, joissa erikseen erotettavia aallonpituuskaistoja on vain muutamia, mutta tarkoitukseen hyvin soveltuvia. Varsinaisten hyperspektrikuvaus satoine aallonpituuskaistoineen on vielä pääosin rajoittunut tutkimuskäyttöön, osin kalliin hankintahinnan vuoksi.

Varsinaisten vihreiden kasvien ja kasvustojen lisäksi spektrikuvantamisella voidaan tutkia tehokkaasti kasvin osia, kuten siemeniä tai kasvipohjaisia materiaaleja, kuten puuainesta. Kasvilajien sisällä geneettiset erot siementen laadussa ovat usein suuria ja tarvitaan siemenmateriaalin seulontaa. Siementen laatua heikentävät lisäksi taudit, tuholaiset ja haitalliset ympäristöolosuhteet. Perinteiset menetelmät laadun tarkistamiseen ovat työläitä, hitaita, materiaalin tuhoavia ja jopa terveydelle mahdollisesti riskialttiita (röntgenkuvaus). Siementen laatuominaisuuksien määrittämiseen on kuitenkin jo kaupallisestikin saatavilla LED-pohjainen multispektrilaitteisto, jota hyödynnetään erityisesti kasvinjalostuksessa. Hyperspektrikuvauksella puolestaan voidaan lisäksi selvittää muun muassa siementen itävyyttä ja siementen sisällä elävien hyönteistoukkien esiintyvyyttä (Dumont, et al, 2015).

Fotoniikka ja erityisesti spektrikuvantaminen tarjoaa uusia mahdollisuuksia kasvien fenotyypitykseen, mikä on keskeinen menetelmä modernissa kasvinjalostuksessa. Fenotyypitys tarkoittaa kasvin ilmiasun ja ominaisuuksien kuvantamista ja tiedon tallentamista numeeriseen muotoon. Kun tietoa yhdistetään geneettiseen dataan, voidaan huomattavasti nopeuttaa ja täsmentää haluttujen ominaisuuksien jalostusta perinteiseen valintajalostukseen verrattuna. Yhdistettäessä tietoa kasvien kemialliseen ja aineen-vaihdunnalliseen dataan voidaan kehittää niin sanottua sormenjälkitunnistusta kasvin laadullisten ominaisuuksien nopeaa seulontaa varten. Monet ympäristö- ja stressitekijät sekä viljelymenetelmät muokkaavat kasvien ilmiasua, ja siten fenotyypitys on tärkeä osa kestävyysjalostuksessa. Menetelmä tehostaa oleellisesti uusien mahdollisten ravinto- ja viljelykasvien testausta ja useimmilla merkittävillä kasvinjalostajilla onkin nykyään omat fenotyypitys-keskuksensa. Laajamittainen fenotyypitys edellyttää kuitenkin huomattavia investointeja tarvittavaan infrastruktuuriin, minkä vuoksi tutkimuksen piirissä on päädytty luomaan kansallisia tai tiettyihin tarkoituksiin erikoistuneita tutkimusinfrastruktuureja, jotka toimivat esimerkiksi Euroopassa yhteistyössä mahdollistaen jäsenmaiden tutkijoiden koejärjestelyt eri maissa. Suomessa toiminnasta vastaa Helsingin yliopiston ja UEF:n perustama kansallinen fenotyypityskeskus NaPPI (National Plant Phenotyping Infrastructure, https://www.helsinki.fi/en/infrastructures/national-plant-phenotyping), johon kuuluva UEF:n spektromiikkalaboratorio kehittää erityisesti tarkoitukseen soveltuvia spektrikuvausmenetelmiä (https://www.uef.fi/web/spectromics). Infrastruktuuri kuuluu Suomen Akatemian kansalliselle tutkimusinfrastruktuurien tiekartalle ja ESFRI-tiekartalle hyväksyttyyn eurooppalaiseen kasvien fenotyypitysinfrastruktuurien verkostoon [ESFRI (The European Strategy Forum on Research Infrastructures, https://emphasis.plant-phenotyping.eu)], joka kokoaa kasvien fenotyypitykseen ja ruokaturvan kehittämiseen liittyvää tutkimusta ja tutkimusinfrastruktuureja.

Tulevaisuus

Ilmastonmuutos, kasvava tarve uusille viljelylajikkeille ja -lajeille, kasvisruokavalion yleistyminen, tarve lisätä kasvisruoan monipuolisuutta ja kaupunkiviljely lisäävät tarvetta tehokkaaseen kasvibiologiseen tutkimukseen. Maa- ja metsätalouden kehittymisen ja kilpailukyvyn kannalta on tärkeää parantaa viljelylajikkeiden ja metsäpuutaimien kestävyyttä erilaisia stressitekijöitä vastaan. Muuttuva ilmastonmuutos tuo epävarmuutta ja vaihtelevuutta sääoloihin sekä lisää kasvitautien ja tuholaisten riskiä. Kasvitaudit ja tuholaiset aiheuttavat miljardien eurojen suuruisia satotappioita kaikkialla maailmassa. Tappiot vaihtelevat maittain ja eri viljelykasveilla, mutta jopa kehittyneiden talouksien maataloudessa noin kolmasosa sadosta menetetään vuosittain, edistyneistä torjunta- ja viljelytekniikoista huolimatta. Maailmanlaajuisesti tärkeimmillä viljelykasveilla sadon määrän on arvioitu jäävän tällä hetkellä noin 10–35%:iin mahdollisesta sadosta. Mutta tilanne voi huonontua tulevaisuudessa olennaisestikin sään ääri-ilmiöiden mahdollisesti yleistyessä. Tuoreena esimerkkinä toiminee Suomenkin maatalouden kuluvan vuoden 2018 sato-odotukset.

Maailmanlaajuisena tavoitteena on lisätä moninkertaisesti viljelykasvien määrää nykyisestä 200 lajista noin tuhanteen lajiin. Suomessa on tärkeä kehittää pohjoisiin olosuhteisiin soveltuvia lajikkeita, testata niiden viljelyarvo kenttäolosuhteissa ja etsiä uusia viljelylajeja muuttuva ilmasto huomioiden. Kaikessa tässä fotoniikan eri menetelmillä on tärkeä rooli kasvien puolustusvasteiden ja suotuisten ominaisuuksien selvittämisessä. Keskeisinä välineinä tässä tulevat toimimaan jo perustetut fenotyypitysinfrastruktuurit ja maa- ja metsätaloudessa myös lentokuvaukset erityisesti droneihin asennetuilla spektri- ja muilla kameroilla. Mittalaitteiden ja kameroiden kehitys on vienyt kohti yhä pienempiä ja monipuolisempia, myös akkukäyttöisiä kannettavia laitteita. Maataloudessa hyödynnetään jo tällä hetkellä kasvuston vihreän värin intensiteettiin pohjautuvia laitteita typpilannoituksen tarpeen määrittämiseksi. Mutta seuraava ilmeinen askel on älypuhelinten kameroiden hyödyntäminen sellaisenaan tai jopa yksinkertainen spektrikuvaus älypuhelimella. Israelilainen

start-up yritys Unispectral on vastikään julkistanut kehitteillä olevan älypuhelimessa toimivan spektrikameransa, millä voisi olla huomattavaa potentiaalia myös kasvitutkimuksen kannettavana työvälineenä ja lopulta maanviljelijöiden tai kuluttajien käytössä, kun satokasvien terveydentilaan tai laatuun kehitettyjä sovelluksia tulee saataville. Suomalainen Specim Oy on puolestaan tuonut jo markkinoille kannettavan spektrikameran, jota on jo testattu kasvitutkimuksen tarpeisiin niin UEF:ssa kuin Saksassa Jülichin tutkimuskeskuksessa. Kaukokartoituksessa hyperspektrikuvaus tulee lisääntymään niin maa- kuin metsätaloudessakin, erityisesti yhdistettynä jo käytössä olevaan laserkeilaukseen. Tämä kehitys mahdollistaa samalla myös entistä tarkemman ympäristön tilan monitoroinnin, mikä on välttämätöntä ilmaston muuttuessa.

Merkitys Suomen kilpailukyvylle

Fotoniikan menetelmät tehostavat kasvien tutkimusta ja maa- ja metsätaloutta monin eri tavoin. Optiset menetelmä (kamerat, anturit) mahdollistavat erityisesti laatuominaisuuksien seurannan entistä tarkemmin ja nopeammin. Tämä puolestaan edistää korkealaatuisempien tuotteiden tuotantoa niin maa- kuin metsätaloudessa. Maataloudessa kasvitautien ja tuholaisten aiheuttamien ongelmien aikainen havaitseminen nopeuttaa oikein kohdennettujen torjuntatoimenpiteitä, mikä vähentää niin kustannuksia kuin torjunta-ainejäämiä. Todennetusti vähän erilaisia jäämiä sisältävillä maataloustuotteilla on kilpailukykyetua elintarvikeviennissä, varsinkin kun Suomella on jo maine puhtaan maataloustuotannon maana. Erityisesti sahoilla ja puusepänteollisuudessa puolestaan on mahdollista tunnistaa puutavaran laatuominaisuuksia tarkemmin, mikä mahdollistaa paitsi kohdentamisen oikeaan käyttötarkoitukseen, myös korkeamman hinnan. Mahdollisia taloudellisesti merkittäviä fotoniikan sovellusalueita kasveilla on lukuisia, joista esimerkkinä Suomelle merkittävä metsäpuiden taimitarhatuotanto. Suomessa tuotettiin kotimaan markkinoille 158 miljoonaa metsäpuun tainta vuonna 2016, mikä edellytti huomattavia tuotantoalueita (240 000 m^2 kasvihuoneissa ja 616 000 m^2 kentällä). Tila- ja työvoimakustannukset ovat alalla merkittäviä. Yhtenä syynä

tähän on taimitarhoilla yleisinä esiintyvät kasvitaudit ja ympäristöstressit. Oireiden varhaisella havaitsemisella fotoniikan menetelmin olisi huomattavaa potentiaalia taimien laadun kohottamisen ja kustannusten alentamisessa pienentyvien tila- ja työvoimakustannusten myötä.

Merkitys Suomen yhteiskunnalle

Kasvituotannon merkitys Suomessa on suuri ja sen erityispiirteenä on toiminnan maanlaajuinen kattavuus. Maan eri alueiden tasapainoinen kehitys edellyttää toimenpiteitä kannattavan elinkeinotoiminnan harjoittamiselle myös kaupunkiseutujen ulkopuolisilla alueilla. Fotoniikan hyödyntäminen kasvitutkimuksen ja käytännön maa- ja metsätalouden piirissä luo parempia mahdollisuuksia tälle toiminnalle. Toinen yhteiskunnan kannalta tärkeä fotoniikkaa hyödyntävä toiminta on ympäristön entistä seikkaperäisempi ja laaja-alaisempi monitorointi. Tähän luovat paineita niin ilmastonmuutos ja sen myötä tapahtuvat elinympäristöjen muutokset kuin ihmisen taloudellinen toiminta. Fotoniikan menetelmät mahdollistavat kaukokartoituksessa esimerkiksi haitallisten vieraslajien levinnän seuraamisen ja teollisen toiminnan vesistöihin ja metsäalueisiin kohdistuvat seuraamukset, kuten vesistöjen rehevöityminen, sinileväkukintojen esiintyvyys tai metsäpuiden terveydentilan heikentyminen.

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet

Suomen vahvuutena on erityisesti korkeatasoinen osaaminen niin fotoniikan kuin kasvitutkimuksen ja maatalous- ja metsätieteiden aloilla. Suomessa on merkittäviä osaamiskeskittymiä ja yritystoimintaa kaikilla näillä aloilla ja myös yliopistojen ja tutkimuslaitosten ja alan yritysten yhteistoimintaa. Taloudellinen panostaminen alan tutkimus- ja kehitystoimintaan loisi mahdollisuuden profiloitua korkean teknologian maana, mikä hyödyntää energiaa säästäviä ja resurssitehokkaita tuotantomenetelmiä laadukkaiden ja puhtaiden tuotteiden valmistamisessa ja olisi samalla kansainvälisesti houkutteleva toimintaympäristö alan tutkijoille ja ammattilaisille.

2.1.5 Ruoka

Sovellukset tänään

Ruuan alkutuotanto sekä teollisuus ovat jo monia vuosia käyttäneet useita optisia mittausteknologioita laadunvarmistukseen ja esimerkiksi sadon optimointiin. Viljan ja rehun sekä esimerkiksi raakamaidon koostumus ja laatu ovat esimerkkejä tärkeistä tällä hetkellä käytössä olevista mittauskohteista, jotka voidaan mitata optisin menetelmin. Tuotteen laatu sekä suora hinnoittelu ovat usein riippuvaisia luotettavista analyyseistä, jossa määritellään muun muassa kosteus-, proteiini, -rasva ja sokeripitoisuudet. Toisaalta alkutuottaja pystyy optimoimaan tuotantoaan esimerkiksi analysoimalla eri pellon osien laatua. Tällöin puhutaan voimakkaasti nousevasta täsmäviljelyn alasta. Elintarviketeollisuus käyttää optisia mittauksia sekä raakamateriaalin tarkistukseen että laadunvalvontaan tuotannossa. Kyseessä voi olla spektroskooppiset mittaukset, konenäkösovellukset tai värimittaukset. Käytännössä tällaiset mittaukset on perinteisesti tehty melko kookkailla ja kalliilla järjestelmillä vaatien henkilökunnan erityisosaamista, mutta teknologioiden pienenemisen ja halpenemisen sekä muun muassa tekoälyratkaisujen kehittyessä, älykkäät sensoriratkaisut ovat avaamassa uusia mahdollisuuksia ruokien mittauksissa.

Suomessa on useita maailmanluokan toimijoita liittyen ruuan ja raaka-aineiden optisiin mittauksiin. Varsinkin spektroskooppiset mittausteknologiat ja -tuotteet ovat Suomessa hyvin edistyneitä. Tällainen teknologia on saanut alkunsa muutamia vuosikymmeniä sitten USA:ssa, jossa ensimmäinen sovellus oli kananmunien mittaus. Suomessa esimerkiksi Specim Oy (http://www.specim.fi/hyperspectral-cameras) myy spektrikameroita, joilla voi mitata tuotteen ravintosisältöjakaumaa suoraan valmistuslinjalla tai jaotella tuotteita laadun mukaan. Senop Oy Oy (http://senop.fi/en/optronics-hyperspectral) ja VTT Oy (https://www.vtt.fi/palvelut/prosessimittausratkaisut/optiset-mittausj%C3%A4rjestelm%C3%A4t) kehittävät lennokkispektrikameroita

täsmäviljelyyn. Suomessa on myös VTT:n lisäksi useita muita tutkimustahoja, kuten Jyväskylän yliopisto ja Luonnonvarakeskus, jotka yhdessä vievät lennokkispektrikamerasovelluksia eteenpäin. Suomalaisia alalla toimivia muita teknologiayrityjksiä ovat muun muassa Grainsense Oy (https://www.grainsense.com) ja Spectral Engines Oy (https://www.spectralengines.com). Gainsense Oy on juuri lanseerannut kädessäpidettävän vilja-analysaattorin maanviljelijöille ja Spectral Engines Oy myy miniaturisoituja spektrisensoreita teollisuuden ja maanviljelyn tarpeisiin.

Tulevaisuus

YK:n raportin mukaan ruuan valmistusta pitää lisätä ainakin 50% vuoteen 2050, jotta ihmiskunta pystytään kestävästi ruokkimaan. Tästä suurin osa pitää tulla tehokkuutta nostamalla, sillä peltopinta-alaa ei ole kasvatettavissa tuota määrää. Syitä tähän on muun muassa väestönkasvu, ilmastonmuutos, elintason nousu kehittyvissä maissa ja biopolttoaineiden sekä muiden biopohjaisten tuotteiden määrän kasvu. Toisaalta uusien, vaihtoehtoisten ruuanvalmistustapojen, kuten vertikaaliviljelyn, sekä koko ketjun fragmentoitumisen myötä keskuslaboratoriovetoinen laadunvarmistus käy työlääksi ja väärennösten määrä nousee. On muun muassa arvioitu, että jo tällä hetkellä lähes 70% Intian Delhin alueen raakamaidosta on jollain tavalla väärennettyä. Samaan aikaan ihmiskunta ylipainoistuu ja niin sanottujen elintasotautien riskit kasvavat. Esimerkiksi IDF (International Diabetes Federation, 2017) on arvioinut, että Euroopassa on tällä hetkellä 58M diabeetikkoa, mutta määrä olisi jo 67M vuoteen 2045 mennessä. Globaalisti ylipainoisia on jo noin 35% väestöstä ja Suomessa ongelma on yksi pahimmista, koska jopa 71% miehistä ja 63% naisista on vähintään ylipainoisia.

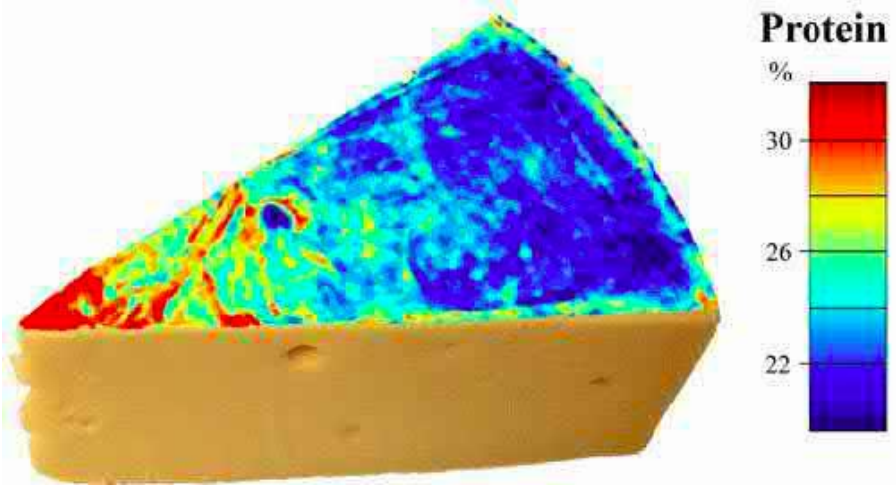
Kestävä kehityksen varmistaminen ja väestön terveydentilan heikkeneminen ylipainon ja vanhenemisen myötä ovatkin erittäin suuria globaaleja haasteita. Jotta näihin suuriin ongelmiin voidaan vaikuttaa, on tilannetietoa saatava huomattavasti laajemmin ja luotettavammin kuin nyt. Ruuan tapauksessa täsmäviljely- ja lannoitus uusien lennokkipohjaisten kamerajärjestelmien avulla, pilvipalveluihin kytketyt älysensorit, sekä viranomais- ja viljelijäkäyttöön

tarkoitetut kenttäkäyttöiset mittarit ovat aihealueita, jotka ovat tällä hetkellä erittäin suuren kehityksen alla, ja jossa Suomella on erittäin kilpailukykyinen rooli. On ennustettu, että pelkästään maanviljelyyn liittyvät ”Internet Of Things” -sensorien määrä nousee jo 75M kappaleeseen muutamassa vuodessa ja lisäksi 2017 ruoka- ja maanviljelysliitännäisten teknologiastart-up yritysten globaali rahoitus saavutti uuden ennätyksensä: 10.1M USD.

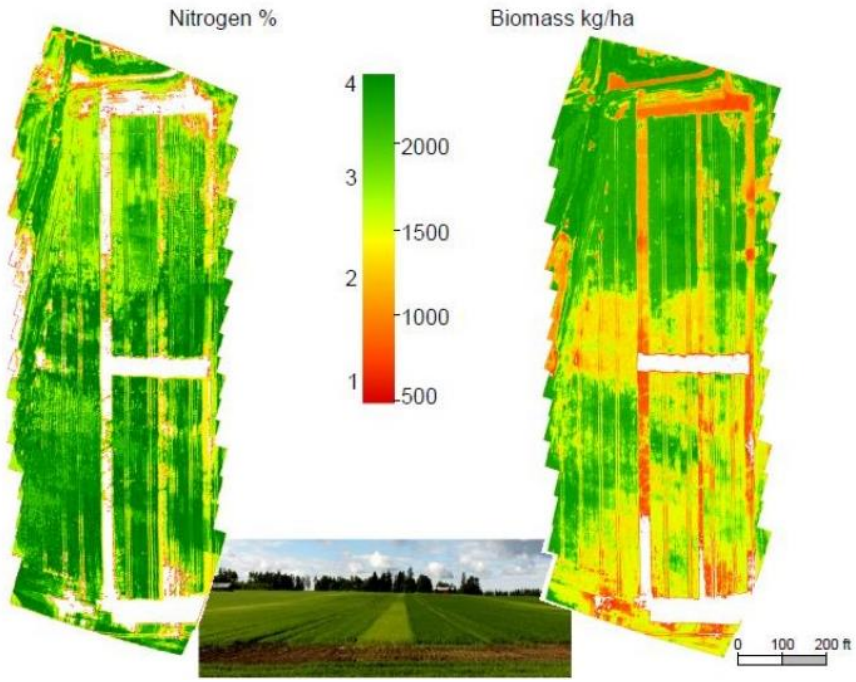
Teollisuuden ja maanviljelyn ammattimainen uusien sensorien ja sensoriverkkojen käyttötarkoitus vie teollisuutta läpinäkyvämpään, tehokkaampaan ja turvallisempaan suuntaan. Lisäksi on tulossa esiin täysin uusi alue koskien suoraan kuluttajia. Tätä ”materiaalitutkaa” on käsitelty muun muassa Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan tuoreessa julkaisussa Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037, jossa materiaalitutka nousi jopa yhdeksi merkittävimmäksi tulevaisuuden teknologiaksi (Linturi, 2018) . Tästä yhtenä osa-alueena on niin sanotut ruokaskannerit. Ajatuksena on, että kuluttaja voisi itse mitata ruuastansa ravintosisällön, allergeeneja, huomata ruokaväärennöksiä ynnä muuta sellaista. Tämän mittausteknologian ympärille rakennetut sovellukset voisivat merkittävästi parantaa ihmisten ruokatottumuksia. Alalla onkin alkanut jo kehitystä ja muun muassa ensimmäinen kännykkään integroitu prototyyppi on jo nähty. Tällaista ”ruokamateriaalitutkaa” tavoitellakseen myös EU perusti Foodscanner-kilpailun, jossa paras mittausratkaisu palkittiin 800k €:n voittopalkinnolla. Motivaatio kilpailun järjestämiseen oli nimenomaan ihmisten terveyden parantaminen. Suomalainen Spectral Engines Oy voitti tämän pääpalkinnon kansainvälisten kilpailijoiden edestä (http://ec.europa.eu/research/horizonprize/index.cfm?prize=food-scanner) osoittaen suomalaisen teknologia-innovaation kilpailukyvyn. Ruokaskanneri – vaikkakin mielenkiintoinen konsepti - on kuitenkin erittäin haastava sekä mittaus- että sovellusmielessä. Käytännössä ei pystytä vielä tekemään allergeeni- tai vaikkapa lannoitejäämämittaria eikä lihapullan sisältä nähdä pähkinää. Myös kuluttajia oikeasti auttava sovellus, joka ei olisi vain hetken mielenkiintoinen, puuttuu. Ja vaikka lihapullan rasvapitoisuus pinnasta voitaisiinkin määrittää, niin kokonaisen hampurilaisen mittaaminen ei onnistu sen monimutkaisuuden takia. Niinpä tätä ”kuluttajaskannerikenttää” katsotaan myös suurella epäluulolla. Joka

tapauksessa se vaatii vielä vuosien työn ennen kuin se tuottaa suurta yhteiskunnallista hyötyä. Kehitys on kuitenkin käynnissä.

Alla olevissa kuvissa on muutamia mittaus- ja instrumenttiesimerkkejä suomalaistoimijoilta.



Kuva 5: Juustonpala, josta mitattu proteiinijakauma hyperspektrikameran avulla (lähde: Esko Herrala, Specim Oy)



Kuva 6: Esimerkkitulos pellon typpi- ja biomassakartoista mitattuna lennokkispektrikameralla (lähde: Jere Kaivosoja, Luonnonvarakeskus)



Kuva 7: Vasen: Grainsense Oy :n vilja-analysaattori. (Lähde: Grainsense Oy) Oikea: Spectral Engines Oy:n spektrisensoreita. (Lähde: Spectral Engines Oy)

Merkitys Suomen kilpailukyvylle

Suomella on suuri potentiaali teknologia-innovaatioidensa sekä vahvojen yhteistyöverkostojensa takia olla maailman johtavia toimijoita ruokateollisuuden ja alkutuotannon sekä myös kuluttajamittalaitteiden saralla. Tämä tuottaa uusia työpaikkoja ja kasvattaa vientiteollisuutta, sillä suuri osa teknologian loppuhyödyttäjistä on Suomen ulkopuolella. Suomi voisi myös puhtaan ruuan maineen ansiosta erittäin houkutteleva ja luotettava maa optisen

ruokateknologian toimittajaksi. Jo lähivuosina tässäkin selvityksessä mainitut yritykset pystyvät kasvattamaan vientiä useita kymmeniä miljoonia lähivuosien aikana.

Merkitys Suomen yhteiskunnalle

Yhteiskunnalle tällä työllä on yhtäläisiä merkityksiä kuin globaalistikin taloudellisen kilpailukyvyn paranemisen lisäksi. Ruuan laatu, riittävyys ja turvallisuus paranevat valmistusketjun läpinäkyvyyden paranemisen myötä ja pitkällä aikavälillä ruokamateriaalitutkan kaltaiset ratkaisut voivat vaikuttaa positiivisesti ihmisten terveyteen vaikuttamalla ruokavalintoihin.

2.2. Cleantech ja ympäristö

Mistä on kyse?

Puhdas teknologia eli *cleantech* kattaa teknologiat, tuotteet, palvelut, prosessit ja suljetut järjestelmät, jotka edistävät luonnonvarojen kestävää käyttöä ja ehkäisevät tai vähentävät liiketoiminnan kielteisiä ympäristövaikutuksia. Cleantech-tuotteet ja -palvelut optimoivat materiaali-, vesi- ja energiatehokkuuden sekä taloudellisesti että teknologisesti. Samalla ne pienentävät päästöjä ilmaan, veteen ja maahan ja edistävät luonnonvarojen kestävää käyttöä. (Sjöstedt, 2018)

Fotoniikka ja cleantech

Fotoniikalla on keskeinen asema puhtaissa teknologioissa ja ympäristömittauksissa. Fotoniikan teknologisena kilpailuetuna voidaan pitää sitä, että monet fotoniikan komponentit, kuten valonlähteet ja valoilmaisimet, kehittyvät nopeasti ja niiden hinta laskee suurten valmistusmäärien vuoksi, esimerkkinä LED-valonlähteet ja digitaaliset kamerakennot. Fotoniikkaan

perustuvien mittausteknologioiden etuina on tyypillisesti nopeus, reagoimattomuus mitattavan näytteen kanssa sekä mahdollisuus tehdä mittaus etänä näytettä mekaanisesti koskematta.

Fotoniikalla tehtävien mittausten tuloksena on usein joko kuva tai spektri eli tieto siitä, kuinka valon eri värit vuorovaikuttavat näytteen kanssa. Myös kuvan ja spektrin yhdistävät niin kutsutut hyperspektraaliset tekniikat ovat jo paikoin arkipäivää. Esimerkiksi Geologian tutkimuskeskus ja Maanmittauslaitos käyttävät ja kehittävät hyperspektraalisia mittaustekniikoita [materiaalitutkat, 3D-kuvantaminen ja -paikannus (Linturi, 2018)] maaperän ja kasvillisuuden kartoittamiseen. Tyypillinen fotoniikkaa hyödyntävä mittaus tuottaa siis nopeasti paljon tietoa. Onkin nähtävissä, että suurten datamäärien (big data) käsittelyssä tekoäly ja koneoppiminen tulevat olemaan kiinteä osa monia fotoniikalla tehtäviä cleantech– ja ympäristömittauksia.

Fotoniikkaan pohjautuvat puhtaat ja ympäristöteknologiat ovat osana monen suuren yrityksen tuotteita ja liiketoimintaa Suomessa, kuten Vaisala Oyj, Valmet Oyj ja Outotec Oyj Oyj. Lisäksi on kasvava joukko pk-yrityksiä, joiden liiketoiminnan keskiössä fotoniikan innovaatiot ovat. Tällaisia ovat esimerkiksi ympäristön ja teollisuuden kaasumittalaitteita valmistavat Gasmet Oy ja Gasera Oy, jyvien laatua analysoiva GrainSense Oy, monipuolisiin materiaalianalyyseihin kykeneviä spektrometrejä valmistava Spectral Engines Oy sekä mineraalien ja biologisten näytteiden mittalaitteita kaupallistava Timegate Instruments Oy.

Menestystarina – Vaisala Oyj

Vaisala Oyj on yksi maailman johtavista ympäristön ja teollisuuden mittausratkaisuihin erikoistuneista cleantech-yrityksistä. Se on globaali markkina- ja teknologiajohtaja useilla sään ja ilmakehän havaintojärjestelmien sekä teollisuuden kaasumittausten osa-alueilla. Vaisala Oyj palvelee asiakkaita yli 150 maassa ja työllistää globaalisti noin 1 600 henkilöä. Fotoniikkaa hyödynnetään hyvin laajasti instrumentti- ja järjestelmätuotteissa. Erityisesti voidaan mainita

- tiesääasemien optiset mittaukset: näkyvyys, vallitseva sää ja tien pinnan tilan etämittaus (veden, jään ja lumen kerrospaksuudet ja pinnan tilaluokittelu)
- konenäköä hyödyntävä liikenneinfran kunnonvalvonta
- lentokenttien säähavaintojärjestelmät: näkyvyys, LiDAR-teknologiaan perustuva pilvenkorkeuden mittaus
- ilmanlaadun mittaukset: optinen pienhiukkasanturi, LiDAR-teknologiaan perustuva ilmakehän aerosoliprofiilien mittaus
- fotoniikkaa hyödyntävät teollisuuden kaasumittaukset.

Fotoniikkaan perustuvat mittaukset on määritelty yhdeksi Vaisalan ydinteknologioista. Esimerkiksi sellaiset erittäin nopeasti kehittyvät fotoniikan osa-alueet, kuten konenäkö, LiDAR ja IR-alueen valolähteet, tulevat mahdollistamaan aivan uudenlaisia mittausratkaisuja ja niillä nähdään olevan kasvava rooli Vaisalan tulevaisuuden liiketoiminnassa. Vastaavasti nähdään tärkeäksi panostaa vahvasti alan kotimaiseen tutkimukseen ja koulutukseen sekä tehostaa yritysten, tutkimuslaitosten ja yliopistojen yhteistyötä fotoniikan alalla.



Kuva 8: Vaisala Oyj:n Helideck –mittausjärjestelmän asentaminen käynnissä. Järjestelmä sisältää fotoniikkaan pohjautuvat pilvenkorkeusmittarin sekä näkyvyyden ja vallitsevan sään mittausanturit (Lähde: Vaisala Oyj)

Tulevaisuus

Ilmastonmuutos, ympäristön laatu sekä kestävä kaupungistuminen kuuluvat aikamme suurimpiin haasteisiin, joihin fotoniikkaan perustuvat cleantech-ratkaisut voivat vastata. Energiatehokas LED-valaistus on jo monin paikoin syrjäyttänyt perinteisempiä valaistustapoja. LED-valaistun viljelyn (Linturi, 2018) voi ennustaa kasvavan voimakkaasti alueilla, joilla auringonvaloa ei ole riittävästi saatavilla.

Ilmastomuutoksen johdosta vesi on tulevaisuudessa yhä kriittisempi resurssi ja eri alueiden menestystekijä. Voimistuvat sääilmiöt lisäävät paikallisesti sadantaa, mutta käyttökelpoisen talouskäyttöön soveltuvan veden määrä vähenee jatkuvasti. Vedenpuhdistuksen teknologiat nousevat niukkojen vesiresurssien hallinnassa merkittäviksi. Yhtenä mahdollisuutena ovat LED-valonlähteet, joiden tuottamalla ultraviolettivalolla ja sinisellä valolla voidaan poistaa ja vähentää taudinaiheuttajien määrää vedessä samaan tapaan kuin auringonvalo tekee luonnonvesissä. LED-teknologioiden etuna on hyvä hyötysuhde ja skaalautuvuus. LED-teknologiat soveltuvat sekä pienpuhdistamoihin että isompiin järjestelmiin. Fotoniikan hallinta on myös keskeinen osa kehitettäessä niin sanottuja itsestään puhtaana pysyviä pintoja, esimerkkinä ikkuna- ja maalipinnat.

Cleantech- ja ympäristömittausteknologioissa on nähtävissä kaksi trendiä:

- Kehitetään uusia jatkuva-aikaisesti ympäristön tilasta tietoa tuottavia mittausteknologioita ja -verkostoja korvaamaan nykyisiä, aikaa vieviä ja kustannuksiltaan korkeita laboratorioanalyysejä.
- Etsitään uusia mittausratkaisuja vastaamaan nimenomaan vedenlaadun kasvavaan jatkuva-aikaiseen seurantatarpeeseen.

Ympäristömittausten alueellinen kattavuus tulee laajenemaan tulevaisuudessa ja mittaustietoa saadaan jatkuva-aikaisesti ympäri vuorokauden vuoden jokaisena päivänä. Mahdollistavina teknologioina ovat ensinnäkin tarkemmat kenttäkelpoiset online-mittausasemat, mutta toisaalta myös edulliset,

pienikokoiset ja langattomasti tietoa välittävät uudet mittausanturit ja niiden muodostamat teollisen internetin (Internet of Things; IoT) verkostot. Tehokkaampi tiedonsiirto sekä kehittyneemmät mittaustiedon analyysitavat mahdollistavat sen, että hyvin eri tasoilta ja eri tavalla kerättyä tietoa voidaan hyödyntää ja lisäksi varmentaa näin saatujen tulosten laatu. Tietoa ympäristön tilasta voidaan esimerkiksi kerätä samanaikaisesti satelliittien avulla, paikallisemmin ilmassa helikopterien ja muiden drone-tyyppisten pienoisalusten ja vedessä pienoisvesialusten avulla sekä keräämällä paikallisinta kansalaishavaintotietoa mobiilisovelluksilla.

Seuraavien sukupolvien langattomat tiedonsiirtoverkot, kuten 5G, sallivat puolestaan ympäristömittausjärjestelmissä merkittävästi suurempien tietomäärien siirron, mikä mahdollistaa jatkuva-aikaisen kuva-, video- ja erilaisen moniulotteisen spektritiedon siirron nykyistä huomattavasti laajemmin. Valokuituihin perustuvissa tietoliikenteen runkoverkoissa fotoniikan keskeinen rooli säilyy.

Eri tasoilta kerättyä tietoa innovatiivisesti yhdistäen ja analysoiden saadaan aivan uudenlaista tilannekuvaa ympäristön laadusta. Eri tasoja ja tietolähteitä yhdistäen saadun tiedon alueelliseen peittoon ja yksityiskohtaisuuteen voidaan myös vaikuttaa. Valo mahdollistaa uudenlaisia etämittauksia satelliiteista ja pienoisaluksista sekä jatkuva-aikaisesti ympäristöä monitoroivista mittausasemista. Tilannekuvatarpeita ja sovellusalueita on paljon ja ne ovat moninaisia. Esimerkkeinä mainittakoon ilmastonmuutoksen seuranta, päästöonnettomuuksien nopeampi havaitseminen niin maalla, merellä kuin ilmassa, teollisuuden ja kaatopaikkojen ympäristövaikutusten mittaaminen, luonnollisen ja viljellyn maaperän ravinnetasapainon arviointi sekä eläinten ja kasvien vieraslajien leviämisen tarkkailu.

Suuret vettä käsittelevät toimijat hakevat kilpailuetua tarkemmasta sekä alueellisesti että ajallisesti kattavammasta vedenlaadun seurannasta. Uudenlaisilla mittaus- ja tiedonsiirtoverkostoilla voidaan joustavasti tuottaa tietoa kaupunkien vesi- ja sanitaatiojärjestelmien toiminnasta ja kunnosta. Uuden

informaation myötä on ryhdytty puhumaan älykkään veden käsitteestä (*smart water*). Yleisesti ottaen on nähtävissä laajempi trendi kehittää uutta teknologiaa, joka kykenee mittaamaan vedenlaatua jatkuva-aikaisesti. Ilmakehän mittauksissa saavutettua teknologian tasoa ja tietämystä on tavallaan ryhdytty kuromaan kiinni vedenlaadun seurannassa. Vedenlaadun jatkuva-aikaisessa mittauksessa on kuitenkin toistaiseksi vain raapaistu pintaa, sillä tutkittavaa ja kehitettävää riittää paljon.

Ajankohtainen esimerkki veden ja ympäristön laadun kasvavasta globaalista mittaustarpeesta on mikromuovien jatkuva-aikainen seuranta vesistöissä. Tällä hetkellä mikromuovien analysointi perustuu lähes yksinomaan näytteenottoon ja manuaalisesti laboratoriossa mikroskoopilla tehtävään vesinäytteen sisältämien mikromuovihiukkasten lajitteluun, tunnistamiseen ja pitoisuuden määrittämiseen. Jatkuva-aikaisen mittausteknologian kehitystarve mikromuoveille on ilmeinen ja joitakin lupaavia ideoita kansainvälinen tiedeyhteisö on jo tuonut esiin. Moni näistä ideoista pohjautuu fotoniikkaan.

Ympäristön vedenlaadun tutkimuksessa sekä mittausteknologioiden kaupallistamisessa on runsaasti kansainvälisiä liiketoimintamahdollisuuksia. Useissa maissa riittävän puhtaan veden saanti on hyvin nopeasti kasvava ongelma. Ongelman ratkaisemiseksi on ryhdytty kehittämään esimerkiksi kiertotalousratkaisuja, joissa veden laadun ja turvallisuuden jatkuva-aikaisen seurannan merkitys korostuu. Suomen yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa on käynnissä cleantech-hankkeita, joissa kehitetään uutta mittausteknologiaa muun muassa veden sisältämien alkuaineiden reaaliaikaiseen mittaukseen. Yksi viimeaikainen esimerkki kansainväliseen läpimurtoon tähtäävistä yrityksistä on Oulun yliopiston start-up yritys Sensmet Oy, joka kaupallistaa jatkuva-aikaisesti monia alkuaineita vedestä havaitsevaa, fotoniikkaan pohjautuvaa vesimittausteknologiaa.

Fotoniikkaan perustuvien jatkuvatoimisten menetelmien laatua ja luotettavuutta on pystyttävä jatkuvasti kehittämään, jotta ne saadaan kasvavassa määrin osaksi päätöksentekoa sekä yksityisellä että julkisella sektorilla. Luotettavuuden

kehittämiseksi tarvitaan systemaattisia toimenpiteitä kansallisesti ja kansainvälisesti.

Metrologinen jäljitettävyys SI-suureisiin on mittaustekniikassa keskeistä. Jatkuvatoimisten laitteiden tuottamien mittaustulosten lisäksi on käytännössä tiedettävä näiden mittausepävarmuus. Mittausepävarmuus pitää tuntea, jotta tiedetään, miten mittaustuloksia voidaan käyttää päätöksenteon eri tasoilla. Mittausepävarmuuden tunteminen on myös yksi kaupallisten mittalaitteiden ja mittauspalveluiden kulmakivistä. Suomen ympäristökeskus (SYKE) on kehittänyt ensimmäisenä maailmassa automaatiopohjaista teknologiaa jatkuvatoimisten järjestelmien mittausepävarmuuden määrittämiseksi. Uusien luotettavuutta kehittävien menetelmien pohjalta on odotettavissa, että jatkuvatoimisia mittausjärjestelmiä tullaan ottamaan käyttöön ja akkreditoimaan lähivuosina kasvavassa määrin. Luotettavuuden kehittäminen vaatii jatkuvasti uusia menetelmiä ja referenssiaineita myös kalibrointiprosesseihin. Tekoälyjärjestelmät ja koneoppiminen tuovat uusia mahdollisuuksia hallita tulevaisuudessa laajojen anturiverkkojen laatua ja luotettavuutta.

Laadun ja luotettavuuden parantamisessa vertailulaboratoriotoiminta on olennaisessa asemassa cleantech-sektorilla. SYKE toimii tällä hetkellä Ympäristöministeriön asettamana kansallisena ympäristöalan vertailulaboratoriona. Riippumattoman vertailulaboratoriotoiminnan voidaan nähdä olevan merkittävässä roolissa myös vienninedistämisen kannalta, sillä tuotettujen palveluiden avulla voidaan osoittaa esimerkiksi kehitettyjen cleantech-teknologiatuotteiden suorituskykyyn liittyviä väittämiä oikeiksi yhteistyössä akkreditoitujen teknologiasertifioijen kanssa.

Kansainvälinen hyväksyttävyys ja markkinoilla pärjääminen edellyttää tietoutta ja panostuksia myös standardisointityössä. Standardit ja sertifioinnit ovat yksi suurimmista pullonkauloista Suomen vientitoiminnassa (Haaparanta, 2017) Suomen tulisi lisätä merkittävästi yksityisen ja julkisen sektorin panostuksia kansainvälisessä standardisointityössä muun muassa eurooppalaisella (CEN) ja globaalilla (ISO) tasolla.

Suomen kilpailukyky

Suomi on tunnettu kyvystään kehittää korkean teknologian tuotteita. Taustalla on hyvätasoinen koulutus ja maan kokoon suhteutettuna yliopistot sekä tutkimuslaitokset ovat aktiivisia teknologian ja fotoniikan tutkijoita ja kehittäjiä. Suomen hyvä hallinto ja yhteiskunnan toimintojen luotettavuus ja läpinäkyvyys luovat erinomaiset lähtökohdat menestykselliseen kansainväliseen tutkimukseen ja liiketoimintaan. Haasteena on kuitenkin ideoiden muuntaminen kaupallistetuiksi, tuottaviksi tuotteiksi ja etenkin isoille kasvumarkkinoille siirtymisessä on jatkuvasti vaikeuksia. Yksi perussyy on kotimarkkinoiden pienuus. Ensimmäisen referenssiarvoltaan merkittävän asiakkaan saaminen on liiketoimintaprosessissa olennaisen tärkeää.

Kansainvälisessä kilpailussa menestyminen tulevaisuudessa edellyttää visionäärisyyttä sekä rohkeutta avata ja kokeilla uusia toimintatapoja ja ajatusmalleja. Suomessa tulisi kehittää yksityisen ja julkisen sektorin yhteisiä innovaatioekosysteemejä, joiden yksi tärkeä tavoite on luoda referenssihankkeita kasvavilla markkinoilla, kuten Kiinassa. Referenssihankkeissa on hyvä huomioida yhteistyö myös kohdemaan hallinnon kanssa. Referenssihankkeissa tulisi keskittyä erityisesti laatuun. On huomattu, että parhaiten globaalissa kilpailussa menestyvät yritykset panostavat innovointiin ja tuotteiden sekä palveluiden laatuun. Kansainvälisen tutkimuksen mukaan tuotteiden laatu vastaa 50–75% yritystason menestystekijöitä ja yli 90% yritysten myynnin kasvusta selittyy laatutekijöillä (Haaparanta, 2017) .

Suomen korkeatasoista osaamista tulisi hyödyntää poikkitieteellisesti ja entistä ennakkoluulottomammin siten, että asiakastarpeeseen voidaan vastata paremmilla kokonaispalvelukonsepteilla. Esimerkiksi ICT- ja muotoiluosaamista voisi valjastaa monipuolisemmin välttämään monin paikoin innovaatioiden liikaa teknologialähtöisyyttä, joka saattaa rajoittaa hyödynnettävissä olevaa liiketoimintapotentiaalia.

2.3. Digitalisaatio

2.3.1 Tietoliikenne ja laskenta

Sovellukset tänään

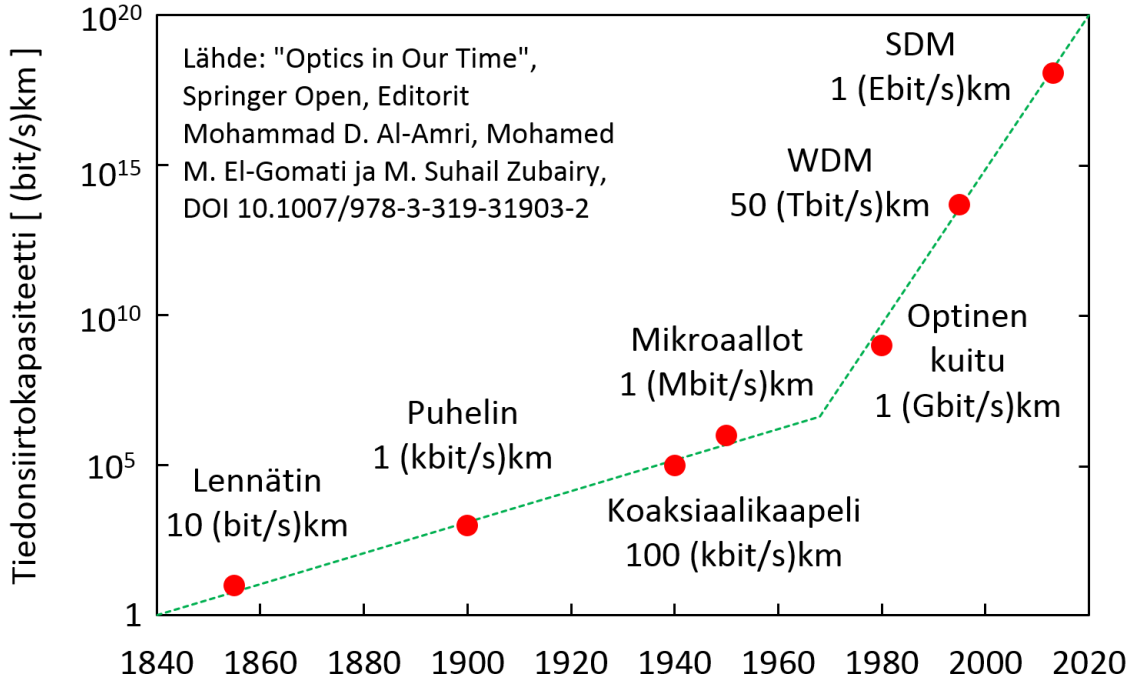
Ihmiskunta on käyttänyt valoa tiedon välittämiseen jo tuhansia vuosia. Merkkitulet, merkkiliput, peilit, majakat ynnä muut sellaiset ovat mahdollistaneet hyvin yksinkertaisten viestien lähettämisen nopeasti ja kauas. Tällä hetkellä **kuituoptinen tiedonsiirtoverkko** ulottuu ympäri maapallon ja toimii modernin sivilisaation ja digitaalisen yhteiskunnan perustana. Se vaikuttaa lähes kaikkeen yhteiskunnan toimintaan ja mahdollistaa niin internetin kuin matkapuhelinverkotkin.

Optisen kuituverkon toiminnan pohjana on kolme keskeistä keksintöä. **Laserin** (1960) avulla optisia signaaleja voidaan muodostaa energiatehokkaasti. Pienihäviöinen **optinen kuitu** (1979) mahdollistaa signaalien siirtämisen pitkiä matkoja. Etu sähköisiin kaapeleihin verrattuna on sitä suurempi, mitä pidempi on siirtomatka ja mitä suurempi on tiedonsiirtonopeus (bittiä per sekunti). Teknologian kehittyessä tiedonsiirtonopeudet kasvavat ja optinen tiedonsiirto korvaa sähköistä tiedonsiirtoa yhä lyhyemmillä etäisyyksillä. Kvartsista valmistetun optisen kuidun vaimennus on pienintä lähi-infrapuna-alueella, joten optisessa tiedonsiirrossa käytetään yleisimmin ~850 nm, ~1.3 µm ja ~1.55 µm aallonpituusalueita. Silloin 100 km pitkän kuidun läpi pääsee noin 1% valotehosta, mikä riittää nopeidenkin signaalien vastaanottamiseen. Kolmas keskeinen keksintö on **kuituoptinen vahvistin** (1987), jonka avulla kuidussa vaimentunut optinen signaali voidaan vahvistaa ilman sen muuttamista välillä sähköiseen muotoon. Sen ansiosta tietoa voidaan siirtää valon nopeudella jopa valtamerten ali.

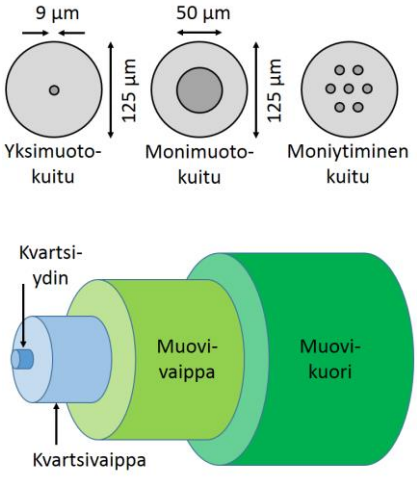
Optisessa tiedonsiirrossa hyödynnetään monia muitakin tärkeitä teknologioita. Valon kirkkautta ja vaihetta voidaan muuttaa erillisillä modulaattoreilla, mikä mahdollistaa laserin suoraa modulointia suuremman tiedonsiirtonopeuden ja

tehokkaamman aallonpituusspektrin hyödyntämisen. Optisia signaaleja yhdistetään ja erotetaan erilaisilla aallonpituus- ja polarisaatiosuodattimilla sekä reititetään optisilla kytkimillä. Takaisinheijastusten haitat estetään polarisaation kiertoon perustuvilla optisilla isolaattoreilla (eristimillä). Vastaanotossa optiset signaalit muutetaan nopeilla valonilmaisimilla takaisin sähköiseen muotoon. Kvanttioptiikassa käytetään laitteita, joilla voidaan tuottaa ja havaita myös yksittäisiä fotoneita. Niiden avulla voidaan luoda optinen kuitulinkki, jota on mahdoton salakuunnella ilman paljastumista. Tämä mahdollistaa tavallisessa optissa tiedonsiirrossa käytettyjen pitkien salausavainten turvallisen siirtämisen esimerkiksi eri pankkien tai viranomaisten välillä. Toisaalta kvanttifotoniikkaa voi käyttää myös haastavien laskentatehtävien ratkaisemiseen niin, että kaikki ratkaisuvaihtoehdot (esimerkiksi salausavaimet) käydään läpi rinnakkain fotonien kvanttimekaanisten ominaisuuksien avulla.

Tiedonsiirtokyvyn kehittyminen vuodesta 1840 alkaen on esitetty kuvassa (Kuva 9). 1960-luvulle asti tiedonsiirto perustui sähköisiin menetelmiin (lennätin, puhelin ja niin edelleen). Kuituoptiikan käyttöönotto 1970-luvulla aiheutti selvän muutoksen tiedonsiirtokyvyn kasvussa. Kuituoptisen tiedonsiirron nopeutta on lisätty käyttämällä yhä nopeampaa modulaatiotaajuutta, yhä useampia bittejä kerrallaan siirtäviä modulaatiomenetelmiä ja aallonpituusjaotteista tiedonsiirtoa (WDM), missä "eriväriset" optiset signaalit yhdistetään kulkemaan samassa kuidussa. Lyhyillä matkoilla on perinteisesti käytetty suuriytimisiä monimuotokuituja ja pidemmillä etäisyyksillä pieniytimisiä yksimuotokuituja, joissa optiset signaalit "mahtuvat" kulkemaan vain yhdellä aaltomuodolla eivätkä pitkälläkään matkalla sekoitu keskenään. Viime vuosina on yleistynyt rinnakkainen optinen tiedonsiirto (SDM), missä valo kulkee useammassa rinnakkaisessa kuidussa tai saman kuidun rinnakkaisissa kuituytimissä.



Kuva 9: Tiedonsiirtokyvyn (tiedonsiirtonopeus kerrottuna etäisyydellä) kasvu 1840-2020 esitettynä logaritmisella asteikolla, jossa suora viiva vastaa eksponentiaalista kasvua (Lähde:Timo Aalto, VTT)



Kuva 10: Optisen kuidun rakenne ja eri tyypit (Lähde: Timo Aalto, VTT)

Tiedonsiirtonopeuden kasvattaminen edellyttää yhä monimutkaisempia optisia ja sähköisiä komponentteja optisten signaalien muodostamiseen ja vastaanottamiseen. Suorituskyvyn kasvattamiseksi sekä moduulien koon ja hinnan pitämiseksi tarpeeksi pienenä on viime vuosina yleistynyt näiden

komponenttien yhdistäminen integroiduiksi optisiksi ja sähköisiksi piireiksi pienille puolijohdesiruille. Tämä on erityisen tärkeää datakeskuksissa ja lähelle loppukäyttäjää tulevassa kuituverkon päässä, missä optisia päätelaitteita tarvitaan paljon, ja missä hintapaine on huomattavasti suurempi kuin runkoverkoissa, joissa kustannukset jakautuvat suuren käyttäjämäärän kesken.

Optinen kuituverkko on asteittain korvannut sähköisiä tiedonsiirtokaapeleita ja se ulottuu yhä useampiin kiinteistöihin ja asuntoihin asti. Sen etuna sähköisiin ratkaisuihin verrattuna on keveys, suuri tiedonsiirtokapasiteetti (myös tulevaisuuden tarpeita ajatellen), parempi tietoturva, energiatehokkuus ja epäherkkyys ylikuulumiselle sekä sähkömagneettisille häiriöille. Rajoituksina ovat korkeampi hinta ja vaikeampi käsiteltävyys (rajoitettu taivuteltavuus, optiset erikoisliittimet). Kaikesta maailmanlaajuisesta tiedonsiirrosta yhä suurempi osa tapahtuu datakeskusten sisällä ja välillä, joten datakeskusten tarpeet ohjaavat vahvasti optisen tietoliikenteen kehitystä.

Matkapuhelinverkko on radiotaajuuksilla toimiva tietoliikenneverkko, jossa tukiasemat käyttävät radioaaltoja tiedonsiirtoon langattomien laitteiden kanssa. Sen toimintaedellytyksenä on tukiasemat toisiinsa ja internetin runkoverkkoon yhdistävä optinen kuituverkko, jonka suorituskyvyn täytyy kasvaa samaa tahtia langattoman tiedonsiirron kanssa. Matkapuhelinverkkoa varten tarvitaan myös sitä varten räätälöityjä datakeskuksia ja niiden sisälle paljon paikallisia optisia kuitulinkkejä.

Suomi on yksi edelläkävijöistä sekä optisen että langattoman tietoliikenteen kehittämisessä ja hyödyntämisessä. Suomessa on kehitetty maailman parhaimpiin kuuluvia optisia kuituja, lasereita, optisia piirejä yms. optisen tiedonsiirron komponentteja. Täällä on myös sovellettu aktiivisesti optista tiedonsiirtoa runkoverkoissa, paikallisissa optisissa verkoissa, datakeskuksissa ja langattoman verkon tukena. Muutamia esimerkkejä alan yrityksistä ja kehittäjistä on alla.

Kotimaisella Cinia Oy:llä on Suomessa noin 13 000 kilometrin kuituverkko, minkä lisäksi se tarjoaa ratkaisuja paikallisiin optisiin siirtoverkkoihin. Teleste Oyj (Turku) tarjoaa sekä käyttövalmiita verkkoratkaisuja että erilaisia tuotteita ja palveluita ja optisten verkkojen rakentamiseen, huoltoon ja kehittämiseen. Nestor Cables Oy (Oulu) myy valokaapeleita ja Rosendahl Nextrom Oy (Vantaa) optisten kuitujen ja kaapeleiden valmistuslaitteita. Optisella tiedonsiirrolla on luonnollisesti keskeinen rooli kaikkien Suomessa toimivien verkko-operaattoreiden ja muun muassa Nokian toiminnassa. Kaikki edellä mainitut esimerkkiyritykset tekevät optiseen tietoliikenteeseen liittyvää kehitystyötä ja valmistusta Suomessa. Rockley Photonics Oy (Espoo) puolestaan kehittää integroituja optisia piirejä useisiin eri sovelluksiin. VTT Oy (Micronova, Espoo) on kehittänyt piifotoniikkaa sekä siihen perustuvia integroituja optisia piirejä ja Tampereen teknillinen yliopisto yhdistepuolijohteisiin perustuvaa optoelektroniikkaa ja lasereita, kummatkin jo yli 20 vuotta. Viime vuosina näitä on pyritty yhdistämään optisen tietoliikenteen tarpeisiin yhteistyössä yritysten kanssa. Optiseen tietoliikenteeseen liittyvää opetusta ja tutkimusta tehdään myös Oulun yliopistossa ja UEF:ssa sekä Aalto-yliopistossa.

Tulevaisuus

Optisen tietoliikenteen merkitys jatkaa kasvamistaan tulevaisuudessa, sillä se on ainoa tapa tarjota jatkuvasti kasvavaa tiedonsiirtokapasiteettia digitalisoituvan yhteiskunnan tarpeisiin. Digitalisaatio ja globalisaatio ovat ne megatrendit, jotka tuottavat suurimman ja suorimman tarpeen optisen tietoliikenteen jatkokehittämiseen ja jotka suoraan perustuvat sen aiempaan kehitykseen. Tiedonsiirron lisäksi fotoniikkaa voi tulevaisuudessa käyttää myös optiseen laskentaan. Optinen tietoliikenne ja laskenta liittyvät useisiin Linturin ja Kuusen (Linturi, 2018) määrittelemiin teknologiakoreihin, joihin seuraavassa viitataan niiden TKID-tunnistenumeroilla.

Kuituoptisen tiedonsiirtokapasiteetin tuleva kasvu perustuu muun muassa optisten lähetin- ja vastaanotinpiirien kehittymiseen (TKID 7), missä plasmoniikka ja muut uudet fotonien manipulointimenetelmät (TKID 9) sekä radikaalit

elektroniikkamateriaalit (TKID 25) voivat osoittautua tärkeiksi. Muiden modulointiteknologioiden lähestyessä teoreettista tiedonsiirron maksimikapasiteettia nousee yhdeksi vaihtoehdoksi fotonien ratapyörimismäärän modulointi. Fotonilla voi teoriassa olla ääretön määrä ratapyörimismäärän eri arvoja, joten yksi fotoni voi periaatteessa kuljettaa äärettömän määrän tietoa. Tämä menetelmä ei ikävä kyllä toimi yksimuotokuiduissa, jotka ovat tällä hetkellä nopean tiedonsiirron perusta. Onkin todennäköistä, että tiedonsiirron kapasiteettia tullaan lisäämään käyttämällä yhä suurempaa määrää rinnakkaisia, yksimuotoisia tiedonsiirtoväyliä. Sekä tiedonsiirron nopeutuminen että rinnakkaistuminen tukee fotoniikan integrointia optisiksi piireiksi, joka tulee yleistymään samaan tapaan kuin mikroelektroniikassa tapahtui jo vuosikymmeniä sitten. Samalla yleistyy signaalien optinen reititys verkon solmupisteissä, joissa optisten signaalien muuttaminen sähköiseen muotoon aiheuttaa nyt viivettä, tehonkulutusta ja kustannuksia. Optisten piirien monimutkaistumista rajoittaa valokanavien vaimennus sekä tekniset haasteet valonlähteiden ja isolaattoreiden (valoa vain yhteen suuntaan päästävä rakenne) integroinnissa piisiruille.

Kvanttitietokoneet ja kvanttikommunikaatio (TKID 24) luovat uusia tarpeita hyvin pienihäviöiselle ja nopealle optiselle tiedonsiirrolle ja samalla mahdollistavat fotoniikan käytön laskentatehon radikaaliin kasvattamiseen (TKID 26) sekä salattuun ja anonyymiin tietoliikenteeseen (TKID 89). Maailmalla on jo useita yrityksiä, jotka kehittävät kvanttioptiikkaan ja kvanttielektroniikkaan perustuvia tietokoneita. Niitä voidaan hyödyntää paljon laskentatehoa vaativissa tehtävissä, kuten säämallien ja -ennusteiden laatimisessa. Mutta ne voivat myös mahdollistaa nyt äärimmäisen turvallisena pidettyjen salausalgoritmien murtamisen. Toisaalta kvanttioptinen tiedonsiirto mahdollistaa yhä pidempien salausavainten turvallisen siirtämisen ja sitä kautta kriittisen tärkeiden viestien salauksen. Kaikki tiedonsiirto ja laskenta ei jatkossakaan tule perustumaan kvanttioptiikkaan, sillä yksittäisistä fotoneista vain pieni osa pystytään siirtämään pitkiä matkoja optisessa kuidussa tai piirissä. Suuret data määrät tullaan jatkossakin siirtämään perinteisessä kuituverkossa, joka sekin on paljon sähköisiä verkkoja paremmin suojattu salakuuntelulta. Optista laskentaakin

voidaan jossain määrin tehdä hyödyntämällä pelkästään valon normaalia aaltoliikettä ja siihen liittyvää interferenssi-ilmiötä tai muita perinteisiä optisia ilmiöitä (He Yang, 2018).

Fotoniikalla on myös keskeinen rooli globaalin langattoman laajakaistan (TKID 94) toteuttamisessa. Perinteisen kuituoptisen tiedonsiirron rinnalle kehittyy ensin ledeihin ja myöhemmin lasereihin perustuvia langattomia LiFi-verkkoja (TKID 8), jotka soveltuvat etenkin lyhyen kantaman nopeaan tiedonsiirtoon esimerkiksi kodin tai toimiston sisällä. Optisia linkkejä ja verkkoja tullaan käyttämään yhä enemmän myös pienten ja kannettavien laitteiden sisällä ilman, että niitä aina kytketään mihinkään ulkoiseen optiseen verkkoon.

Optisen tiedonsiirron ja laskennan kehitys synnyttää epäsuoria vaikutuksia lähes kaikille elämän aloille ja vaikuttaa suunnattomasti muiden teknologioiden kehitykseen ja hyödynnettävyyteen. Seuraavien 31 teknologiakorin mahdollistavana tekijänä on optinen tiedonsiirto, jonka jatkokehitys on myös niiden kehityksen kannalta tärkeää: TKID 6, 11-16, 18-23, 40-42, 44, 85-88, 90-93, 95-100.

Merkitys Suomen kilpailukyvylle

Vuonna 2017 julkaistun Fotoniikan kansallisen toimialaselvityksen (Photonics Finland, 2016) perusteella optisen tietoliikenteen osuus Suomen kaupallisesta fotoniikkaliiketoiminnasta on vielä toistaiseksi pieni (2%). Tutkimuksen osalta osuus on hieman suurempi (6%), mikä ennakoi tulevaa kasvua myös liiketoimintaan. Tässä ei ole huomioitu optisen tietoliikenneteknologian epäsuoraa vaikutusta esimerkiksi verkko-operaattoreiden toimintaan vaan ainoastaan optisten tietoliikennetuotteiden myynti ja kehittäminen. Tällaisia tuotteita (kuidut, optiset päätelaitteet ynnä muut sellaiset) hyödynnetään laajasti kotimaisissa tietoliikennejärjestelmissä ja -verkoissa, mutta niistä suurin osa ostetaan nyt ulkomailta. Optisen tiedonsiirron merkityksen yhä kasvaessa myös Suomessa olisi hyvä olla siihen liittyvien komponenttien tutkimusta, kehitystä, valmistusta ja myyntiä. Se tekisi Suomesta houkuttelevamman paikan

globaaleille tietoliikenneyhteyksille, datakeskuksille ja niiden mahdollistamalle digitaaliselle liiketoiminnalle. Joidenkin komponenttien osalta Suomessa on jo ainutlaatuista osaamista ja mahdollisuuksia merkittävään uuteen liiketoimintaan. Kilpailukyky kansainvälisillä markkinoilla tulee yhä enemmän pohjautumaan nopeisiin ja luotettaviin tietoliikenneyhteyksiin eikä fyysisiin liikenneväyliin. Siksi optinen tietoliikenne on ja tulee olemaan kriittinen menestystekijä Suomelle. Kvanttitietokoneiden ja kvanttioptisten tiedonsiirtolinkkien yleistyessä myös näiden teknologioiden hallinta voi osoittautua kriittisen tärkeäksi kansalliseksi resurssiksi niin kilpailukyvyn kuin turvallisuudenkin kannalta.

Merkitys Suomen yhteiskunnalle

Kuituoptinen tiedonsiirto on nykyisen digitaalisen yhteiskunnan perusta. Ilman sitä ei olisi internettiä, datakeskuksia, videopuheluita, teräväpiirtotelevisioita eikä matkapuhelinverkkoja. Tulevaisuudessa sen merkitys kasvaa vielä huomattavasti nykyistä suuremmaksi, sillä vain sen avulla voidaan toteuttaa suurten datamäärien käsittely (Big Data), esineiden internet, älykäs kaupunki, lisätty todellisuus, itseohjautuvat kulkuneuvot, yksilöllinen terveydenhuolto, itsediagnostiikka ja monet muut tulevaisuuden teknologiat. Ne kaikki kasvattavat tarvittavaa tiedonsiirtomäärää ja sitä kautta edellyttävät uuden teknologian kehittämistä myös optiseen tietoliikenteeseen. Optinen tietoliikenne on kuitenkin piilossa sen mahdollistamien palveluiden käyttäjiltä, koska optisen kuituverkon ja käyttäjän välissä on yleensä sähköinen rajapinta (tietokone, älypuhelin tai muut sellaiset). Siksi siihen saatetaan kiinnittää huomio vasta sitten, kun se ei toimi. Laajat häiriöt ja salauksen pettäminen optisissa tietoliikenneverkoissa voivat tulevaisuudessa lamauttaa koko yhteiskunnan, joten niihin on varauduttava jo nyt.

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet

Suomen fyysinen, ilmastollinen ja geopoliittinen sijainti avaa mahdollisuuksia globaalin kuituverkon solmukohtien ja siihen linkittyvien datakeskusten

sijoittamiseen Suomeen. Suomesta on jo rakennettu hyvät kuitukaapeliyhteydet muuhun Eurooppaan, ja nyt Arctic Connect -hankkeessa selvitetään mahdollisuutta rakentaa digitaalinen silta Euroopan ja Aasian välille Koillisväylän kautta.

Teknologian kannalta Suomen vahvuutena on kansainvälisesti kilpailukykyinen osaaminen muun muassa optisessa kuituteknologiassa, piifotoniikassa (optiset piirit), yhdistepuolijohteisiin perustuvassa optoelektroniikassa (laserit), kvanttioptiikassa ja tietoliikenneverkkoteknologiassa Näitä osaamisia yhdistämällä ja vahvistamalla voidaan kasvattaa omavaraisuutta ja riippumattomuutta optisessa tiedonsiirrossa sekä mahdollisesti rakentaa uutta kilpailukykyä optisessa laskennassa. Näillä yhteiskunnan kannalta kriittisen tärkeillä teknologioilla voidaan samalla luoda uutta liiketoimintaa globaaleilla markkinoilla. Kotimaisessa osaamisessa on tällä hetkellä aukkoja muun muassa komponenttiteknologian ja verkkoteknologian rajapinnassa, johon tulisi rakentaa uusia osaamissiltoja eri organisaatioiden ja osaamisten välille. Se tukisi vahvojen ekosysteemien kehittymistä skaalautuvaan komponenttituotantoon, fotoniikan tieteelliseen tutkimukseen, kaupallisten tietoliikenneverkkojen kehittämiseen ja tietoliikenteen mahdollistamien digitaalisten palvelujen ja sovellusten kaupallistamiseen.

2.3.2 Näytöt ja niiden mittaus t&k:ssa ja tuotannossa

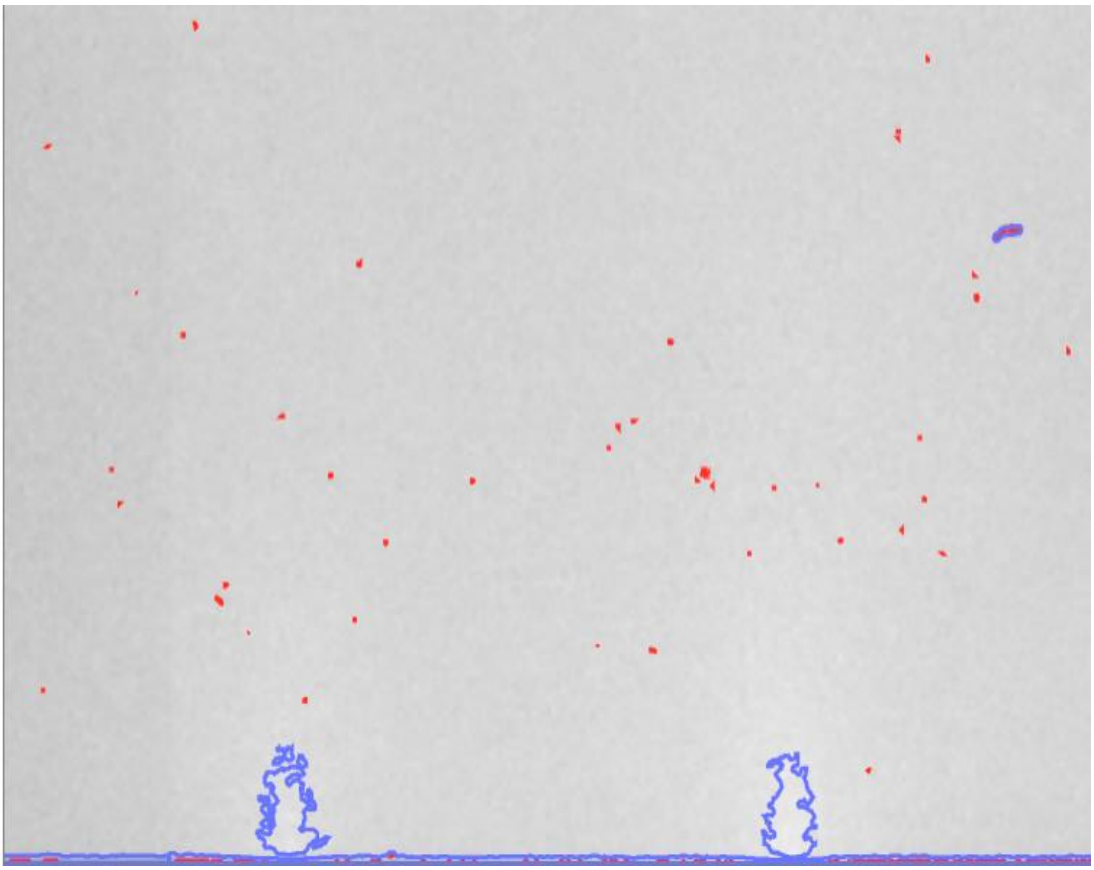
Sovellukset tänään

Näytöt ovat oleellinen osa *human machine interface (HMI)* –käyttöliittymää, kaikille tuttuja muun muassa televisioista, tietokoneista, kännyköistä ja laitteiden ohjauspaneeleista. Kasvava merkitys nähdään etenkin autojen käyttöliittymänä (esimerkkinä mittaristot, jotka vähitellen korvautuvat kokonaan digitaalisella näytöillä). Autojen keskinäytöt jatkavat kasvamistaan, ja lisäksi jotkin autovalmistajat laittavat erillisiä lisänäyttöjä keskikonsoliin sekä takamatkustajien käyttöön. Sivu- ja taustapeilejä korvataan kameroilla ja näytöillä, tuulilasinäytöt kehittyvät vähitellen lisätyn todellisuuden näytöiksi.

Näyttöjä on kautta aikain mitattu tuotekehityksessä fotoniikan keinoin. Mitattavia suureita ovat muun muassa kirkkaus, kontrasti, katselukulma, tasaisuus (uniformity) ja väriavaruus. Lisäksi pikseli- ja rivi/sarakevirheet, valovuodot sekä mura-virheet (https://support.elotouch.com/TechnicalSupport/mura/) saadaan kiinni fotoniikan keinoin. Tuotannossa näytöistä etsitään erityisesti näitä virheitä, jotka ovat voineet aiheutua näytön tuotantoprosessista tai näyttöjen käsittelystä, joskin mitattavia parametreja on huomattavasti vähemmän kuin tuotekehityksessä. Lisäksi näytöissä esiintyy dynaamisia ilmiöitä, kuten välkkymistä (https://www.optofidelity.com/test-solutions/production-testing/display-testing).

Näyttöjen muoto on alkanut vähitellen muuttua tasomaisesta suorakaiteesta monipuolisemmaksi. Matkapuhelimiin on vähitellen ilmaantunut kaarevia muotoja ja älykelloissa on täysin pyöreitä näyttöjä. Erityisesti autojen tuleva näyttöteknologia tulee muokkaamaan käsitystämme näytöistä. Epäsymmetrinen, mielivaltainen 3D-muoto asettaa lisäksi uusia vaatimuksia testausteknologialle.

Näyttöjen kalibrointi ja ”tuunaus” ovat yleistyneet etenkin OLED-teknologian myötä. Valmistusprosessista, ja osin tiiviimmin pakatun mekaniikan ongelmista johtuen näyttöyksilöissä on laadullisia eroja, joita voidaan tiettyyn rajaan asti kompensoida ohjelmallisesti. Esimerkiksi mura-virheitä, jotka ovat näytössä havaittavia paikallisia tummentumia/vaalentumia, voidaan häivyttää ohjaamalla tummentuman kohdalla olevia pikseleitä eri tavalla kuin näytön muita pikseleitä. Tätä kutsutaan ”demura” –toimenpiteeksi (https://www.radiantvisionsystems.com/learn/tech-notes/automated-visual-inspection-and-correction-demura-oled-displays). Mura-virheiden syntyperä on hyvin vaihteleva ja riippuvainen eri näyttöteknologioista. Ne voivat johtua yksittäisten pikseleiden toimimattomuudesta, lämpötilasta, kontaminaatiosta (epäpuhtauksista kerrosten välissä) tai jopa mekaanisesta ongelmasta: joskus jokin komponentti tai laitteen osa voi painaa näyttömoduulia takaosastaan niin, että näyttöön syntyy näkyvä paikallinen kirkkausvaihtelu.



Kuva 11: Näytöntarkastuksen tuloskuva. Punaisella korostetut virheet ovat pieniä pistemäisiä alueita, sinisellä korostetut mura-tyyppisiä vaalentumia. (Lähde OptoFidelity Oy)

Värikalibroinnilla halutaan saada näytöt esittämään kuvaa mahdollisimman luonnollisena ja samanlaisena eri laitteiden välillä. Kalibrointia tehdään jo kalliimman hintaluokan laitteille (TV, tietokone, puhelimet) valmistajien toimesta, ja se on tulossa osaksi myös halvemman hintaluokan kännyköiden, tablettien ja tietokoneiden näyttöjä, kuten olemme jo nähneet tapahtuvan televisioiden kanssa (https://www.power.fi/palvelutuotteet/television-kalibrointi/?gclid=CjwKCAjwkYDbBRB6EiwAR0T_-ipi5hy13aU319f_O4cjwUzJj4WVNr4nvXenDGeAcJlhTN_1NYiG4hoCHdgQAvD_BwE).

Kalibrointia tulee edellyttämään muun muassa lisääntyvä verkkokauppa, jossa tuotteen värin täsmällinen valinta vaatii näytöltä tarkkaa väritoistoa. Pistemäiseen mittaukseen riittää yksinkertainen spektrografi, mutta kattavammassa

värikalibroinnissa tarvittava mittalaite on spektrikamera. (http://www.specim.fi/hyperspectral-cameras).

Lisätyn todellisuuden (AR) verkkokauppasovellukset tulevat vaatimaan koko kuvantamisketjun värintoistolta hyvää tarkkuutta. Kuluttaja voi lähitulevaisuudessa tutkia tablettitietokoneen ja AR-sovelluksen avulla, miten hyvin esimerkiksi uusi huonekalu sopisi kodin värimaailmaan. Tällöin sekä huonetta kuvaavan kameran että tablettitietokoneen näytön tulee prosessoida värit siten, että ohjelmallisesti lisätty huonekalu vastaisi mahdollisimman hyvin todellisuutta. Fotoniikka näyttelee hyvin tärkeää roolia kuvantamisketjun varmistamisessa.

Niin sanotut *near-eye*–näytöt, joita käytetään virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden sovelluksissa, nostavat fotoniikan merkityksen uudelle tasolle. Kyseisissä näytöissä lisäoptiikan osuus on merkittävä. Lisäoptiikalla saadaan silmä tarkentamaan lyhyen etäisyyden päässä sijaitsevaan näyttöön. Lisäoptiikan tuomat optiset vääristymät pitää korjata ohjelmallisesti. Lisäoptiikalla on muitakin haittapuolia; näytön viat tulevat korostetusti esille, kun sitä katsotaan ikään kuin suurennuslasin läpi. (https://www.roadtovr.com/whats-the-difference-between-screen-door-effect-sde-mura-aliasing-vr-headset/). Lisäoptiikka voi olla myös kaksi näyttöä yhdistävä, kuten Varjo Technologies:n ”bionisissa” VR-laseissa (https://varjo.com/bionic-display).

AR-näyttö (https://www.dispelix.com) on erinomainen esimerkki, koska se itsessään sisältää erittäin vaativaa fotoniikkaa näytön/projektorin sekä optisten komponenttien (valojohde, hila yms) muodossa. Lisäksi AR-näytön kehitys sekä tuotanto vaativat fotoniikkaan perustuvia mittaus- ja kalibrointilaitteita. Kehityksen yhteydessä on tarve muun muassa valita ja validoida komponentteja. Tuotannon yhteydessä komponentteja pitää usein sovittaa toisiinsa optisesti, etsiä optimaalisia komponenttipareja sekä varmistua valmistuksessa käytettyjen muottien laadusta. Fotoniikkaan perustuvat ratkaisut ovat laajalti käytössä edellä mainituissa tehtävissä.

Tulevaisuus

Tekoäly ja algoritminen päättely. Kappaleiden helppo 3D-kuvantaminen. Erityisesti matkapuhelimissa, tableteissa sekä ajoneuvoissa näyttöön integroitava, tyypillisesti kuvantava 3D-sensori on oleellinen työkalu muun muassa biometrisessa tunnistuksessa (esimerkiksi kasvonpiirteet), VR-sisällön tuottamisessa (esimerkiksi 3D-emojit) sekä eleohjauksessa.

Havaintojenkäsittelyn digitalisaatio. Älylasit, AR-lasit ja laajennettu todellisuus. Historiaan katsottaessa, Nokialla oli suuri merkitys Microsoftin HoloLensen kehityksessä. Perustana olevaa teknologiaa kehitettiin hyvin suurella todennäköisyydellä Nokia Research Center https://www.kguttag.com/2016/10/27/armr-combiners-part-2-hololens/. Tässä yhteydessä syntyi merkittävää suomalaista fotoniikan osaamista, josta osa on toki siirtynyt Microsoftille tai muille ulkomaisille yrityksille muodossa tai toisessa. Näyttö-fotoniikan alueella toimii Suomessa muutamia yrityksiä sekä yksittäisiä konsultteja. Esimerkkinä

- Dispelix Oy (kehittää lisätyn todellisuuden näyttöteknologiaa)
- Varjo Technologies Oy (kehittää ihmissilmän tarkkuuteen yltävää ”bionista” VR-silmikkoa)
- Specim Oy (värimittaus-ratkaisuja, soveltuvat myös näyttöjen mittaamiseen)
- OptoFidelity Oy (näyttöjen sekä niihin liittyvien optisten komponenttien mittaus, testaus- ja kalibrointiratkaisut)

Liikenne, liikkuminen ja logistiikka. Robottiauto henkilö- ja tavaraliikenteessä. On olemassa tarve kommunikoida kuljettamattoman ajoneuvon ja sen läheisyydessä liikkuvan ihmisen välillä. Ihminen tarvitsee vahvistuksen siitä, että ajoneuvo on havainnut hänet, ja esimerkiksi kadun ylittäminen on turvallista. Ajoneuvoon integroitu näyttö on osa tarvittavaa audiovisuaalista ratkaisua.

Merkitys Suomen kilpailukyvylle

Näyttötekniikkaan liittyvän fotoniikan tietotaidon lisääntymisellä on positiivinen vaikutus yritysten taloudelliselle kilpailukyvylle. Joillekin yrityksille merkitys on suorastaan kriittinen, tietotaidon olemassaolo saattaa olla elinehto. Näyttöjen raju lisääntyminen eri käyttökohteissa sekä optisen ympäristön mittauksen ja havainnoinnin integroituminen näyttöteknologiaan vaativat runsaasti tietotaitoa ja määrällisesti paljon osaajia.

Merkitys Suomen yhteiskunnalle

Taloudellisen kilpailukyvyn kasvu lisää työpaikkoja, joilla taasen on suuri merkitys yhteiskunnalle. On aina haastavaa yrittää ennustaa alaa, jolle tulisi suunnata muun muassa koulutusresursseja. Mutta data-analytiikan sekä keinoälyn ohella fotoniikan tulevaisuus vaikuttaa hyvin suotuisalta.

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet

Panostamalla fotoniikan kehitykseen sekä koulutukseen eri tavoin, Suomella on mahdollisuus varmistaa asema maailman johtavana näyttö-fotoniikan teknologia-osaajana. Näyttö ja optiset sensorit tulevat jatkossa integroitumaan entistä tiiviimmin. Suuntaa on näyttänyt kosketus- sekä sormenjälkisensorien integroituminen näyttömoduulien kanssa. Käyttöliittymäkehityksessä on paineita saada 3D-mittaus ja kuvantaminen saumattomaksi osaksi näyttöjä. VR/AR-teknologia, esimerkiksi HoloLens, on erinomainen esimerkki monimutkaisesta näyttöjen, optiikan ja optisten sensorien fuusiosta, jonka kehityksessä fotoniikan tuntemus on välttämätöntä.

Suuret kansainväliset yritykset, esimerkiksi Apple, Facebook (Oculus), Google (Magic Leap), Microsoft, Amazon, Huawei ja Alibaba, tulevat tarvitsemaan runsaasti resursseja, kun ne kehittävät uusia näyttö/sensoriteknologioita. Kokonaisuutena puhutaan tuhansista osaajista, satojen miljoonien eurojen

panostuksesta. Ei ole poissuljettua, että kyseiset yritykset perustaisivat erityisiä osaamiskeskuksia otolliselle maaperälle. Itse asiassa Israel on onnistunut luomaan otollista maaperää teknologiajäteille.

Suomalaiset start-up yritykset, joista esimerkkiä ovat näyttäneet muun muassa Dispelix Oy ja Varjo Technologies Oy, ovat vahvan osaamispohjan avulla kykeneväisiä kehittämään paketoituja AR/VR-ratkaisuja, joiden avulla muut yritykset voivat nopeuttaa omien ratkaisujensa markkinoille tuloa.

2.4. Hyvinvointi ja terveys

Sovellukset tänään

Sähkömagneettinen säteily lyhytaaltoisesta röntgen- ja ultraviolettivalosta näkyvään ja infrapunavaloon on ollut eri muodoissaan lääketieteen ja terveydenhuollon apuna jo pitkään. Auringon ja luonnon yrttien parantava vaikutus erilaisiin tulehduksiin ja ihosairauksiin tunnettiin jo muinaisessa Egyptissä. Nykyään tunnetuimmat sovellukset liittyvät valaisun, kuvantamisen ja laser-kirurgian lisäksi silmälaseihin ja myöhemmin piilolinsseihin, jotka ovat myös valon muokkaamiseen tarkoitettujen fotoniikan komponenttien eli linssien pitkäaikainen sovellusalue.

Moderni lääketiede ja terveyden huolto on ottanut fotoniikan teknologiat ja tuotteet tehokkaasti käyttöön erityisesti parin viime vuosikymmenen aikana, jolloin erilaisten valoa lähettävien ja ilmaisevien, ja valon kulkua muokkaavien komponenttien valmistusteknologiat ovat kehittyneet huimaa vauhtia. Näistä esimerkkeinä ovat muun muassa puolijohdelaserien ja -ilmaisimien sekä diffraktiivisten linssien valmistus, jotka ovat viimeisen vuosikymmenen aikana löytäneet tiensä laboratoriosta kuluttajatuotteisiin ja joissa myös Suomessa on maailman kärkiosaamista ja liiketoimintaa. Healthtech lopputuotteista hyvä esimerkki on vaikkapa Polar Electro Oy:n suosittu aktiivisuusranneke, jossa on optinen valoon perustuva pulssin mittaus.



Kuva 12: Esimerkkejä fotoniikkaa hyödyntävistä Suomessa kehitetyistä ja valmistetuista tuotteista: PerkinElmer Oy:n lääketutkimuslaitteita, Polar Electro Oy:n älykello ja Modulight Oy:n syöpähoitolaser. (Lähteet: PerkinElmer Oy, Polar Electro Oy ja Modulight Oy)

Fotoniikan sovellusalueet lääketieteessä voidaan jakaa karkeasti (Taulukko 1)

1. Kuvantamiseen ja mikroskopiaan
2. Analytiikkaan ja ilmaisimiin
3. Hoitoona
4. Valmistukseen

	Fotoniikka hyvinvointi- ja terveysteknologiassa	
	Kliiniset sovellukset	**Laboratoriosovellukset**
Kuvantaminen ja mikroskopia	**Diagnostiikka- ja analyysilaitteet** Pinnallinen, kehonsisäinen ja läpivalaisu kuvantaminen	**Mikroskopia, Makroskopia** Fluoresenssimikroskopia, luminesenssi, High-Content seulonta, Raman-mikroskopia
Analytiikka ja ilmaisimet	**Diagnostiset ilmaisulaitteet** Hapetusmittarit, pulssimittarit, glukoosimittarit, biosensorit, laboratoriodiagnostiikan lukijalaitteet	**Analyysilaitteistot** Geenisekvensointi, proteomiikka, sytometria, spektroskopia, levylukijat
Hoidot	**Valoavusteiset hoidot** Laser kirurgia, fotodynaaminen terapia, fotobiomodulaatio, optogenetiikka, fotoimmunoterapia	**Valoavusteiset hoitoprosessit** Optogenetiikka, nanokantajat, kantasoluviljely, optiset kuvaus, valaisu ja seurantalaitteet
Valmistus	**Kehonsisäisten laitteiden valmistus** Stentit, implantit, endoskoopit	**Laitteiden valmistus** Leikkaus, hitsaus, pinnoitus, 3D tulostus

Taulukko 1: Fotoniikan sovellusalueet lääketieteessä. (http://www.yole.fr/)

Loppukäyttäjät löytyvät sairaaloista ja klinikoilta ja toisaalta niitä tukevista tutkimuslaboratorioista ja –laitoksista. Maailmanlaajuisesti fotoniikan terveys- ja

lääketieteen järjestelmien ja komponenttien markkinakoko oli noin 18-20 miljardia USD vuonna 2017 (http://www.yole.fr/) Suomessa toimijoita ovat muun muassa

- ArcDia Oy — Point-of-care diagnostiikka mikrobien aiheuttamien sairauksien diagnosointiin
- Grundium Oy — Kannettava digitaalinen mikroskooppi terveydenhuoltoon
- Hidex Oy – Analyysilaitteistot in-vitro diagnostiikkaan ja tutkimukseen
- Labrox Oy — Analyysilaitteistot lääkekehitykseen ja tutkimukseen
- Modulight Oy — Lääketieteen laserlaitteet syöpähoitoon ja silmälääketieteeseen
- Optomed Oy — Silmänpohjan kamerat
- PerkinElmer Oy (Wallac) — fluoresenssipohjaiset analyysilaitteistot ja reagenssit
- Planmeca Oyj — hammaslääketieteen röntgenlaitteistot
- Polar Electro Oy — Aktiivisuusrannekkeet ja älykellot
- Primoceler Oy — Laserlaitteiden käyttö lääketieteen implanttien valmistuksessa
- Radiometer Oy (Innotrac) —Tehohoidon analyysilaitteet ja testit
- Suunto Oy — Aktiivisuusrannekkeet ja urheilukellot
- Valon lasers Oy — Silmänpohjan laserhoitolaitteet

- Tutkimus:
    - Aalto-yliopisto: fotoniikan perus- ja soveltavaa tutkimusta, biofotoniikkaa
    - Helsingin yliopisto/farmakologia: valoavusteiset lääkkeet ja kuljettimet
    - Helsingin yliopisto/lääketiede: Optogenetiikka, kardiologia
    - UEF/lääketiede: valo-avusteiset hoitoprosessit ja -lääkkeet, kuvantaminen
    - Oulun yliopisto:biosensorit ja algoritmipohjainen kuvan käsittely
    - Tampereen teknillinen yliopisto/ORC: lasereiden kehitys lääketieteen sovelluksiin
    - Tampereen yliopisto/Biomeditec: kantasolulinjojen valmistus ja monitorointi, solujen kuvantaminen

- Turun yliopisto ja Åbo Akademi: laboratoriodiagnostiikan menetelmäkehitys, nanobiofotoniikan perustutkimusta, mikroskopian kehitys, EuroBioimaging johtokeskus
- VTT Oy: Point-of-care diagnostiikkalaitteet, kaasumittaukset, spektraalikuvantaminen

Tällä hetkellä tärkeimpiä fotoniikan sovellusalueita lääkekehityksen ja terveysteknologian alueella Suomessa ovat diagnostinen ja tutkimuksen mikroskopia (syöpäpatologia, lääkekehityksen eri vaiheet, perustutkimus), oftalmologia (näön korjaukset, silmäsairauksien diagnosointi, kuvantaminen ja hoito), dermatologia (valo-avusteiset hoidot iho- ja syöpäsairauksiin, esteettiset hoidot) ja erilaiset valoonperustuvat diagnostiikka- ja tutkimuslaitteet sekä lukuisat optiset bioanturit erilaisissa kannettavissa ja puettavissa laitteissa.

Optinen mikroskopia on toisaalta teknologisen kehityksen ja perustavaa laatua olevien innovaatioiden myötä, mutta myös biolääketieteen tutkimuksen harppausten myötä vakiinnuttanut asemansa yhtenä tärkeimmistä bio- ja lääketieteiden tutkimuksen sekä diagnostiikan välineistä. Esimerkiksi perinteinen patologin syöpäkudosnäytteiden mikroskopointi on tänä päivänä pitkälti automatisoitu – näytteiden prosessoinnista, niiden mikroskopointiin automaattiskannereilla ja enenevässä määrin myös kuvien (esi-)analyysiin konenäön ja tekoälyn menetelmillä. Biolääketieteen ja erityisesti sen, kannaltamme merkittävän osa-alueen, lääkekehityksen näkökulmasta on vastaava automaation ja mikroskopian kehityksen yhdistäminen luonut uusia mahdollisuuksia esimerkiksi lääkemolekyyli-kandidaattien seulonnassa. Puhtaasti optiikan näkökulmasta merkittävimmät kehitysaskeleet ovat liittyneet ennen kaikkea mikroskopian erottelukyvyn parantamiseen sekä uusien ilmaisin- ja laserteknologioiden luomiin mahdollisuuksiin. Stefan Hell esitti vuoden 1994 julkaisussaan perusteet mikroskopian erottelukyvyn parantamiseen niin, että optinen diffraktio, ”valon taipuminen” , ei enää rajoita erottelukykyä perinteiseen vajaaseen millimetrin tuhannesosaan. Tuosta Turun yliopistossa aloittamastaan työstä hänelle myönnettiin Nobel palkinto vuonna 2014. Vaikka tämä työ ei Stefan Hellin kansalaisuuden ja nykyisen työskentelypaikan takia olekaan meillä saanut

erityistä huomiota tiedepiirien ulkopuolella, on hänen panoksensa nähtävä osana myös suomalaista menestystarinaa. Suomi on saanut merkittävää tunnustusta optisessa kuvantamisessa ja onkin johtomaana 2018 aloittavassa eurooppalaisessa ”EUROBIOIMAGING” ESFRI (The European Strategy Forum on Research Infrastructures, https://emphasis.plant-phenotyping.eu) infrastruktuurissa.

Tieteellisen toiminnan rinnalla on Suomessa syntynyt mikroskopiaan liittyvää innovaatiotoimintaa yritysten sisällä, start-up yrityksinä sekä tutkimuslaitoksissa. Esimerkiksi Turussa toimivassa Perkin Elmer/Wallac Oy:ssa on ollut merkittävää mikroskopiaan liittyvää kehitystyötä ja Arcdia Internationalin virus ja bakteeri diagnostiikan tuoteportfolio perustuu täysin muun muassa Stefan Hellin tutkimusryhmän tekemään työhön mikroskopian kehityksessä. Tutkimuslaitoksista esimerkiksi Suomen molekyylilääketieteen tutkimuskeskuksessa (FIMM) on kehitetty mobiililaitteisiin perustuvaa mikroskooppia, jossa esimerkiksi malarian diagnostiikka verinäytteestä voitaisiin tehdä hyvinkin yksinkertaisissa olosuhteissa.

Lääketieteellisen, diagnostisen kuvantamisen historia johtaa Konrad Röntgenin havaintoihin – lyhytaaltoinen sähkömagneettinen säteily (röntgensäteily) läpäisee kudoksia eri tavoin luoden mahdollisuuden ”anatomisen varjokuvan” tallentamiseen säteilylle herkälle materiaalille/ilmaisimelle. Näkyvän valon alue sähkömagneettisesta säteilystä ei tämän tyyppiseen kuvantamiseen suoraan sovellu kuin korkeintaan erittäin ohuilla näytteillä – ongelman takana on valon sironta ihmisen kudoksissa, jolloin valonsäteet joko pysähtyvät kokonaan kudokseen tai siroavat niin monimutkaista reittiä pitkin, ettei varjokuvaa voi muodostua. Toistaiseksi optisten kuvantamistekniikoiden käyttö ihmis-diagnostiikassa onkin pääasiallisesti rajautunut lähinnä joko aivan pinnallisten muutosten tarkasteluun, tai silmätautien diagnostiikkaan, jossa silmän luonnollinen läpinäkyvyys antaa mahdollisuuden valolla tapahtuvaan silmänpohjan tutkimukseen. Tällaisia tekniikoita ovat muun muassa optinen koherenssitomografia (*Optical Coherence Tomography, OCT*) sekä fotoakustinen tomografia (*Photo Acoustic Tomography, PAT*). Kummankin edellä

mainitun teknologian tutkimustoimintaa on Suomessa ollut jo pitkään, joten potentiaalia myös teollisen toiminnan syntymiselle on.

Vaihtoehto suoralle kuvaukselle on diffuusikuvaus – monimutkaisesti taipuneista (sironneista) valonsäteistä muodostetaan laskennallisesti ”kuva” yhdistämällä useita valonlähteitä ja ilmaisupisteitä. Diffuusi optinen kuvaus (myös diffuusi spektroskopia, lähi-infrapuna diffuusi spektroskopia) soveltuu esimerkiksi toiminnalliseen aivokuvaukseen – tällöin tarkastellaan aivojen eri alueiden verenkierron hapettumistasoa, jolloin voidaan tehdä päätelmiä aivojen toiminnasta. Vastaavaa kuvausta voidaan suuremmalla anatomisella tarkkuudella tehdä toiminnallisella magneettikuvauksella, mutta optisen kuvauksen nopeus ja laitteiston keveys ja hinta painavat vaakakupissa toisaalla. Alan tutkimusta on Suomessa ollut jo pitkään useammassakin yliopistossa, joten potentiaalia innovaatio- ja start-up-yritystoiminnalle on olemassa.

Fotoniikan komponenttien ja laitteiden merkityksestä, jopa uudenlaisen terveysteknologian liiketoiminnan katalyyttinä, voidaan mainita esimerkiksi turkulaisen Wallac Oy (nykyisin osa PerkinElmer Oy konsernia) bioanalytiikka-liiketoiminnan kehittyminen ja Modulightin syöpähoitolasereiden kehitys.

Success story – Perkin Elmer/Wallac

Radioaktiivisten analyysien mittalaitteita valmistava Wallac kehitti 1980-luvulla Erkki Soinin johdolla aikaerotteiseen fotoluminesenssiin perustuvan menetelmän korvaamaan tuolloin käytössä olleita radioaktiivisiin merkkiaineisiin perustuvaa määritysmenetelmää, muuttaen samalla oman yrityskulttuurinsa puhtaasta laitevalmistajasta kokonaispalvelua tuottavaksi yritykseksi. Kun yhtiö 1990-luvulle tultaessa voimallisesti laajensi tuotevalikoimaansa uuteen menetelmään perustuvien laiteiden sekä analyysikemian osalta, kasvoi se samalla noin sadasta työntekijästä lähes tuhanteen työntekijään, ja päätyi lopulta erilaisten yrityskauppojen myötä lopulta osaksi Perkin Elmer Oy -konsernia. Yritys tuottaa nykyisin noin 180 miljoonan €:n arvosta vientiliiketoimintaa vuosittain noin 600

työntekijän voimin. Tämän osaamisen ympärille on kehittynyt laaja alihankkija ja pk-yritysverkosto, joka työllistää tänäkin päivänä tuhansia työntekijöitä.

Success story – Modulight Oy

Modulightin tarina alkoi Tampereelta Teknillisen yliopiston ORC:n spin off -yrityksenä vuonna 2000. Optisen tiedonsiirron komponenttien rinnalla yhtiö alkoi kehittää komponentteja ja laitteita lääketieteenlaitteisiin vuoden 2010 tienoilla, jonka seurauksena yhtiö lanseerasi ensimmäisen syöpähoitolaserinsa markkinoille vuonna 2015. Tällä hetkellä yhtiöllä on asiakkaana 8 lääkeyhtiötä pääosin Yhdysvalloista ja Euroopasta, joille Modulight toimittaa yksinoikeudella laserhoitolaitteet ja niihin liittyvät palvelut. Yhtiö työllistää Tampereella noin 50 työntekijää ja sen syöpähoitolaserit ovat käytössä johtavissa syöpätutkimus-ja hoitolaitoksissa ympäri maailmaa.

Oleellista molemmissa esimerkkiyrityksissä, on ollut vahva kytkentä yliopistoissa tehtävään pitkäjänteiseen soveltavaan tutkimukseen ja sen kaupallistamiseen.

Tulevaisuus

Terveydenhoito- ja hyvinvointituotteet ovat olleet merkittävä liiketoiminnan kasvualue jo pitkään. Tämän kehityksen ajureina toimivat toisaalta teknologioiden kehitys ja toisaalta ikääntyvä ja vaurastuva väestö erityisesti länsimaissa. Uusien tuotteille ja palveluille on kysyntää. Erilaiset kannettavat ja puettavat hyvinvointi- ja terveysteknologian tuotteet ovat saaneet merkittävää nostetta nimenomaan fotoniikan teknologioiden kehittymisestä. Tästä ovat esimerkkinä kamerateknologia, pienikokoiset valaisimet ja ilmaisimet, optinen 3D hahmontunnistus ja optiset biosensorit, kuten glukoosin- tai pulssinmittaus. Tämän kehityksen odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa ja erilaisten bioanturien ja sensorien tulevan osaksi ihmisten jokapäiväistä terveyden seurantaa. Hyvinvointituotteiden rinnalle kehitetään myös lääkinnällisiä seurantalaitteita, jotka voivat olla osa tulevaisuuden potilasseurantaa ja *e-Health*

ketjua. Merkittävät lääkeyhtiöt kehittelevätkin jo tuotteita esimerkiksi lääkkeiden luovutuksen ja tehon seurantaan puettavien tai kotikäyttöisten biosensoreiden avulla.

Myös erilaisten optisten antureiden ja kameroiden käyttöä potilaiden ja vanhusten seurantaan tutkitaan ja kaupallistetaan nopealla tahdilla, joista myös Suomesta löytyy esimerkkejä. Neuroeventslab Tampereelta kehittää tekoälypohjaista analyysiä suuren resoluution videokuvasta, jonka avulla seurataan epilepsiapotilaan kohtauksia unen aikana. Vastaavaa (diagnostista) tutkimusta tehdään myös liikuntaan ja kuntoutukseen liittyen useissa liikuntalaboratorioissa. Hallitussa ympäristössä optisilla ja mekaanisilla liikeantureilla sekä kameroilla rekisteröidään ja analysoidaan liikkujan/kuntoutettavan liikkeet kolmessa ulottuvuudessa. Erilaisten biosensorien datan, kuvien ja videon ja potilaiden diagnostisen tiedon yhdistämisestä tekoälyn avulla onkin tullut yksi globaali megatrendi, jonka avulla voidaan tulevaisuudessa automatisoida erilaisia terveydenhoidon prosesseja. Tästä yksi esimerkki on täysin miehittämätön apteekki, joka toimi Yhdysvalloissa vuoden ajan tekemättä yhtäkään virhettä yli kahden miljoonan reseptin lääkejakelussa. Vastaavasti tavanomaisen apteekin virheprosentti on keskimäärin 1.7% (Harari, 2017). Optiset tunnistusmenetelmät (sormenjälki, iiris, hahmontunnistus ja niin edelleen), optiset lukulaitteet (viivakoodit, kamerat) ja optiset sensorit ja mittalaitteet ovat keskeisiä työkaluja tulevaisuuden automatisoiduissa hoitoketjuissa, unohtamatta suuren kapasiteetin optista tiedonsiirtoa esimerkiksi etähoitopisteiden välillä.

Keskimääräisen eliniän odotteen kasvaessa erityisesti länsimaissa, joutuu terveydenhoito entistä tiukemmalle resurssien ja hoitotarpeiden osalta. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat syöpäsairaudet, joiden ilmaantuvuustodennäköisyys yleensä kasvaa iän myötä ja siten hoitotarpeet lisääntyvät. Presidentti Obaman 2016 julistama ”Cancer Moonshot” syövän kukistamiseksi on hyvä esimerkki merkittävistä ohjelmista (1.8 miljardin USD 7-vuotinen ohjelma: National Cancer Institute, https://www.cancer.gov/research/key-initiatives/moonshot-cancer-initiative), joilla resurssoidaan tärkeimpiä terveydenhoidon haasteita. Suomessa vastaava hanke on [Sosiaali- ja terveysministeriö (STM), Kansallinen

syöpäkeskus, https://stm.fi/syopakeskus], jonka puitteissa on tarkoitus kansallisesti parantaa ja tehostaa syövän hoitoa ja sen tutkimusta.

Optisia menetelmiä käytetään jo laajasti myös syövän diagnostiikassa ja hoidossa, mutta myös uusia työkaluja kehitellään esimerkiksi optisen näytteenoton ja patologian alueella, ja toisaalta hoitojen alueella, kuten fotoimmunoterapia ja optogenetiikka. Fotoimmunoterapiassa valon ja lääkkeen yhteisvaikutuksella pyritään auttamaan ihmisen omaa immuunipuolustusjärjestelmää tunnistamaan ja tappamaan syöpäsoluja. Valon avulla voidaan ylipäätään ohjata lääkkeen luovutusta ja kohdentaa esimerkiksi syöpälääkkeiden vaikutusta vain syöpäkudokseen ja vähentää siten sivuvaikutuksia ja lisätä vaikuttavuutta kohdekudoksessa, kuten tapahtuu fotodynaamisessa terapiassa. Valoaktivoitavia lääkkeitä tutkitaan muun muassa Helsingin yliopistossa ja tavoitteena on kehittää uusia hoitoja silmäsairauksiin ja syöpiin (Prof. Arto Urtti, Farmakologia). Valoaktivoivien lääkkeiden rinnalla kehitetään ja tutkitaan Suomessa myös nanokantajia, jotka hakeutuvat aktiiviseen syöpäkudokseen ja vapauttavat syöpälääkkeen saavutettuaan kohteensa – usein, etenkin tutkimusvaiheessa, näihin nanokantajiin liittyy myös fotonisia ominaisuuksia, jolloin ne voidaan esimerkiksi havaita tai niitä voidaan edelleen aktivoida fotoniikan menetelmin.

Personoitu lääketiede on myös noussut globaaliksi kehitystrendiksi muun muassa geeniteknologian nopean kehityksen vuoksi (Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta, 2018). Personoidussa lääketieteessä kunkin potilaan hoito pyritään optimoimaan henkilön oman geneettisen perimän tai muiden elimistön ominaisuuksien perusteella siten, että hoitovaste olisi yksilöllisesti mahdollimman hyvä. Geenisekvensointiin ja potilaan hoitovasteeseen perustuvia hoitoja on nyt saatavilla ja niiden merkitys tulee väistämättä lisääntymään, kun geenitutkimus ja seulonta yleistyvät, halpenevat ja nopeutuvat. Optogenetiikka on geeniteknologian alue, jossa ihmisen solujen proteiineja voidaan muokata niin, että ne reagoivat tietynlaiseen valoon, jolloin voidaan saada aikaan valolla kontrolloituja toimintoja esimerkiksi hermo- tai sydänsoluilla. Tällä menetelmällä on visioitu parannuskeinoja erilaisiin neurologisiin sairauksiin, tai vaikkapa

optisen sydämentahdistimen toteutus. Personoitua lääketiedettä tutkitaan Suomessa muun muassa Helsingin ja Tampereen yliopistoissa sekä UEF:ssa. Myös yleisimmät geenisekvensointilaitteet perustuvat optisiin mittalaitteisiin, jossa laserilla luetaan solujen DNA-ketjujen koostumusta. Modulight Oy Tampereelta kehittää lasereita optogenetiikkaan ja geenisekvensointilaitteisiin, ja esimerkiksi Medisapiens Helsingistä kehittää geneettisen potilastiedon analyysialgoritmeja. Personoitu lääketiede ja geeniteknologia, ja niihin liittyvien hoitojen ja laitteiden kehittäminen onkin yksi mahdollinen vahvuusalue Suomen kaltaiselle maalle, jossa on globaalisti merkittävää osaamista geeniteknologiassa ja fotoniikassa. Tähän voidaan liittää myös kantasoluteknologia, jossa potilaan omista näytesoluista visioidaan valmistettavan erilaisia, kompleksisiakin kehon varaosia, kuten vaikkapa uusia luunkorjausosia tai terveitä hermo- tai sydänsoluja korvaamaan kehossa olevia sairaita soluja. Biomeditecissa Tampereella on muun muassa valmistettu kantasoluista potilaalle uusi leukaluu osana *Human Spare Parts* -kehityshanketta (http://humanspareparts.fi/fi/hoidot/potilastarina-luuhoito/) ja siellä kehitellään tällä hetkellä esimerkiksi siirrettävää verkkokalvoa sokeutuville potilaille. Tällaisten uusien solujen ja kokonaisten ihmisen varaosien valmistuksessa voidaan käyttää optisia menetelmiä seurantaan ja myös ohjaamaan valmistusprosesseja.

Lääketieteen kuvantaminen ja mikroskopia ovat myös ottaneet huimia harppauksia parina viime vuosikymmenenä ja perinteisen optisen mikroskopian ja röntgen- ja magneetikuvausten rinnalle on nousemassa uusia optisia teknologioita, kuten optinen koherenssitomografia (OCT), terahertsi-kuvantaminen (THz imaging), fotoakustinen kuvantaminen, ja keski-infrapuna kuvantaminen (MIR imaging). Useimmat näistä odottavat vielä laajmittaista hyödyntämistä klinikoilla ja sairaaloissa, mutta esimerkiksi OCT:n läpimurto silmäsairauksien diagnosoinnissa on hyvä esimerkki uusien teknologioiden nopeasta käyttönotosta.

Ihmisen kehoon ja sen ulkopuolelle asennettavien erilaisten optisten antureiden kehitys tulee väistämättä jatkumaan voimakkaana myös tulevaisuudessa. Uudet

implanttien valmistusmenetelmät esimerkiksi laserilla tai 3D-tulostamalla yhdistettynä langattomiin tiedonsiirtomenetelmiin tulevat mahdollistamaan erilaisten biomonitorointilaitteiden sijoittamisen ihmisen kehoon seuraamaan terveystilanteen lisäksi vaikkapa sairauden etenemistä tai lääkityksen vaikuttavuutta.

Merkitys Suomen kilpailukyvylle

Fotoniikan komponentit ja järjestelmät ovat jo olennainen osa lääketieteen ja terveysteknologian tuotteita ja niiden käyttö laajenee vauhdilla. Suomessa on jo tällä hetkellä merkittävää fotoniikkaan nojaavaa terveysteknologian liiketoimintaa. Suorien ja välillisten työpaikkojen määrä on useita tuhansia ja liiketoiminnan koko useita satoja miljoonia euroja. Suomessa on erityisen vahva osaaminen fotoniikan alueella, jopa maailman laajuisesti ja erinomainen kehitysympäristö uusille lääketieteen ja yhdistetyn terveysteknologian tuotteille. Tätä tukee hyvin toimiva terveydenhoidon järjestelmämme, joka on vahvasti kytkeytynyt yliopistosairaaloiden kautta tutkimukseen, sekä vahva kulttuuri lääketieteen tutkimuksen pitkittäisseurantojen osalta (muun muassa biopankit ja tutkimusmyönteinen kansa). Lääketieteen sovellukset ja -laitteet ovat yleensä pitkäkestoisia tuotteita ja tuovat näin ollen pitkän aikavälin kilpailukyistä valmistusta ja työpaikkoja ja mahdollistavat myös integroituja palvelutuotteita. Tästä hyvä esimerkki on Wallac Oy:n yhdestä optisesta mittauslaitteesta 1980-luvulla syntynyt diagnostiikan ja analytiikan klusteri Turussa, joka työllistää tänäkin päivänä yli 1000 henkilöä erilaisten hienomekaanisten osien valmistuksesta aina biologisten merkkiaineiden kehitykseen sekä niiden lukulaitteisiin. Vahva valmistusosaaminen auttaa yleensä sitouttamaan teollisia työpaikkoja ja lääketieteen laitteissa tämä vielä vahvistuu, sillä laitteiden valmistusprosessit ovat tarkasti kontrolloituja ja valvottuja ja niiden siirtäminen muualle on hankalaa ja kallista. Lääketieteen tuotteet ovat myös keskimääräistä kannatavampia ja vähemmän kilpailtuja, koska niitä on vaikeampi tuoda markkinoille.

Tulevaisuudessa kansainvälinen kilpailukyky nojaa yhä enemmän erilaisten keihäänkärkiteknologioiden yhdistämiseen. Suomessa on korkeatasoista tutkimusta ja osaamista monilla keskeisillä terveysteknologian alueilla:

- aineenvaihdunnan sairauksien tutkimus (diabetes ynnä muut)
- biopankit ja laajat pitkittäisseuranta-aineistot/tutkimukset
- fotoniikka
- geeniteknologia ja optogenetiikka
- infektiotautien tutkimus (mukaan lukien yliopistot ja THL)
- kannettavat ja puettavat sensorit
- kantasoluteknologia
- langattomat teknologiat
- mikroskopia ja kuvantaminen
- nanoteknologia, valoavusteiset lääkkeet ja prosessit
- robotiikka ja hienomekaaninen valmistus
- sähköinen terveydenhuolto ja potilasmonitorointi
- syöpätutkimus
- tekoäly ja algoritmit

Näiden kärkiosaamisten vahvistaminen ja yhdistäminen uusiksi valmistettaviksi vientituotteiksi on keskeinen tavoite Suomen kilpailukyvyn kannalta. Terveysteknologian laitteet ja palvelut eivät ole alttiita työpaikkojen siirrolle matalamman kustannustason maihin, vaan nojaavat yhä enemmän korkeaan laatuun ja kontrolloituun valmistukseen sekä taustalla tehtävään korkeatasoiseen tutkimustyöhön. Useampien kärkiosaamisten yhdistäminen lääketieteen tuotteiksi tukee myös tuotteiden suojausta ja kilpailukykyä maailmalla, koska vahvan osaamisen kopiointi useammalla teknologia-alueella on hankalaa. Suomen ja muiden länsimaiden vääristyneen ikäpyramidin hoitoon tarvitaan jatkossakin yhä tehokkaampia yhdistettyjä hoitoprosesseja ja -ketjuja, joiden rakennuspalikoita Suomessa on hyvin tarjolla ja jotka tulisi täysimittaisesti hyödyntää.

Merkitys Suomen yhteiskunnalle

Ikääntyvä väestö ja huoltosuhteen heikkeneminen asettavat merkittäviä haasteita Suomelle ja kaikille kehittyneille maille tulevaisuudessa. Uusien teknologioiden käyttöönotto ja hoitoketjujen optimointi tulevat olemaan merkittävässä roolissa pohjoismaisen hyvinvointivaltion ylläpidossa. Fotoniikka ja optiset teknologiat tarjoavat monia työkaluja potilaiden tunnistukseen, seurantaan ja myös hoitoon. Personoidut hoidot ja biomonitorointi auttavat myös vähentämään tutkimus- ja hoitoresursseja ja parantamaan lääkkeiden tehokkaampaa käyttöä. Suomella on mahdollisuus saada myös merkittävää kansallista hyötyä uusien teknologioiden ja hoitojen kehittämisestä Suomessa, sillä Suomi pienenä markkinana ei muutoin olisi ensimmäinen kohdemarkkina esimerkiksi uusille lääkkeille ja hoitolaitteille.

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet

Fotoniikan terveys- ja hyvinvointiteknologian kehityksen kannalta oleellista ovat vahvat yhteydet korkeakoulujen, terveydenhuollon järjestelmän (yliopistosairaalat) sekä alan yritysten välillä. Suomalaisen lääketieteellisen tutkimuksen erityispiirteinä ovat laajat ja pitkäaikaiset seurantatutkimukset, niiden näytekokoelmat sekä sittemmin biopankit. Tilanteen ovat huomanneet myös monet kansainväliset suuryritykset, jotka ovat viimeisten vuosien aikana pyrkineet Suomeen juuri päästäkseen näihin aineistoihin käsiksi. Vaikka fotoniikan teknologioiden kehittämisen kannalta itse olemassaolevat aineistot ovat vain osin hyödynnettävissä, luo tuo jo olemassaoleva kulttuuri mahdollisuuksia yrityksille liittyä osaksi pitkittäistutkimuksia ja päästä tutkimus- ja testaustoimintaan sairaalaympäristössä, ainakin periaatteessa.

Käytännössä toimissa on kuitenkin merkittävää tehostamisen varaa - kliiniseen työhön sitoutuneet lääkärit ja hoitajat, korkeakoulujen tutkijat ja teknologian kehittäjät eivät löydä toisiaan, jollei asiaa fasilitoida. Yhtenä vaihtoehtona tässä voisi olla esimerkiksi Tampereen mallin mukainen yliopistosairaalaan kytketty tutkimuskeskus, jossa yliopistotutkijat, kliinikot ja yritysten henkilöstö voivat kohdata ja yhdessä työstää ratkaisuja hoidon ja terveydenhuollon käyttöön.

Riittävästi resurssoituna tällaiset keskukset kannustaisivat myös tämän tyyppiseen toimintaan - kliinikot voisivat ottaa tutkimusvapaata, toimia yhdessä yliopistotutkijoiden ja yritysten kanssa ja keskittyä uusien innovaatioiden testaukseen ja esikaupallistamiseen. Käytännössä toimivien uusien kliinisten sovellusten ja tuotteiden kehittämistä pitäisi päästä tekemään mahdollisimman aidossa ympäristössä ja kliinikoiden kanssa, jotka ovat kuitenkin yleensä kiireisiä ja ylikuormitettuja muutenkin. Jollei uuden kehittämiseen ohjata ja tueta resursseja johdon suunnasta, niin kaikki tällainen kehitystyö jää käytännössä aktiivisten kliinikoiden omalla ajalla tapahtuvaksi harrastukseksi.

Innovatiivisten ja avoimien innovaatio- ja tuotekehitysympäristöjen luominen yhdessä korkeakoulujen, yliopistosairaaloiden ja yritysten kanssa mahdollistaa uusien diagnostiikan ja hoidon teknologioiden saamisen Suomeen etulinjassa sekä lyhentää perustutkimuksesta kumpuavien innovaatioiden kaupallistamiseen käytettävää aikaa.

2.5. Kiertotalous

Laajasti käsitettynä kiertotaloudessa pyritään sekä tuotantovaiheen, kulutuksen että uudelleenkäytön tehostamiseen ja hukan minimoimiseen. Pyrkimyksenä on resurssien ja raaka-aineiden mahdollisimman kestävä ja ympäristöä säästävä käyttö, jossa huomioidaan kierrätys jo suunnittelu- ja valmistusvaiheessa. Optiset mittaustekniikat, kuten konenäkö ja spektroskopia, ovat tässä olennaisia mittausmenetelmiä, sillä niillä voidaan mitata sekä kemiallisia että fysikaalisia ominaisuuksia. Erityisen suuri hyöty mittauksista saadaan, kun pyritään tehostamaan tuotantoa, vähentämään päästöjä tai kun materiaaleja kierrätetään uusiokäyttöön.

Materiaalitunnistus perustuu spektritiedon hyödyntämiseen, sillä lähes kaikilla materiaaleilla on oma tunnistettava ”spektrisormenjälki”. Spektroskopiaan ja spektrometreihin liittyvää tutkimusta ja tuotekehitystä ovat tehneet muun muassa VTT Oy, Tampereen teknillinen yliopisto ja UEF. Erityisesti VTT:ssa tehdystä työstä on syntynyt ja irtautunut useita mittalaitteita valmistavia yrityksiä.

Suomessa näitä materiaalin tunnistukseen sekä pistemäisesti että kuvantavasti mittaavia instrumentteja valmistavia yrityksiä ovat muun muassa FocalSpec Oy, Spectral Engines Oy, Specim Oy, Senop Oy ja TimeGate Instruments Oy, joiden tuotteet yhdistettynä robottiin tai automaattisesti lajittelevaan tuotantolinjaan mahdollistavat reaaliaikaisen lajittelun.

Fotoniikka tuotannossa

Lähes kaikessa suomalaisen vientiteollisuuden tuotannossa paperi-, metalli-, elektroniikka- ja elintarviketeollisuudessa on tarvetta joko muodon, tilavuuden, värin tai kemiallisen koostumuksen jatkuvaan tarkkailuun laadun varmistamiseksi. Myös sivuvirtojen ja päästöjen tarkkailu ja valvonta on osa tuotannon laatua. Kaikkiin näihin on Suomessa korkealaatuista soveltavaa sekä optisia mittalaite- ja anturivalmistajia sekä järjestelmätoimittajia.

Suomen sellu- ja paperiteollisuudessa optisia mittalaitteilla valmistavilla ja soveltavilla yrityksillä on perinteisesti merkittävä asema johtuen paperiteollisuuden yli sata vuotta jatkuneesta vahvasta asemasta. Optisia mittauksia käytetään raaka-aineen eli sellun valmistuksesta lähtien aina lopputuotteiden, kuten paperin ja kartongin laadun valmistukseen. Hyvänä esimerkkinä ovat Valmet Oyj:n (ttps://www.valmet.com/fi/) valmistamat kuituanalysaattori, selluanalysaattori ja erilaiset paperikoneanalysaattorit. Optisia mitattavia suureita ovat massan koostumus, sakeus, kosteus sekä paperin kiilto, väri ja kirkkaus. Nämä kaikki ovat lopputuotteen laadun kannalta keskeisiä ja välttämättömiä mittareita. On myös huomattavaa, että Valmetin uusimmat sakeusanturit on suunniteltu nimenomaan kierrätyspaperin käyttöä huomioiden. Kierätysmassa on haastavampaa, mutta sen käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä, sillä vaaditaan vähemmän energiaa. Pitkäjänteistä tutkimustyötä on yritysten oman tuotekehityksen tukena tehnyt muun muassa VTT (https://www.vtt.fi/palvelut/prosessimittausratkaisut/optiset-mittausj%C3%A4rjestelm%C3%A4t)

Metalliteollisuudessa mitataan erilaisia parametreja aina konvertteristä valssausvaiheeseen asti. Tyypillisesti optisesti valvotaan senkan tyhjennystä ja kuntoa, valssatun teräksen pinnan lämpötilaa, karkeutta, kiiltoa ja öljykalvon paksuutta. Suomalaisia yritysesimerkkejä ovat Vision Systems Oy, Luxmet Oy ja Sapotech Oy.

Tehtaiden savukaasujen mittaukseen ja valvontaan mittalaitteita valmistava Gasera Oy Oy edustaa suomalaista huippuosaamista, joka on syntynyt pitkäaikaisen FTIR-spektroskopiaan liittyvän tutkimuksen tuloksena aluksi Oulun ja sittemmin Turun yliopistossa. FTIR-spektroskopian merkittävin etu on hyvä selektiivisyys (tunnistuskyky) sekä kyky mitata erittäin pieniä pitoisuuksia. Yrityksen viimeisin merkittävä keksintö on ainutlaatuinen fotoakustinen ilmaisin, jonka ansiosta tuote on erityisen herkkä ja mittaa aikaisempaakin pienempiä pieniä pitoisuuksia.

VTT:ltä spin-off yrityksenä lähtenyt Spectral Engines Oy palkittiin 800 k€:n pääpalkinnolla Euroopan komission kilpailussa vuonna 2017. Yrityksen valmistama äärimmäisen kompakti spektroskopiaan perustuva ruokaskanneri soveltuu käytettäväksi koko ruoan tuotantoketjussa pellolta vähittäisliikkeisiin. Vastaavalla tekniikalla sovellusmahdollisuuksia on kuitenkin myös muualla kuin ruokaketjussa kokonsa, käytettävyyden ja hinnan ansiosta. Teknologia on ensimmäinen, joka voisi soveltua kuluttajatason tuotteeksi ja mahdollistaisi kotitalouksissa materiaalien tunnistamisen ja oikean lajittelun.

Fotoniikka kierrätyksessä

Erilaisia kierrätettäviä jätevirtoja ovat muun muassa yhdyskuntajätteet, rakennusteollisuuden jätteet, elektroniikkaromu ja tekstiilit. Tarkoituksena on hyödyntää näiden sisältämät arvokkaat raaka-aineet uudestaan uusiotuotteissa tai erottaa kierrätykseen kelpaamaton osa muun muassa energiajätteeksi lämmön ja sähkön tuotantoon. Edellytyksenä tähän on, että jätevirtojen lajittelussa on kyettävä tunnistamaan ja erottelemaan eri materiaalit ja mahdolliset seokset toisistaan. Näin on esimerkiksi muovien, rakennusjätteiden,

kankaiden, lasi ja keramiikan kierrätyksessä. Arvioiden mukaan kotitalouden kierrätettävistä jätteistä 40% on lasia, alumiinia ja muovia. Taloudellisesti tämä kannattaa vain automatisoituna, sillä käsin suoritettu lajittelu ei ole mielekästä. Yksinkertainen esimerkki on lasipullojen ja metallitölkkien kierrätys, joka perustuu optiseen viivakoodin lukuun ja sen perusteella tapahtuvaan lajitteluun.

Tällä hetkellä kaikista muoveista kierrätetään Euroopassa vain 25% johtuen puutteellisista lajittelumenetelmistä. Suurin osa muovista päätyykin joko energiajätteeksi tai kaatopaikoille. Muovin uusiokäytön kannalta olisi eri muovilaadut tyypillisesti pystyttävä erottelemaan yli 96% tarkkuudella. Erityisesti spektroskopiaan perustuvat menetelmät mahdollistaisivat huomattavasti puhtaammat lajittelutulokset, jotka soveltuisivat jatkossa myös muun muassa elintarviketeollisuuden käyttöön. On arvioitu, että investoimalla näihin olisi mahdollista saavuttaa yli 50% kierrätystaso (Deloitte, 2017). Erityisen ongelmallisia ovat olleet väriltään mustat muovit, joiden luotettavaan lajitteluun ei toistaiseksi ole ollut mitään menetelmiä. Tähän on Specim Oy kehittänyt hyperspektrikuvaukseen perustuvan ratkaisun, joka on testausvaiheessa (http://www.specim.fi/hyperspectral-cameras).

Esimerkki ZenRobotics Oy

Rakennusalalla syntyvät jätteet ovat yksi merkittävin jäte-erä heti kaivosteollisuuden jälkeen. Jätteitä syntyy sekä uustuotannossa, korjausrakentamisessa että rakennusten purkuvaiheessa, ja niiden tarkempi erottelu on välttämätöntä uusiokäytön kannalta. Tällä hetkellä osa jätteistä lajitellaan jo työmaalla, mutta tämä ei aina ole mahdollista, joten automaattisille lajitteluasemille on selkeä tarve.

Helsinkiläinen ZenRobotics Oy (https://zenrobotics.com) yhdistää ainutlaatuisella tavalla konenäkötekniikan, hyperspektrikameraan perustuvan materiaalitunnistuksen, neuroverkkolaskennan ja robotiikan tehokkaaksi ja taloudellisesti kannattavaksi laittelijaksi. Alun perin sovelluskohde on ollut erityisesti rakennusten purkujätteet ja siinä syntyvät isot tavaravirrat. Mutta

kehitetty tekniikka soveltuu erittäin hyvin myös muihin jätevirtoihin. Markkina-alue on koko maailma.



Kuva 13: ZenRobotics Recyler jätteiden robottilajittelukone (Lähde: ZenRobotics Oy)

Merkitys Suomen yhteiskunnalle ja kilpailukyvylle

Kiertotaloudelle ei ole vaihtoehtoja ja optiset mittausmenetelmät ovat merkittävä tekijä tuotannon ja kierrätyksen tehostamisessa. Siten suurin yhteiskunnalinen merkitys tuleekin keskeisen tavoitteen eli mahdollisimman täydellisen kierrätyksen ja uusiokäytön toteutumisesta. Suomalainen fotoniikan tutkimus ja alan yritykset ovat olleet innovatiivisia ja osin merkittävästi kilpailijamaita edellä uuden teknologian kehittämisessä ja soveltamisessa. Esimerkkinä erityisen mielenkiintoisista uusista teknologioista voivat olla FTIR-spektroskopia, hyperspektrikuvaus ja mikrospektrometrit. Näitä soveltavat yritykset ovat toistaiseksi varsin pieniä ja osa on rahoituskierrosten yhteydessä osin päätynyt ulkomaisille sijoittajille. Alalla toimivien yritysten mahdollisuudet kansainväliseen menestykseen ovat kuitenkin huomattavan hyvät ja kasvun rajat kaukana tulevaisuudessa.

Toissijainen yhteiskunnallinen merkitys tulee korkeasti koulutettujen työllistävästä vaikutuksesta sekä tutkimuksessa että tuotekehityksessä. Alalla on jo nyt puute muun muassa data-analyytikoista, optiikkasuunnittelijoista ja mekaniikkasuunnitelijoista. Tavoiteltaessa kiertotaloudessa nollahukkaa eli kaikkien materiaalien uudelleen hyödyntämistä on mittalaite- ja sovelluskehitys edelleen tarpeen. Julkisen ja yksityisen tutkimuksen ja tuotekehityksen merkitys kasvaa.

Tulevaisuus

Robottien ja autonomisten kulkuneuvojen käyttö tavaroiden siirrossa, tuotannossa ja lajittelussa on välttämätöntä kilpailukykyisen ja laadukkaan työn takaamiseksi. Ympäristöä havainnoivan 2D ja 3D konenäön, optisen etäisyysmittauksen sekä materiaaleja tunnistavien spektroskopiamenetelmien käyttö yleistyy merkittävästi.

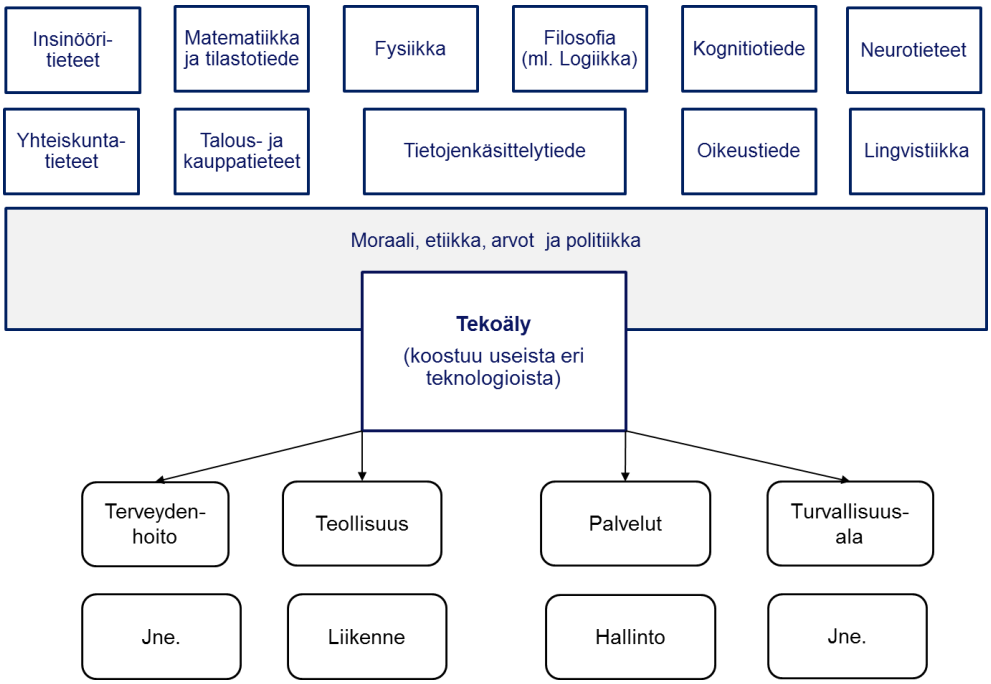
Optiset mittaustekniikat kehittyvät erityisesti laskentakapasiteetin, ohjelmistojen ja valmistustekniikan ansiosta. Mittalaitteet tulevat lisäksi verkottumaan (IoT) ja dataa kerätään pilvipalveluun. Kiertotalous on osa teollisuuden uutta niin kutsuttua *Industry 4.0* -vallankumousta.

Mittalaitteet tulevat hyödyntämään yhä enemmän verkkoon kerättyä dataa ja laskentakapasiteettia. Oppivat neuroverkot (tai muut vastaavat algoritmit) mahdollistavat autonomisille mittalaitteille paremmat edellytykset tehdä oikeita päätöksiä myös vaihtelevissa tilanteissa.

2.6. Tekoäly

Tekoäly-termin alle kuuluu laaja joukko teknologioita ja niitä hyödyntäviä sovelluksia. Tekoälystä ja erityisesti sen vaikutuksista tuotantoon, talouteen, työllisyyteen ja yhteiskuntaan laajasti on viime vuosina keskusteltu paljon (VTT, 2017). Tekoälyn osa-alueista teknologisesta näkökulmasta on saatavilla tuore VN-TEASin teettämä selvitys ”Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus”

(Ailisto, et al, 2018), josta on lainattu kuva (Kuva 14). Tekoälyyn liittyvät tieteenalat ja sitä hyödyntävät sektorit.



Kuva 14: Tekoälyyn liittyvät tieteenalat ja sitä hyödyntävät sektorit. (julkaistu (Ailisto, et al, 2018) sivulla 6.)

Fotoniikan näkökulmasta tekoäly on merkittävä tekijä ennen kaikkea kolmella tavalla:

- keinotekoisilla neuroverkoilla on saavutettu erittäin hyviä tuloksia konenäössä
- fotoniikkaan perustuvat optiset prosessorit voivat tulevaisuudessa toimia tekoälyalgoritmien laskenta-alustoina
- tekoälyyn pohjaavia suunnittelumenetelmiä voidaan käyttää esimerkiksi optisten laitteiden suunnittelussa.

Tässä kappaleessa rajaudutaan kahteen ensin mainittuun aiheeseen.

Vaikka konenäköä ja kuva-analyysiä pidetään itsenäisinä tutkimusalana, se luetaan joskus fotoniikan piiriin, ja toisaalta se voidaan käsittää myös tekoälyn

osa-alueeksi. Siksi tällä alalla tapahtuva kehitys sopii kahdessakin mielessä käsiteltäväksi tässä alaluvussa.

Konenäkö tarkoittaa menetelmiä, joilla pyritään edistämään kuvassa olevan tiedon automaattista irrottamista ja kuvan sisällön ymmärtämistä. Konenäköä hyödynnetään useilla teollisuuden ja arkielämän alueilla. Varhaisimpia sovelluskohteita 1980-luvulta alkaen ovat teollisuus- ja maataloustuotteiden visuaalinen laaduntarkastus, teollisuusrobottien ohjaus sekä satelliittikuvien tulkinta. Jokaiselle kansalaiselle tuttu kehitys viime vuosilta on automaattisen kasvojentunnistuksen käyttöönotto. Rajavalvonnan passintarkastusautomaatit ovat näkyvä viranomaissovellus, mutta myös sosiaalisen median sovellukset ja digitaaliset kamerat hyödyntävät samaa teknologiaa. Esimerkiksi Kiinassa soveltaminen on (huolestuttavan) yleistä.

Niin sanottujen syvien neuroverkkojen (*deep neural networks*) (Lecun, et al, 2015) avulla on saavutettu viime vuosina erittäin merkittäviä ja näyttäviä tuloksia kuvantunnistuksessa ja neuroverkkomenetelmät ovat syrjäyttäneet esimerkiksi kasvojentunnistuksessa aiemmin käytetyt menetelmät. Koska neuroverkot luetaan koneoppimisen ja sitä kautta tekoälyn piiriin ja aiemmin suosittuja kuva-analyysimenetelmiä taas ei yleensä lasketa tekoälymenetelmiksi, voidaan puhua tekoälyn voitosta. Tämän tulkinnan tueksi löytyy perusteluita, mutta toisaalta voidaan väittää, että jako ”tekoälymenetelmiin” ja ”ei-tekoälymenetelmiin” on keinotekoinen.

Optisia prosessoreita (tietokoneita) on tutkittu jo 1970-luvulta, mutta toistaiseksi niiden käytännön rooli on jäänyt vähäiseksi. Viime vuosina aihe on herättänyt uudelleen jonkin verran kiinnostusta, koska optinen laskenta voi mahdollisesti olla ratkaisu neuroverkkolaskennan kasvavaan tehotarpeeseen. Tieteellisiä julkaisuja aiheesta on kuitenkin suhteellisen vähän, mikä kertonee toistaiseksi pienistä panostuksista. Merkittävänä voidaan pitää sitä, että MIT:ssä (Massachusetts Institute of Technology) toimiva tutkimusryhmä onnistui kehittämään nano-fotoniikkaan perustuvan optisen neuroverkon toteutuksessa (Optical Neural Network, ONN) ja demonstroi koejärjestelmän periaatteellisen

toimivuuden vokaaliäänteiden tunnistamisessa (Shen, et al, 2016). Tänä vuonna 2018 perustettu Fathom Computing –niminen start-up yritys kehittää tekoälysovellusten tarvitsemaa neuroverkkolaskentaa varten räätälöityä optista prosessoria.

2.7. Opetus

Virtuaalisten oppimisympäristöjen määrä on viime aikoina kasvanut voimakkaasti johtuen erityisesti tietokoneiden laskentatehon kasvusta ja virtuaalisten ympäristöjen katseluun tarvittavan optisen teknologian kehittymisen ansiosta. Erilaisilla virtuaalisilla ympäristöillä ja simulaattoreilla haetaan erityisesti mahdollisuutta harjoitella toimintaa uusissa ympäristöissä ennen kuin toimitaan varsinaisessa fyysisessä ympäristössä. Näillä uusilla ympäristöillä voidaan saavuttaa hyviä oppimistuloksia. Virtuaalitodellisuuden tuominen opetukseen vaatii toki myös itse opetuksen muuttamista (https://theblog.adobe.com/virtual-reality-will-change-learn-teach/).

Virtuaalisten oppimisympäristöjen toteutuksessa on suuressa roolissa optiikan kehittyminen. Realististen ympäristöjen tallentamisessa tarvitaan 360 asteen panoraamakuvausta riittävän hyvällä tarkkuudella. Tähän liittyvää osaamista Suomessa on kehittynyt runsaasti aikanaan mobiililaitteiden kameroiden kehityksen yhteydessä.

Toisaalta, immersiivisen elämyksen saavuttamiseen tarvitaan virtuaalitodellisuuslaseja (kuten esimerkiksi HTC Vive tai Oculus Rift), joiden tarkkuus ja hinta täytyy olla opetuksen tavoitettavissa.

Virtuaalitodellisuuslasien laatu on viime vuosina mennyt selkeästi kahteen suuntaan: On tuotu markkinoille erittäin edullisia ratkaisuja, joissa hyödynnetään mobiililaitteen näyttöä. Halvimmillaan nämä katselulaitteet maksavat maailmalla verkkokaupoissa vain noin yhden euron. Nämä ovat soveltuvia virtuaalitodellisuuteen tutustumisessa suurissa ryhmissä, joissa jokaisella oppijalle tarvitaan oma näyttölaite ilman suuria kustannuksia. Toisaalta, liiallinen

turvautuminen liian halpoihin ja heikkotasoisiin virtuaalilaseihin voi kääntyä negatiiviseksi suhtautumiseksi koko virtuaalitodellisuuden hyödyntämistä vastaan sekä opiskelijoissa että opettajissa. Nimenomaan optiikan laatu on näissä laitteissa kynnyskysymys.

Toisaalta markkinoille on tulossa erittäin tarkkoja virtuaalitodellisuuslaseja, kuten esimerkiksi suomalaisen Varjo Technologies Oy:n silmän näkemisen tarkkuutta vastaava virtuaalilasilaitteisto. Näiden käytölle on oma roolinsa esimerkiksi simulaattoreiden käytössä. Simulaattoreiden tapauksessa kyse on yleensä siitä, että harjoitellaan virtuaalisesti sellaisen laitteen käyttöä, jonka käyttö harjoitteluun on joko kallista tai potentiaalisesti vaarallista.

Lisäksi kouluja varten on myös virtuaalisia laboratorioympäristöjä, kuten UEF:ssa kehitetty Sm4rtLab (https://www.uef.fi/fi/web/sm4rtlab). Tällaisessa ympäristössä voidaan suorittaa sellaisia koejärjestelyjä, joissa varsinainen laitteisto sijaitsee yhdessä oppilaitoksessa, mutta tätä fyysistä laitteistoa voivat muut oppilaitokset käyttää sen virtuaaliversion kautta. Tässä käytössä voidaan hyödyntää esimerkiksi Microsoftin HoloLensiä, jonka avulla virtuaalinen laboratorio saadaan näkyviin mihin tilaan tahansa.

Laajennetun ja yhdistetyn todellisuuden laitteiden tulo tuo myös muita uusia mahdollisuuksia opetukseen. Erityisesti 3D-mallien katsomisessa kädet vapaaksi jättävät näyttölaitteet, kuten Microsoftin HoloLens tarjoavat mahdollisuuden tarkastella virtuaalisia kohteita, joiden fyysisten vastineiden näkeminen voi olla käytännössä mahdotonta. Tällaisia voivat olla esimerkiksi kokoluokaltaan haastavat kohteet, kuten aurinkokuntamme, tai sitten kohteet, joiden luokse ei pääse, kuten esimerkiksi museoesineet toisissa maissa.

Näitä laitteita on käytetty myös korkeamman asteen koulutuksessa. Esimerkiksi lääketieteen koulutuksessa reaalikokoisen ihmisen kehon virtuaalimallilla opiskelu on jo nyt mahdollista.

Laajennetun ja yhdistetyn todellisuuden laitteiden kehitystyö on mielenkiintoisessa vaiheessa. Tällä hetkellä tarjonta ei ole suurta, mutta kehitystyö on erittäin aktiivista. Onkin odotettavissa, että laitteiden saatavuus lisääntyy ja hinta laskee merkittävästi lähivuosina. Tällöin niiden käyttö opetuksessa voi lisääntyä merkittävästi.

Projektoritekniikoiden kehitys on myös mahdollistanut entistä suurempien pintojen valaisemisen. Tämä mahdollistaa jopa kokonaisen luokkahuoneen seinille heijastettavat kuvat, joiden avulla voidaan stimuloida opiskelijoita.

Opetustiloissa sekä valaistuksella että sisustuksen väreillä on suuri vaikutus oppimiseen. Sekä valaistukseen kirkkaus että sen sävy vaikuttavat oppimistuloksiin. LED-valaistuksella voidaan vaikuttaa molempiin, ja myös energian kulutus on LED-valaistuksessa pienempi kuin perinteisissä valaistuksissa. Tällöin myös valaistuksen kohdentamisella ja sen suunnittelulla on paljon suuremmat mahdollisuudet kuin perinteisiä loisteputkia käyttämällä.

Tähän mennessä LED-valojen käyttö on ollut pitkälti perinteisten lamppujen korvaamista vastaavan näköisellä mutta LED-teknologialla toteutetuilla lampuilla. Kuitenkin parempi lopputulos voidaan ympäristön suunnitellussa saavuttaa kokonaisvaltaisella valaistuksen uudelleen suunnittelulla, jossa huomioidaan LED-valojen paljon pienempi ja joustavampi fyysinen koko ja muoto ja helpompi ohjattavuus. Tällöin voidaan jopa yhden tilan sisällä vaihdella valaistusta eri paikoissa ja luoda vaihtelevia oppimisympäristöjä.

Esimerkiksi UEF:ssa tehdään tutkimusta valaistuksen vaikutuksesta oppimiseen. Tutkimuksessa tarkastellaan myös valaistuksen värin vaikutusta oppilaisen käyttäytymiseen ja oppimistuloksiin. Jo aikaisemmissa tieteellisissä tutkimuksissa on maailmalla esimerkiksi havaittu, että käytettäessä sinisävyistä valoa voidaan oppimistuloksia parantaa. Samoin värien käytöstä opetuksessa ja oppimisympäristöissä on huomioitava, että jopa 5% ihmisistä kärsii jonkinasteisesta värisokeudesta.

Toisaalta tutkimustulokset värien ja valojen vaikutuksista oppimiseen eivät ole aina aivan yksiselitteisiä. Siten lisätutkimusta tarvitaan siitä, miten päästään oppimisen kannalta parhaimpiin luokkahuonevalaisuihin. Tämä tutkimus edellyttää selkeästi poikkitieteellistä lähestymistä, jossa huomioidaan valon fysikaaliset ominaisuudet, sen lääketieteelliset vaikutukset, ja vaikutukset oppimiseen.

Maailmalla on otettu myös jopa konenäköä avuksi oppilaiden tekemisen seuraamisessa. Esimerkiksi Kiinassa on raportoitu käytettävän joissain kouluissa konenäköä yhdessä tekoälyn kanssa siten, että oppilaiden käyttäytymistä ja vireystilaa tarkkaillaan automaattisesti. Toki tällaisessa toiminnassa on yksityisyyden suojan pohtiminen erittäin tarpeellista.

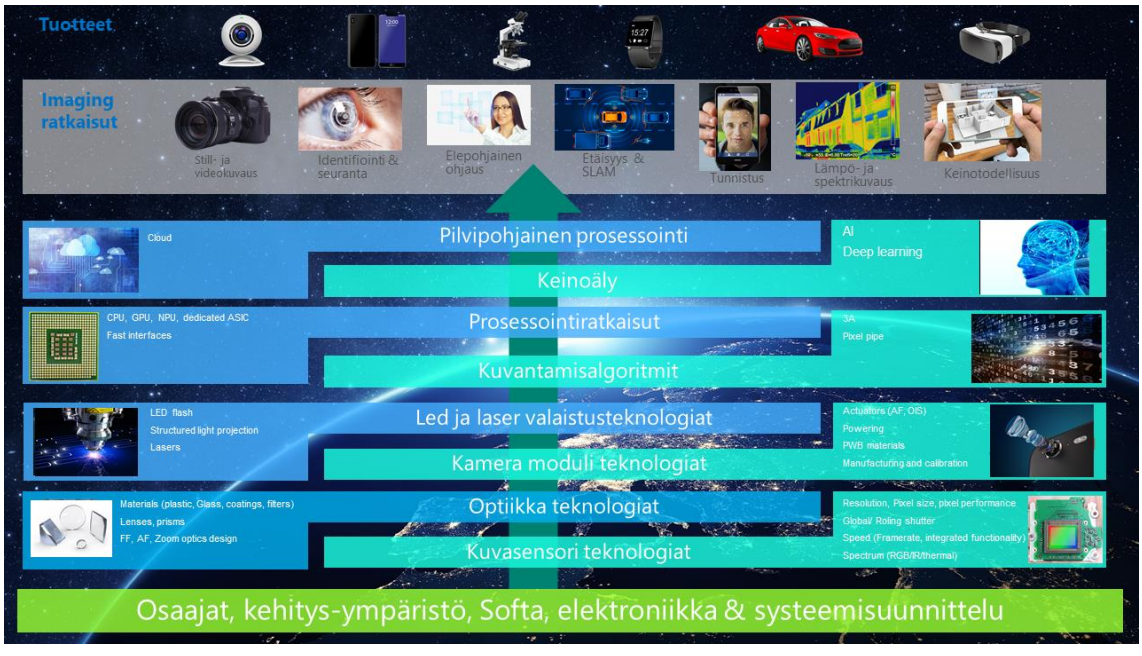
Fotoniikan uusien laitteiden ja menetelmien hyödyntämistä kouluissa on suhteellisen helppo testata. Yliopistojen yhteydessä toimivien normaalikoulujen rooli on toimia myös uusien opetusmenetelmien testipaikkana. Näissä tehtävillä testauksilla voidaan helposti toteuttaa laitteiden ja menetelmien testaamista aidoissa opetusympäristöissä.

3. FOTONIIKAN SOVELLUKSET MUIHIN GLOBAALISTI TÄRKEISIIN TEEMOIHIN

3.1. Kamerateknologiat

Nokian tuotekehityksen sivutuotteena Suomeen kehittyi erittäin vahva imaging(*) alueen osaamiskeskittymä. Kameran integroiminen matkapuhelimeen oli erittäin haastava ja erittäin nopeasti kehittyvä teknologia-ala. Nokia ylläpiti merkittävää investointitasoa tällä alueella yli 15 vuoden ajan ja Suomeen, lähinnä Tampereen alueelle, kehittyi valtavasti osaamista kaikille imagingin osa-alueille.

Imaging kokonaisratkaisujen suunnittelu vaatii erityisosaamista kameramoduliteknologioissa (optiikka, sensorit, optomekaniikka, nopea analogia- ja digitaalielektroniikka, liitäntäteknologiat), valaistusteknologioissa, kuvanprosessointialgoritmeissa (mukaan lukien keinoälyratkaisut), imaging järjestelmän systeemisuunnittelussa, testaus- ja verifiointijärjestelmissä ja toimitusketjun hallinnassa.



Kuva 15: Kuvantamiseen liittyvät osa-alueet. (Lähde: Eero Salmelin)

Osaamista kertyi sekä Nokian omaan tuotekehitykseen että Tampereen teknillisen yliopiston tiimeihin, joiden tutkimus auttoi Nokiaa ratkaisemaan

kriittisiä imaging haasteita. Nokian ja myöhemmin saman ryhmän jatkaessa Microsoftin palveluksessa imaging oli kovassa globaalissa kilpailussa yksi selkeitä vahvuusalueita tuotteissa ja tulokset olivat maailman huippua.

Microsoftin ajettua alas tuotekehitystoiminnot matkapuhelimien osalta Suomessa imaging alueen osaajat löysivät nopeasti uudet työnantajat sekä globaaleista yrityksistä (Huawei, Intel, Axon, Polight, AAC ja Powervision) että perustivat omia start-up yrityksiä (Grundium Oy ja Nomicam Oy). Nopea työllistyminen kuvaa myös tämän osa-alueen osaamisen huokuttelevuutta: kansainväliset yritykset olivat valmiita perustamaan yksiköt Tampereelle saadakseen nämä kehittäjät osaksi omaa tuotekehitystään. Tampereen alueesta käytetään myös leikillistä termiä “Imaging Silicon Valley”, joka kuvaa hyvin tätä merkittävää osaamiskeskittymää.

Nokia/Microsoft transition johdosta Suomen imaging kenttä on nyt paremmin diversifioitunut ja myös kasvumahdollisuudet ovat merkittävästi suuremmat. Perusteknologiat, jotka mahdollistavat kamerat kännykkään, ovat hyvin samanlaisia kuin mitä tarvitaan autossa, lääketieteessä, IOT-laitteissa tai roboteissa. Lisäksi matkapuhelinteollisuus suurien volumien ansiosta on ajanut kameroiden ja niihin liittyvien komponenttien hinnat erittäin edullisiksi, jolloin kameroiden integrointi uusille sovellutusalueille on mahdollista.

Imaging on merkittävässä asemassa jo nyt useilla eri teollisuuden aloilla ja sen asema tulee vahvistumaan entisestään tulevaisuudessa. Matkapuhelimeen integroidut kamerat ovat jo arkipäivää ja mahdollistavat videoiden ja kuvien tallentamisen helposti missä vaan. Mobiilikuvantamisen markkina jatkaa kasvuaan ja kehitys on edelleen erittäin nopeaa. Tämän lisäksi kuvantaminen mahdollistaa monia uusia asioita: robotit tarvitsevat silmät, autoissa kameroita käytetään moniin tarkoituksiin (kuljettajan seuranta, automaattinen ajaminen, peruutuskamerat), medical-alueella imaging mahdollistaa tarkemman diagnosoinnin ja lisäksi erilaiset valvonta- ja mittausalueet kehittyvät nopeasti. Lisäksi kameroita integroidaan olemassa oleviin kuluttajatuotteisiin ja uusia tuotteita syntyy jatkuvasti.

Keinoälyn ja kuvantamisen yhdistäminen tarjoaa myös valtavasti uusia mahdollisuuksia. Koneen kyky analysoida kuvaa nopeasti ja tarkasti koneoppimiseen ja keinoälyyn pohjautuvien ratkaisujen avulla mahdollistaa monia uusia sovelluksia, joiden tekeminen aikaisemmin oli mahdotonta tai vaati valtavia investointeja. Kuitenkin myös keinoälyratkaisujen kanssa on tärkeää ymmärtää ja kyetä suunnittelemaan kaikki järjestelmän osat tukemaan käyttötarkoitusta optimaalisesti. Tästä syystä osaamiskeskittymät, jossa hallitaan kaikki imaging osa-alueet ja kyetään nopeasti innovoimaan uutta, ovat erittäin tärkeitä.

Perinteisten kuvausominaisuuksien parantaminen tulee jatkumaan ja kilpailu kuvanlaadussa, hämäräkuvauskyvyssä ja zoom-kertoimessa jatkuu. Näiden lisäksi kameraan tarvitaan uusia ominaisuuksia, kuten kyky mitata etäisyysinformaatiota ja valon aallonpituuksia, jotka eivät ole ihmiselle näkyviä. Molemmat trendit tekevät kamerajärjestelmistä entistä monimutkaisempia: kameroiden määrä kasvaa kaikilla tuotealueilla ja investointitarve sekä komponentteihin että tuotekehitykseen kasvaa.

Yksi tärkeä uusi ominaisuus on syvyysinformaation mittaus ja sen käyttäminen kuvan prosessoinnissa ja konenäön tukena. Syvyysinformaation tallentamiseksi käytetään yleensä joko kahta tai useampaa kameraa, kamera-matriiseja tai aktiivista etäisyyskameraa (esimerkiksi *Time Of Flight* tai *Structured light* -teknologioita) ja sen avulla kuvaa voidaan prosessoida huomattavasti monipuolisemmin kuin pelkästään 2D informaation pohjalta. Kuvasta voidaan esimerkiksi sumentaa haluttuja alueita etäisyyden perusteella, jotta kuvasta saadaan samankaltainen kuin kalliilla järjestelmäkameralla ja kohde paremmin ”irti taustasta”, valaistusta voidaan korjata jälkikäteen luonnollisen näköisesti tai kuvaan voidaan lisätä lisätyn todellisuuden elementtejä (AR). Syvyysinformaatiota voidaan käyttää myös henkilön tunnistamiseen kasvonpiirteiden pohjalta. Suomessa *Structured light* –teknologiaa kehittävät muun muassa Nanocomp Oy ja Aalto-yliopiston start-up yritys Ladimo Oy.

Etäisyyksien kasvaessa, esimerkiksi itseohjautuvissa ajoneuvoissa, kilpaileva tai enemmin täydentävä teknologia on LiDAR.

Uusista imaging trendeistä on hyvä mainita myös 360 asteen kamerat, kuten edesmennyt Nokian OZO-kamera. Vaikka Nokia ei OZOn kehitystä jatka, on Suomeen keskittynyt paljon osaamista tällaisten ratkaisujen tekemisessä. 360 kamerat ja erityisesti 360 kamerat, joissa on myös syvyysmittaus kyky, ovat erittäin tärkeitä tulevaisuudessa. 360 kameran ja VR-lasien yhdistelmä mahdollistaa virtuaalisen läsnäolon maailman toisella puolella. Kuluttaja voi kokea vaikka konsertin tai tehdä vierailun tehtaaseen lähtemättä ollenkaan kotoa.

Sekä lisätty- että virtuaalitodellisuus ovat vielä kehityskaarensa alussa, mutta jo nyt on selvää, että imaging teknologiat ovat tärkeässä asemassa myös näiden ratkaisujen toteuttamisessa. Hyvä esimerkki on Microsoft Hololens, jossa on 5 kameraa ja yksi syvyyskamera https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hololens-hardware-details).

Imaging alueen yrityksillä on myös erinomainen mahdollisuuus kasvaa ratkaisujen kehittämisen kautta kehittämään omia tuotteita, jolloin lisäarvo, markkina-arvo ja kyky saada rahoitusta kasvaa merkittävästi. Suomessa ja Tampereen alueella on hyvät mahdollisuudet kasvattaa ja vahvistaa entisestään tätä imaging osamiskeskittymää ja siten mahdollistaa työpaikkojen luomisen tälle korkean lisäarvon kasvualueelle. Osaaminen on jo olemassa, jonka todistaa globaalien yritysten valtava kiinnostus Tampereen alueen Imaging osaajia kohtaan. Alueella on merkittävä keskittymä kansainvälisiä yrityksiä ja erittäin korkeatasoinen yliopisto, jota Tampere 3 -hanke entisestään vahvistaa.

Järjestelmien kehittyessä entistä monimutkaisemmiksi imaging-alueen teknologian osaaminen ja osaamiskeskittymät korostuvat, koska ne voivat tarjota yrityksille nopeita ratkaisuja monimutkaisiin ongelmiin. Yritykset haluavat erottua imaging-alueen ominaisuuksilla ja oma tuotekehitys on äärimmäisen tärkeää. Lisäksi kyky suunnitella ja rakentaa prototyyppi uudesta innovaatiosta nopeasti on avainasemassa globaalissa kilpailussa. Nopea prototyyppien rakentaminen

mahdollistaa nopean oppimissyklin ja tulee korostumaan yritysten ja tuotekehityskeskusten välisessä kilpailussa. Nopea prototyyppien rakentaminen ja siitä seuraava nopea oppiminen tulee ehkä jatkossa olemaan jopa tärkeämpää kuin massatuotannon hallinta.

Nopeaan prototyyppien rakentamiseen liittyy oleellisesti 3D-tulostus, jossa virtuaalinen mallia kirjaimellisesti muutetaan fyysiseksi esineeksi 3D-tulostimen avulla. Menetelmä on jo käytössä pikamallien valmistamisessa muun muassa arkkitehtuurissa sekä tuotemuotoilu- ja konesuunnitelussa, mutta myös tuotannossa koruteollisuudessa ja hammastekniikassa. Laserien kehityksellä on merkittävä rooli metallien 3D-tulostuksessa, jossa niin sanotulla lasersintrauksella metallipulveri muutetaan metallikappaleeksi. Kameroiden nopeaan prototyyppien rakentamiseen liittyy puolestaan alun perin Hollannissa start-up-yrityksen Luxexcel kehittämä Printoptical® Technology, joka on ainutlaatuinen uusi menetelmä optisen komponenttien, kuten linssien, valmistukseen 3D-tulostuksella. Luxexcelin keskittyessä silmälasiteollisuuden murrokseen, UEF kehittää kyseistä teknologiaa erilaisiin teollisuuden optiikan tarpeisiin.

Nopeaan tuotekehitysympäristöön liittyen seinäjoella toimiva Sofica Oy on tuonut markkinoille kohtuuhintaisen automaation ja robotiikan, joka soveltuu tuotekehitysympäristöön nopeuttamaan ja parantamaan kamerasysteemien suunnittelua.

Imaging-alueen osaajat ovat erittäin vahvasti verkottuneita sekä alueen sisällä että globaalisti ja tämä mahdollistaa kasvun jatkumisen olettaen, että uusia osaajia, joilla imaging-alueen perusosaaminen hallussa riittää Suomessa. Suurin osa imaging-alueen osaajista on “itseoppineita”. Peruskoulutus suurella osalla on elektroniikan, signaalinkäsittelyn tai ohjelmistotieteen DI-tutkinto, mutta varsinainen imaging alueen osaaminen on kertynyt työelämässä. Varsinaista “imaging masters” ohjelmaa ei yliopistoissa ole tarjolla. Koulutus, joka kasaisi imaging alueella tarvittavan end-to-end osaamisen selkeään opetuskokonaisuuteen, olisi erittäin tervetullut. Tällöin yrityksille olisi tarjolla

valmiimpia osaajia ja nopeampi kasvu olisi mahdollista. Lisäksi osaajien kouluttaminen imaging alueelle mahdollistaisi uusien yritysten syntymisen, sillä kysyntä innovaatioille tällä alueella on erittäin suurta ja innovaatioiden tekeminen on mahdollista olemassa olevan osaamiskeskittymän ansiosta. Imaging on alana vielä hyvin nuori ja sen nousu merkittäväksi toimialaksi lähti kameran integroimisesta matkapuhelimiin 2000 luvun alussa. Tästä alkoi nopean kasvun aika joka jatkuu edelleen. Esimerkiksi AAC ilmoitti syyskuussa 2018 että heillä on tavoite kasvattaa Tampereen nykyinen 20 hengen tiimi 100 henkilöön kolmessa vuodessa. Myös muut alueen yritykset jatkavat kasvua ja uusia osaajia kaivataan alalle jatkuvasti.

Kilpailu osaajista on myös globaalia: Suomi on menettänyt joitakin osaajia ulkomaille, mutta viime aikoina trendi on kääntymässä ja osaamiskeskittymän vetovoima kasvaa jokaisen positiivisen uutisen myötä. Jo nyt useita aiemmin Suomesta lähteneitä on palannut ja lisäksi Suomeen on saatu osaajia ulkomailta tänne tuotekehitysyksikön perustavien yritysten mukana. Osaajien houkutteleminen Suomen ulkopuolelta onkin jatkossa erittäin tärkeää ja vahva osaamiskeskittymä lisää alueen houkuttelevuutta kansainvälisten osaajien silmissä.

Yritykset ja toimijat:

- Tampereen teknillinen yliopisto/Tampere3, VTT Oy
- Globaalit yritykset: Huawei, Intel, AAC, Axon, Polight, Powervision, Procemex Oy
- Suomalaiset yritykset: Nomicam Oy, Grundium Oy, Noisless imaging Oy, Helmee imaging Oy

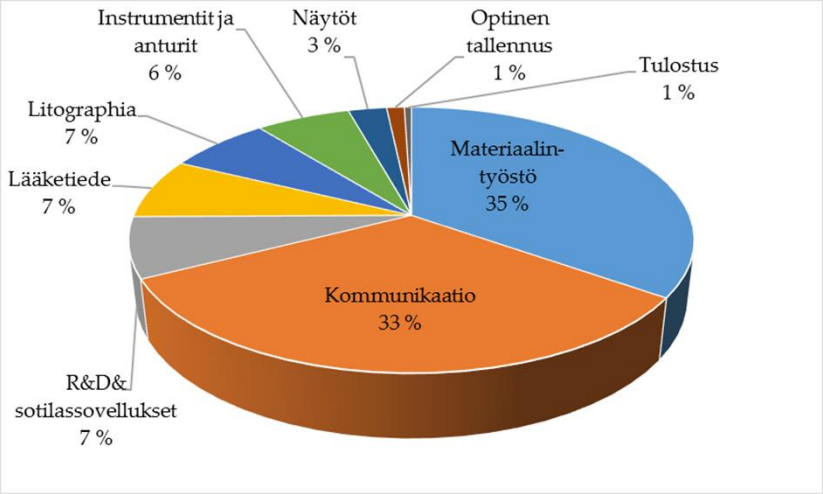
Sovellus alueet:

- Mobile
- Automotive
- Medical
- Robotics
- Manufacturing automation
- IOT
- AR/VR

(*) Termillä “Imaging” tarkoitetaan laajasti kaikkea digitaalisen kuvan luomiseen tarvittavaa teknologiaa. Kuva voi olla tarkoitettu joko ihmisen silmille tai tietokoneen analysoitavaksi

3.2. Teollisuus 4.0

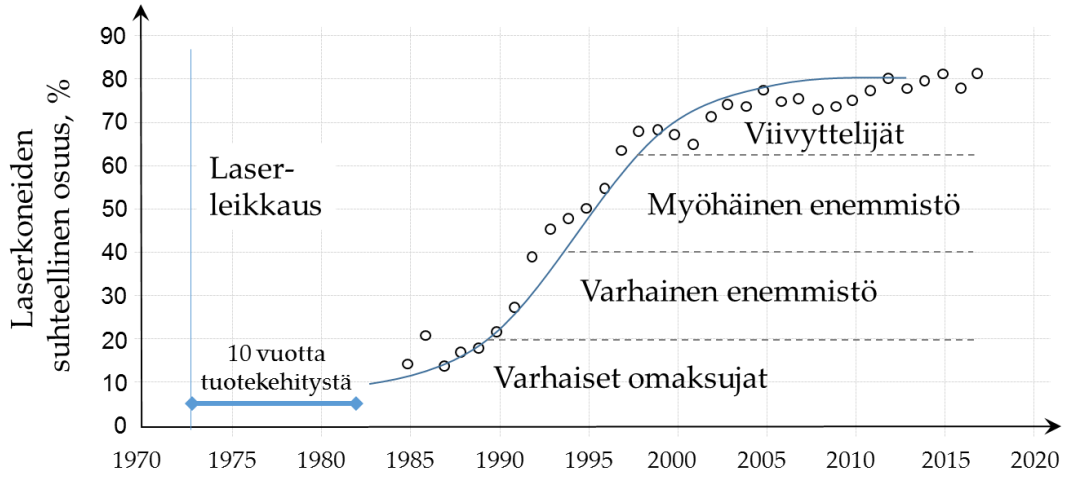
Lasertyöstössä lasersädettä käytetään materiaalin työstämiseen. Materiaalin työstömenetelmiä on useita: erottavat, liittävät, muokkaavat, poistavat ja lisäävät menetelmät. Laser on siinä mielessä erikoinen valmistuksen työkalu, että sitä käytetään näissä kaikissa työstötavoissa. Sädettä käytetään eri tavoin eri prosesseissa ja periaatteessa yhdellä laserilla voi tehdä useita eri prosesseja. Lasertyöstöt ovat suurin laserin käyttökohteista.



Kuva 16: Laserin eri käyttökohteiden suhteelliset osuudet vuoden 2017 laserien kokonaismarkkinasta 10,5M € (Lähde: Antti Salminen, lähdemateriaali Kincade, K., Nogee, A., Overton, G., Belforte, D., Holton, C., Annual Laser Market Review & Forecast: Lasers enabling lasers, Laser Focus World, Issue 1, 2018)

Lasersäteen käyttöön perustuvia työstöprosesseja on kymmeniä ja on tyypillistä, että joka vuosi kehitetään joku uusi tapa työstää materiaalia. Lasertyöstö on disruptiivinen mahdollistava tekniikka, joka vaikuttaa liiketoimintamalleihin, tuotteisiin, tuotantoon ja jakeluun. Monet nykyisin valmistettavat tuotteet ovat olleet mahdollisia lasertyöstön ansiosta. Esimerkiksi kuuluisa Mooren laki on toteutunut ja toteutuu lasertyöstön ansiosta, henkilöauton automaattivaihteiston valmistus edellyttää laserhitsausta ja niin edelleen. Tyypilliset laserit näissä

sovelluksissa ovat varsin suurtehoisia. Tyypilliset tehot ovat välillä 50W–30kW, mutta joissakin prosesseissa pulssitehot ovat terawatteja. Lasertyöstön osuus valmistuksessa kasvaa voimakkaasti koko ajan ja sen sovellukset ulottuvat tietokoneen näppäinten merkkauksesta näönkorjauslasereihin (esimerkiksi femtolasik ja laivanhitsaukseen. Teknologia mahdollistaa uudet paremmat tuotteet ja kaikki tärkeimmät kilpailijamaat panostavat näihin huomattavasti. Lasertyöstökoneiden myynti on kasvanut keskimäärin 10% vuosittain vuodesta 1986 alkaen. Tänä aikana lasertyöstölaitteiden markkina on kasvanut 13 kertaiseksi, kun muiden valmistustekniikoiden laitemarkkina on kasvanut vain 2,5 kertaiseksi. Hyvä käytännön esimerkki on ohutlevyjen leikkaus. Laserleikkaus on keksitty vuonna 1976. Teknologia ei juurikaan edennyt ensimmäisen vuosikymmenen aikana. Mutta, kun perus laitekonsepti oli tutkimuksen kautta kehitetty, laserkoneiden osuus kaikista levyntyöstökoneista kasvoi tasaisesti ja ylitti viime vuonna 80% eli käytännössä teknologia on ottanut koko markkinan hallintaansa. Tämä johtuu suurelta osin siitä, että lasertyöstö tarjoaa selkeitä etuja tuotesuunnittelussa perinteisiin menetelmiin verrattuna. Työstölaserteknologian kehitys on huomattavasti nopeampaa kuin muiden tekniikoiden. Lähinnä sitä voi verrata tietotekniikan kehitykseen. Tämä kehitys tuottaa yhä parempia ja edullisempia lasereita markkinoille kiihdyttäen kehitystä.



Kuva 17: Laserleikkaus on vienyt koko ohutlevymarkkinan 15 vuoden aikana (Lähde: Antti Salminen. , lähdemateriaali Peter Leibinger: Laser the New Business Machine. AKL- International Laser Technology Congress, May 2-4, 2018 Aachen. Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT)

Lasertyöstöstä käytetään myös nimeä *Digital Photonic Production* (DPP) ja se on valmistuksen digitalisaation kovassa ytimessä. Lasertyöstössä prosessiin osallistuu tyypillisesti lasersäde, materiaali ja digitaalinen malli tuotteen valmistuksesta. Fyysistä kuluvaa työkalua ei ole, jolloin saavutetaan parempi tarkkuus ja tasainen laatu. Kaikki prosessiparametrit ovat digitaalisesti hallinnassa, jolloin prosessin laaduntuottokyky on tyypillisesti erittäin hyvä. Tämä toimintaperiaate mahdollistaa erittäin hyvä joustavuuden ja valmistussarjakoon muutokset. Jokainen tuote voi olla yksilö tai yksilölle räätälöity. Lasertyöstö tukee globaalia individualisaatiotrendiä mahdollistamalla vapaamman muodon valmistuksen. Esimerkiksi Saksassa DPP on oleellisessa roolissa Teollisuus 4.0:n kehityksessä. Hyvänä esimerkkinä panostuksesta tähän teknologiaan on esimerkiksi Aachenissa toukokuussa 2018 avattu aiheeseen keskittyvä tutkimuskeskus (*Cluster of Excellence Advanced Photon Sources*), jossa interdisiplinääriset tutkimusryhmät työskentelevät yhdessä teollisuuden kanssa. Teollisuus on panostanut keskukseen myös huomattavasti ja sijoittanut sinne omia T&K&I yksiköitään ja tarjoamalla oma tutkimuslaitekantaansa tutkimuslaitosten käyttöön.

Lasertyöstöt ovat tyypillisesti ympäristön kannalta erittäin hyviä valmistusmenetelmiä, sillä ne mahdollistavat materiaalin tehokkaamman käytön ja kevyemmät käyttökohteen mukaan räätälöidyt rakenteet. Tuotteen elinkaarikustannus alenee, kuten myös hiilijalanjälki. Laserin heikkous on ollut huono hyötysuhde sähköstä valoksi, mutta tuo asia on kehittynyt huomattavasti viime vuosien aikana ja tällä hetkellä tehokkuus alkaa olla myyntivaltti.

Suomessa on lasertyöstöä käyttäviä yrityksiä noin 300, mutta työstölaserkoneita tai niihin liittyviä tuotteita valmistavia yrityksiä vain kourallinen. Tämä on yksi alan heikkous: tuomme koneita ulkomailta, jolloin osa täällä tehtävistä tuotekehitysideoista ja –ratkaisuista valuu kilpailijamaihin laitevalmistajien kautta. Laseria tuotannossaan käyttävistä yrityksistä valtaosa käyttää ”helpoimpia” prosesseja, joiden käytön kilpailuetu on pienehkö. Näitä jo mahdollisuutensa suurelta osin lunastaneita prosesseja ovat metallin leikkaus ja merkkaus. Vaativampien prosessien, kuten hitsaus tai metallien 3D-tulostuksen käyttö, on varsin vaatimatonta. Hitsauskoneita on parikymmentä ja metallien 3D-tulostimia kaksi teollisuudessa. Tämä on merkittävä ongelma ja vaarantaa teollisen kilpailukykymme. Esimerkiksi hitsauksessa ja metallien 3D-tulostuksessa olimme selvästi Ruotsia edellä, mutta nyt tilanne on kääntynyt päinvastaiseksi Ruotsissa toteutetun panostuksen ansiota.

Työstölasereiden valmistajat ovat saksalaisia, yhdysvaltalaisia ja yhä kasvavassa määrin kiinalaisia valmistajia. Muissa Euroopan maissa, kuten Englannissa, Ranskassa, Sveitsissä, Suomessa ja Tanskassa, on yksittäisiä valmistajia. Esimerkiksi Hypermemo Oy on kehittänyt täysin uudenlaisen laserin, jolla voidaan leikata vaativaakin lasia, kuten älypuhelimen äärimmäisen kovaa näyttölasia sekä monikerroksista päällystettyä ikkunalasia. Primoceler Oy on puolestaan kehittänyt laserteknologian lasilevyjen hitsaamiseen. Tyypillisesti työstössä käytetään lasertyöstösysteemiä, jossa laser on ydinkomponentti, jota niin sanottu systeemi-integraattorit hyödyntävät niitä tehdessään tuotantoon sopivia työstökoneita.

Lasersysteemien markkina on huomattavasti suurempi kuin lasermarkkina. Nämä yritykset ovat keskittyneet Saksaan, Kiinaan, Italiaan, Ranskaan, Yhdysvaltoihin. Niin Puola kuin myös Turkki on kasvattanut rooliaan systeemien valmistuksessa. Tässä markkinassa Suomen rooli on häviävän pieni. Laitevalmistajia on 2-3 (loimaalainen Pemamek Oy ja hyvinkääläinen Ionix Oy) ja nekin tekevät yksittäisiä järjestelmiä silloin tällöin. Kotimaisten integraattoreiden puuttuminen vaikeuttaa teknologian varaan rakentuvan ekosysteemin ja merkittävän liiketoiminnan kasvua. Tällä hetkellä elämme tuontikoneiden varassa, vaikka korkeatasoisella konetekniikan teollisuudellamme olisi osaamista valmistaa tämän tyyppisiä laitteita ja luoda uutta vientiin perustuvaa liiketoimintaa.

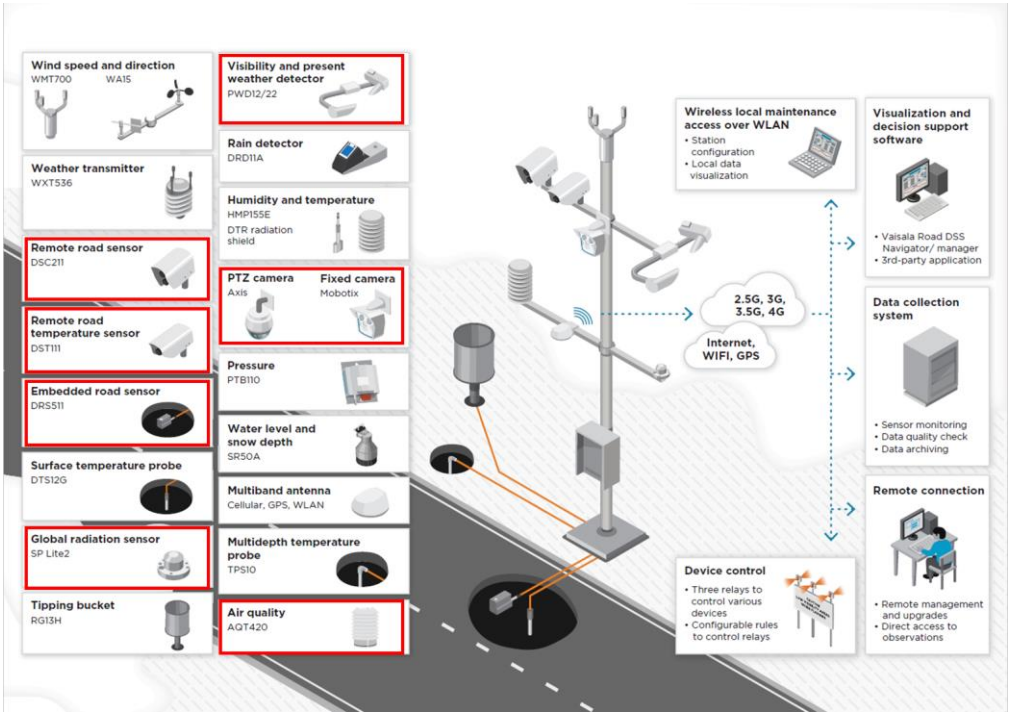
Työstölasereiden valmistuksessa Suomessa on kohtuullinen liiketoiminta. Lasereita valmistetaan paljon ja suurin osa niistä menee vientiin. Valitettavasti valmistus tapahtuu maailman suurimman laservalmistajan, yhdysvaltalaisen Coherent Inc.in suomalaisessa tytäryhtiössä.

Lasertyöstön tutkimuksessa on tapahtunut valitettava käänne. Vielä viisi vuotta sitten merkittäviä tutkimusyksiköitä oli noin kymmenen. Rahoituksen vähentymisen vuoksi yritykset leikkasivat T&K budjettiaan, jolloin VTT Oy lopetti alan tutkimuksen ja muutkin keskukset vähensivät toimintaansa niin, että tällä hetkellä aktiivisia T&L&I ryhmiä on enää kolme. Suomessa olisi osaamista niin työstölasereiden kuin työstösysteemien valmistukseen, mutta lähes olematon kotimarkkina ei mahdollista liiketoiminnan kasvua. Yritykset ovat liian arkoja panostamaan uuteen tekniikkaan, joka puolestaan vaikeuttaa uusien liiketoimintamahdollisuuksien hyödyntämistä. Tilanteen muuttamiseen tarvittaisiin yhteiskunnan tukea ja apua esimerkiksi Business Finlandin valmistukseen suunnatulla rahoituksella. Laiterakentamiseen Suomessa olisi osaamista, mutta ilmeisesti ei riittävästi pääomaa.

3.3. Liikenne

Sovellukset tänään

Fotoniikka hyödynnetään liikenteessä merkittävästi, sillä pääosa valvonta- ja liikenteen hallintajärjestelmistä perustuu kameratekniikalla kerättyyn informaatioon. Optinen mittaustekniikka on tärkeässä roolissa myös liikennesäätä koskevissa havainnoissa: tiesääasemien tärkeimpiin mittausparametreihin kuuluvat näkyvyys ja tien pinnan tila (kuiva/märkä/jäinen/luminen), joita molempia mitataan optisesti (Kuva 18).



Kuva 18: Liikennesään mittauksissa hyödynnetään laajasti fotoniikkaa. Vaisala Oyj:n tiesääaseman antureista lähes puolet perustuu fotoniikkaan (merkitty kuvassa punaisin kehyksin). (Lähde: Vaisala Oyj) j)

Autojen kuljettajan tukijärjestelmien anturointi koostuu radiopohjaisista tutka-järjestelmistä, ultraääniantureista sekä auton sisäisistä kinematiikka mittaavista kiihtyvyysantureista ja gyroista. Painopiste ympäristönhavainnoinnissa on siirtymässä optisiin järjestelmiin (Kuva 19). Kaistavahdit ja kuolleidenkulmien anturointi pohjautuvat kamerapohjaiseen kaistaviivojen tunnistamiseen.

Adaptiiviset vakionopeussäätimet käyttävät 77 GHz alueella toimivia tutkia. Lisäksi uusimmat hätäjarru- ja esteiden väistöön tarkoitetut tukijärjestelmät ovat laserskanner-pohjaisia. Optisten järjestelmien resoluutio on merkittävästi parempi verrattuna tutka- tai ultaääni pohjaisiin ratkaisuihin, mutta niiden levinneisyyttä rajoittaa hinta ja erilaisten ympäristöolosuhteiden sietoisuus (lumi, sumu, ja niin edelleen).



Kuva 19: Automaattiautojen kehitys vaatii niin kamera, LiDAR kuin ympäristöolosuhteiden tuntemusta. Robottiauto Marilyn sumutesteissä. (Lähde: VTT)

Fotoniikkaa hyödynnetään myös autojen valoissa, jotka ovat nykyisellään yhä useammin LED-pohjaisia. LEDien etu on niiden kirkkaus ja kestävyys. LED-tekniikkaa mahdollistaa autojen valojen adaptiivisen kohdistamisen oikeaan kohteeseen ajon aikana.

Fotoniikan sovellukset liikenteessä eivät rajoitu tieliikenteeseen. Myös lentoliikenteen ohjaus ja valvonta on riippuvainen säätilasta ja lentokenttien meteorologisista mittauksista. Erityisesti on syytä mainita kaksi tärkeää mittausparametria – näkyvyys ja pilvenkorkeus – joiden mittaaminen perustuu

fotoniikkaan. Tällä alueella, samoin kuin tieliikenteen optisissa mittauksissa, on suomalainen osaaminen vahvaa muun muassa Vaisala Oyj:n ollessa globaali markkinajohtaja niin optissa tiesää- kuin lentokenttämittauksissakin.

Tulevaisuus

Eurooppalaisen autoteollisuuden toimintakenttä on muodostunut pitkälle perinteisten autonvalmistajien ympärille (Daimler, Audi, Renault ja niin edelleen), jotka on ovat viimeisen 5-10 vuoden aikana kasvattaneet merkittävästi panoksiaa ICT:ssä ja mikroelektoniikassa. Syy tähän on autojen automaatiokehitys, joka nojaa tietotekniikkaan. Henkilö- ja tavaraliikenteen automatisointi on todettu yhdeksi suurimmista mahdollisuuksia tuovista muutoksista sekä mahdollisuukista uusien arvoverkkojen luontiin. Yhdysvalloissa, Venäjällä ja Kiinassa uudet toimijat (Google, Uber, Apple, Yandex, Beidou ja niin edelleen) ovat murtautumassa perinteisten autonvalmistajien rinnalle keihäänkärkenään autoissa oleva älykkyys, joka on rakennettu ohjelmistojen avulla. Automaattiautojen kehityksessä tärkeää on sen tilannetietoisuus, jonka kulmakivi on tarkat ja vikasietoiset anturiratkaisut. Kehityspanokset ovat suuntautuneet erityisesti 3D-näkemisestä paitsi stereokameroiden niin myös laserskannereiden muodossa. Yhdysvaltoihin on viiden vuoden aikana syntynyt yli 200 uutta start-up yritystä kehittämään erilaisia laserskanner/LiDAR-pohjaisia ratkaisuja.

Korkean resoluution antureiden lisäksi autoihin ollaan lisäämässä kuulo- ja puhekykyä verkottamalla niitä keskenään sekä hyödyntämään tieinfrassa valmiina olevaa anturointia. Tällä pyritään paitsi ennakoimaan toisien ajoneuvojen käyttäytymistä niin myös jakamaan anturitietoa, jolloin tilannetietoisuus etäisyyttä voidaan kasvattaa oman auton anturoinnin ulkopuolelle (>250 m). Osana tilannetietoisuuden kehitystä autot oppivat myös hyödyntämään ennakoivasti liikenneinfran tarjoamaa informaatiota, kuten tiesääasemien tuomia kelitietoja. Tulevaisuudessa autot jakavat keskenään jopa niin sanottua raakadataa antureiden välillä kunhan tietoliikenneyhteyksien nopeudet kasvavat 5G-kehityksen myötä. *Visual Light Communication* (VLC) on yksi potentiaalinen autojen tietovaihtokanava, jota tutkitaan erityisesti

Yhdysvalloissa. Siinä autojen LED-ajovalot (sekä etu- että takavalot) sisältävät koodattuja viestejä. VLC:n hyvä puoli on valojen olemassa olo autoissa ja niiden käyttäminen jo nykyisin viestinnässä (jarruvalo, vilkku, ja niin edelleen).

Merkitys Suomen kilpailukyvylle

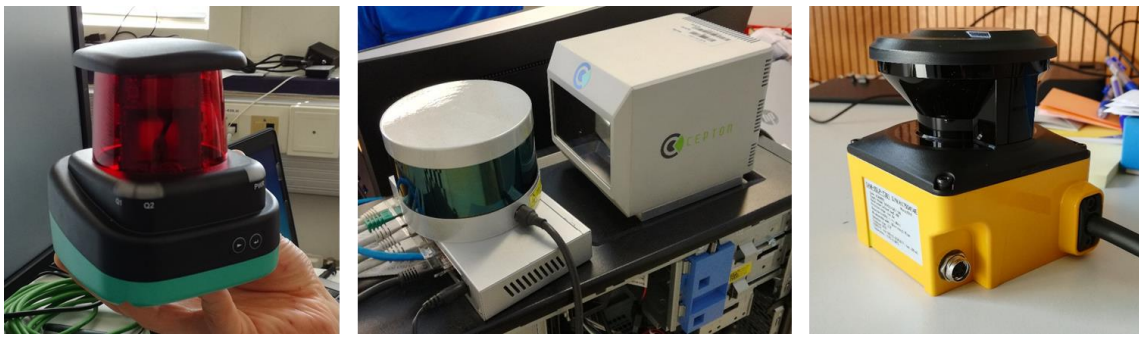
Anturointi ajoneuvoissa on avainteknologioita automaatiokehityksen edistyessä. Siinä siirtymää tapahtuu radiopohjaisista järjestelmistä optisiin niiden resoluution vuoksi, joka mahdollistaa tarkemman hahmontunnistuksen. Optisten ja fotoniikka komponenttien suunnittelu ja valmistaminen vaatii paljon erikoisosaamista, jota on vaikea löytää niin sanotun halvan työvoiman maista. Toisaalta tuotantoa voidaan pitkälle automatisoida, jolloin työvoimakustannusten osuus on minimaalinen materiaalikustannuksiin nähden. Tämä tekee autoteollisuuden komponenttien massavalmistuksen kannattavaksi myös Suomessa, kuten Ruotsissa ja Saksassa. Veoneer (entinen Autoliv) on laajentamassa on laajentamassa optisten antureiden sarjavalmistusta pienehkössä Vårgårdassa huolimatta viereisten Saabin tehtaiden lopettamisesta. Myös Saksassa on kyetty säilyttämään autoteollisuuden antureiden massavalmistus ja laajentamaan sitä erikoisosaamisvaatimusten vuoksi.

Automaatiokehitys autoissa asettaa myös paineen etenkin kotimaiselle työkoneteollisuuden kilpailukyvyn ylläpidolle. Se on pakotettu seuraamaan alan kehitystä, sillä markkinat ovat globaalit ja autoteollisuuden massakomponentit tulevat osaltaan myös niiden saataville. Toisaalta isot autoteollisuuden alihankkijat eivät ole halukkaita räätälöimään tuotteita pienempiä sarjoja varten, joka avaa markkinoita ketterille toimijoille.

Tieinfran puolella optista tunnistamista on käytetty tietulli, tiesää ja liikenteenhallinnassa/-valvonnassa pitkään. Siirtymä digitaalisen tieinfran hyödyntämiseen autojen anturoinnissa pakottaa myös perinteiset valvontajärjestelmien toimittajat kehittämään tuotteita tarkemmiksi, mutta toisaalta mahdollista laadukkaan datan hinnoittelun ja siten uuden ansaitalogiikan muodostamisen.

Merkitys Suomen yhteiskunnalle

Itseohjautuvien autojen kehittäminen on tällä hetkellä vaiheessa, jossa kehitetään ja etsitään uusia kumppanuuksia ja käänteentekeviä teknologioita. Autoteollisuus ja niiden isot Tier 1 -tason alihankkijat muodostavat liittoumia (esimerkiksi Bosch-Daimler, Velodyne-Renovo, VW-Bosch-Continental-NVIDIA) erilaisten tekniikoiden ristiinkehittämiseksi. Autoteollisuuden toimijat, kuten BMW ja Audi, ovat perustaneet omia lupaaviin pienyrityksiin sijoittavia osastoja. Alan perinteinen alihankintaketju on murtumassa ja se avaa väyliä uusille radikaaleille teknologioilla, joista LiDARit ja optiset anturijärjestelmät ovat tekoälyn ohella kuumin aihe (Kuva 20). Frost&Sullivanin (Frost&Sullivan, 2018) ennusteen mukaan automaattisten autojen markkinat ovat vuonna 2021 noin 12 miljardia USD ja kasvavat vuoteen 2030 noin 60 miljardiin USD:iin. Automotive LiDAR -markkinoiden koko (EPIC, 2017) on tänään noin 215M USD ja sen ennustetaan kasvavan vuoteen 2022 mennessä 1,2 miljardiin USD:hen automaatiokehityksen ansiota. Tästä pienikin siivu merkitsee aina miljoonien liikevaihtoa sekä tuhansia työpaikkoja erikoisosaamista vaativien komponenttien kehittämiseen.



Kuva 20: Markkinoilla olevia auto- ja työkone LiDAReita. (Lähde: VTT)

Työkone ja digitaalisen liikenneinfran sektorit eivät kiinnosta isoja Tier 1 -tason alihankkijoita. Toisaalta niitä kiinnostaa tietää mikäli näillä sektoreilla syntyy uusia innovaatioita, joita nekin voivat hyödyntää.

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet

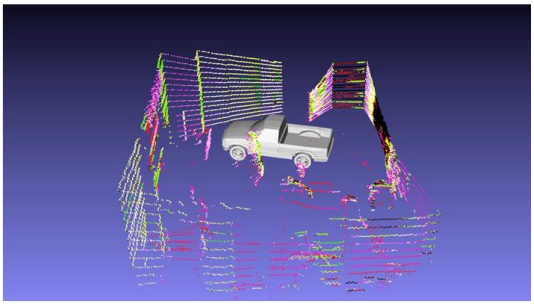
LiDAR ja koko automaatiokehityksen merkittävin voima tulee Yhdysvalloista. Tämän Euroopan autoteollisuus ja myös EU:n talous kokee uhkana ja haluaisivat Eurooppaan merkittäviä optisten antureiden valmistajia, jotka ovat USA:sta tai Kiinasta riippumattomia. Tämä on jo avannut jonkin verran markkinoita suomalaisille toimijoille eurooppalaisessa pelikentässä, sillä matkapuhelinten kulutuselektroniikan puolelta fotoniikan ja optiikan osaaminen on Suomessa hyvällä tasolla ja valmiuksia soveltaa ICT-teollisuuden kautta uusia komponentteja on olemassa.

Haasteena on pienien yritysten tunnettavuus isoissa organisaatioissa ja valmiiden integroitujen anturiratkaisujen tarjoaminen. Autotehtaat tai edes Tier 1 -tason alihankkijat eivät osta linssejä, lasereita, yksittäisiä komponentteja, vaan haluavat valmiita paketteja, joka toimii vaatimusten mukaisesti ja ovat kestäviä ilman vaaraa autojen takaisinvedosta komponenttien rikkoontumisen vuoksi. Eri toimijoiden komponenttien yhdistäminen ja integrointi on olennainen seikka mikäli autoteollisuuden massamarkkinoille halutaan. Siinä on myös alan tutkimusosapuolilla on tehtäväkenttää. Toisaalta komponenttien yhdistäminen luo lisää jalostusarvoa, joka on kansallisesti toivottavaa ja samalla avaa isompia markkinoita myös Euroopan ulkopuolelta.

Suomessa on jo vahvaa teknologiaosaamista LiDAR-teknologian alueella, joka tukeutuu vahvasti puolijohde- ja laser-teknologiaan, optiikkaan ja sensoridatan käsittelyyn. Suomalaiset toimijat kuten Vaisala Oyj, Modulight Oy, Oplatek Group Oy ja VTT Oy ovat olleet mukana jo vuosia eurooppalaisissa tutkimushankkeissa yhdessä autoteollisuuden kärkitoimijoiden (muun muassa Daimler, Renault, Fiat, Autoliv, Ibeo, SICK ja Bosch) kanssa. Suomeen on myös perusteilla kansallinen LiDAR-ekosysteemi Business Finlandin tuella, johon pyritään keräämään kaikki teknologiatoimittajat ja sekä mahdolliset loppukäyttäjät. Tavoitteena on yhdessä kehittää laajempia tuotekokonaisuuksia ja vahvistaa toimijoiden asemaa arvoketjussa. Suomella on erinomainen mahdollisuus hyödyntää tätä voimakkaasti kasvavaa markkinaa, jossa

vaaditaan useiden kärkiteknologioiden yhdistämistä monimutkaisiksi älykkäiksi lopputuotteiksi (*Kuva 21*)





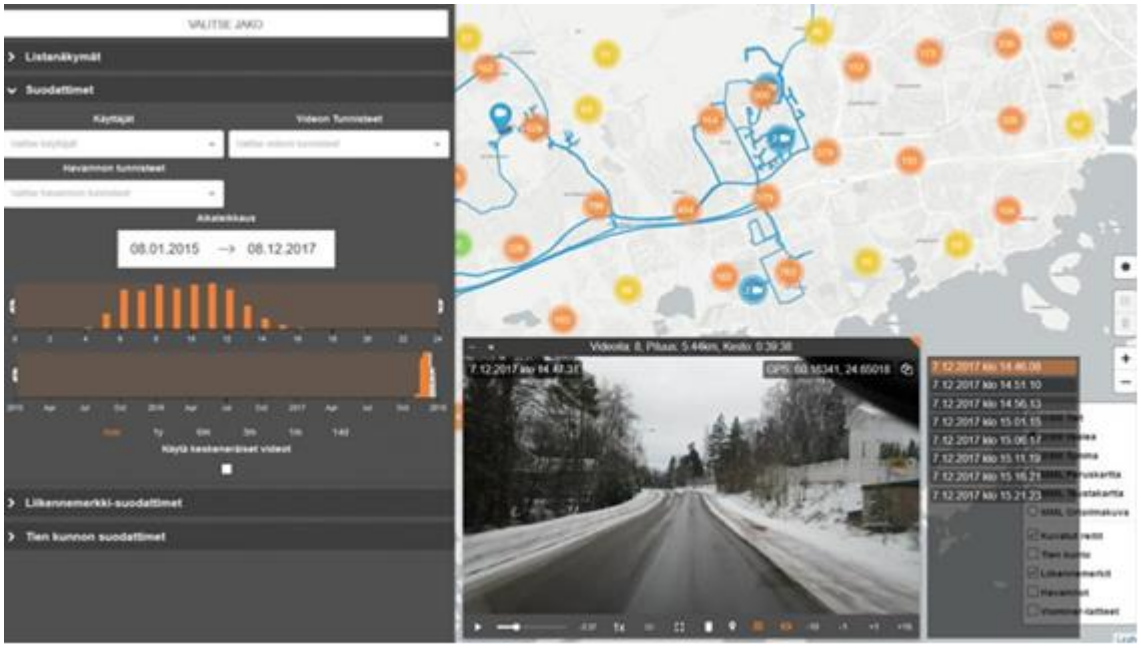
Kuva 21: Anturit, mittauskortit ja ohjelmistot ovat antureiden tärkeimpiä komponentteja. (Lähteet: vas. Vaisala Oyj, oik. VTT).

Onnistuminen LiDAR-teknologioiden ja verkottuneiden ajoneuvojen markkinassa vaatii kuitenkin merkittävää ja pitkäjänteistä panostusta useiden vuosien ajan sekä yrityksiltä että myös julkisen teknologiarahoituksen puolelta. Menestykseen voidaan vaikuttaa myös maakohtaisella säätelyllä, esimerkiksi tukemalla toimenpiteitä, joilla Suomesta voisi tulla maailmanlaajuisesti merkittävä testausympäristö itseohjautuville verkottuneille ajoneuvoteknologioille. Suomi on tunnettu autoteollisuudessa talviolosuhdetestauksesta ja myös ensimmäisistä itseohjautuvien ajoneuvojen testausympäristöistä niin Lapissa (Aurora E8 älytie/Muonio ja StarGate/Sodankylän lentokenttä) kuin Etelä-Suomessakin (KymiRing/Iitti, Otaniemi/Espoo, Hervanta/Tampere) ja näitä toimenpiteitä tulee vahvistaa myös jatkossa.

Suomessa on voimakasta työkone ja ajoneuvoteollisuutta, joka kannattaa huomioida vastaavana markkinana. Niiden tuotantomäärät ovat pieniä verrattuna autojen massavalmistukseen, mutta toisaalta ne eivät ole niin hintakriittisiä ja toisaalta autoteollisuuden perinteiset antureiden massavalmistajat eivät ole valmiita myymään työkoneiden vaatimia piensarjoja. Tämä on hyvä mahdollisuus

räätälöidä ja vahvistaa samalla sekä kansallista fotoniikan että työkoneteollisuuden kilpailukykyä.

Yksi tulevaisuuden trendi on se, että koko liikenneympäristö verkottuu IoT-pilveksi, joka on yhdistetty erilaisten kommunikaatioratkaisujen (ITS G5, 5G, jne) avulla toisiinsa. On todennäköistä, että eri autojen anturit vaihtavat anturitietoa (raakadataa) niin toisten autojen kuin liikenneinfran kanssa, jolloin puhutaan yhteistoiminnallisesta anturoinnista, jonka tiedonvälityskapasiteetin kasvaminen mahdollistaa. Tässä suomalaisella telekommunikaatio ja anturiosaamisella olisi mahdollisuus olla etulyöntiasemassa. Tätä edesauttaa myös edellä mainittu vahva osaaminen liikenneinfran optisissa mittauksissa (Kuva 22)



Kuva 22: Vaisalan konenäköön perustuvan liikenneinfran valvontajärjestelmän näyttö. (Lähde: Vaisala Oyj)

3.4. Matkailu

Fotoniikan mahdollisuudet

Valo ja visuaalisuus liikuttavat ihmisiä enemmän kuin mikään muu taidemuoto maailmassa tällä hetkellä. Maailmalla valofestivaalit kasvavat vauhdilla ja valoa

käytetään kaupunkien markkinointiin ja lisäämään kaupunkien vetovoimaa. Tästä on lukuisia esimerkkejä, joista tässä muutamia valofestivaalien osalta, joilla on merkittävä matkailullinen vaikutus ja jotka lisäävät alueen vetovoimaa merkittävästi:

LUX- Helsinki

Parhaina vuosina LUX-Helsinki kerää yli 660 000 kävijää ja saavuttaa merkittävää kansainvälistä näkyvyyttä. Kyseessä on Suomen suurin yleisötapahtuma kautta aikojen, joka sopii kaikille ikäryhmille taustoista ja iästä riippumatta. Kustannus per kävijä on alle metrolipun hinnan, joten tämän arvo myös Helsingin markkinointina on erittäin kustannustehokas ja moninainen.

Jyväskylän Valon kaupunki

Jyväskylän Valon kaupunki on pitkä hanke, joka on säästänyt julkisessa valaistuksessa sähköä yli 40% verrattuna 2008 vuoteen, mikä on suoraan rahassa noin 1M € kustannussäästö per vuosi. Pysyviä valotaideteoksia on saatu jo noin 100 ja ongelma-alueita on saatu siistittyä paljon. Vetovoima kaupunkiin on lisääntynyt merkittävästi positiivisen näkyvyyden ja visuaalisuuden kautta. Vuotuiset kansainvälisen tason artistit ylittävät valtakunnallisen mediakynnyksen joka vuosi.

Glow - Festivaali Eindhoven / Hollanti

Glow on jokavuotinen valofestivaali Eindhovenissa Hollannissa. Eindhoven on Tampereen kokoinen kaupunki, johon tämä 10 päivän festivaali tuo vuosittain noin 750 000 festivaalivierasta. Valo on olennainen osa kaupungin markkinointistrategiaa ja kaupungissa on myös merkittävä määrä pysyviä valoteoksia. Phillips on perustettu Eindhovenissa, joten valolla on siinäkin suhteessa suuri merkitys kaupungissa.

Lyon Fetes les Lumieres

Lyon Fetes les Lumieres on maailman suurin valofestivaali. Lyon elää valosta ja tämä on päästrategia kaupungin viestinnässä ja vetovoimassa. 4-päiväinen festivaali tuo huimat 3-4 miljoonaa vierasta ympäri maailmaa, joten kävijöitä on

noin miljoona per päivä. Kaupungin vuotuisista tuloista noin 20% tulee tästä yhdestä viikosta ja tapahtumasta tehdään tuhansia artikkeleja vuosittain.

Seuraavaksi toisenlaisia esimerkkejä, joissa lyhytaikaisella teoksella on pitkäaikaiset vaikutukset:

Luminous Projekti / Saana vuonna 2017

Saanasta tehtiin valoteos vain kahdeksi vuorokaudeksi. Tämän vaikutus tulee kestämään kuitenkin vuosia, jopa vuosikymmeniä. Valoteoksen toteutti Valoparta Oy.

Projekti toteutettiin Suomi100-juhlavuonna ja idea projektille oli tehdä jättimäinen valoteos äärimmäiseen kohteeseen. Kilpisjärvellä asuu noin 100 vakituista asukasta ja paikka on maantieteellisesti hankalasti tavoitettavissa.

Valoteoksen avulla kaikki majoituskapasiteetti myytiin loppuun noin 250 km säteellä ja globaali media saatiin kiinnostumaan alueesta. Tämä näkyvyys tuo matkailijoita vielä pitkän aikaa Kilpisjärvelle. Se, että valotaiteen keinoin saadaan ihmisiä lentämään Ranskasta, Saksasta, Italiasta ja niin edelleen lentokentälle, joka sijaitsee 250 km päästä kohteesta ja ajamaan täältä keskellä talvea vielä 250 km autolla, koska julkista liikennettä ei ole, on todiste siitä, että valo kiinnostaa ja valolla voidaan vaikuttaa ja tuoda matkailijoita hyvinkin äärimmäisiin olosuhteisiin tai paikkoihin.

Saana-projekti oli uniikki ja myös tämän näkyvyys oli uniikkia koko juhlavuonna. Saana nousi eniten mediassa esille kansainvälisessä mediassa kaikista Suomi100-tapahtumista ja erottui myös edukseen Suomen viestinnässä juhlavuodesta.

Tämän tyylisillä ratkaisuilla ja teoilla meillä on merkittävä mahdollisuus parantaa kilpailukykyä, saada matkailijoita tulemaan Suomeen ja, koska meillä on paljon pimeää aikaa vuodesta, niin tätä olisi helppo tuotteistaa enemmän.

Suomen mahdollisuudet

Korkean teknologia-osaamista, fotoniikan tutkimusta ja valotaidetta yhdistämällä kansainvälinen kenttä saadaan kiinnostumaan enemmän Suomesta ja teknologian kautta on mahdollista löytää uusia tekniikoita, joilla on merkittävä vaikutus kansantalouteen ja työllisyyteen. Tutkimustyöhön on panostettava entistä enemmän ja rajoja rikkovaan eri aloja yhdistävään toimintaan olisi hyvä resurssoida enemmän mahdollisuuksia ja kokeiluja.

Fotoniikasta on mahdollisuus tulla uusi Suomen viennin kärki niin teknologian kuin osaamisen kautta maailmalle, joka kiinnostaa kansainvälistä kenttää monella saralla. Myös tutkimuksen kautta löydettävät uudet innovaatiot sekä taiteen ja tieteen yhdistäminen luo uusia mahdollisuuksia koko alalle ja tässä meillä on mahdollisuus toimia edelläkävijänä.

Matkailullisesti valo kiinnostaa, tuo turvallisuutta ja visuaalista kauneutta. Valolla on myös suoria terveysvaikutuksia ja merkittävä vaikutus alueen kiinnostavuuteen ja viihtyvyyteen. Valo liikuttaa miljoonia ihmisiä maailmalla ja on yksi merkittävimmistä vetovoimakohteista kaupungeissa. Olemme valon matkailullisessa hyödyntämisessä vielä hyvin alkuvaiheessa ja valossa on paljon käyttämättömiä mahdollisuuksia.

3.5. Kaivosteollisuus

Kaivostoiminnan aloittaminen perustuu koekairauksiin ja niiden perusteella tehtäviin johtopäätöksiin. Perinteiden tapa on ollut visuaalisesti tutkia porattuja kairasydännäytteitä ja valita laboratorioanalyyseihin rajattu määrä näytteitä. Menetelmä on epävarma ja riskialtis, sillä se perustuu osin geologin/geofyysikon kokemukseen ja subjektiiviseen arviointiin. Lisäksi malmion ja kaivoksen kolmiulotteiseen kartoitukseen ja toiminnan suunnitteluun saatava tietomäärä on vähäinen suhteessa toiminnan laajuuteen ja riskeihin.

Suomessa on hyperspektrikuvaukseen VTT:n toimesta tehty tutkimusta jo vuodesta 1993 ja tämä spektroskopian ja kuvauksen yhdistävä menetelmä soveltuu hyvin myös mineraalien analysointiin. Teknologiaa ovat kaupallistaneet spin-off yritys Specim Oy ja Senop Oy Hyperspektrikuvaus mahdollistaa ensimmäisen kerran koko poratun kairasydännäytteen tarkan alle 1 mm paikkaerotuskyvyllä tapahtuvan analysoinniin. Tällä on radikaali merkitys päätöksenteolle ja suunnittelulle, sillä kivityyppien ja siirroskohtien tarkka erottelu tapahtuu entistä luotettavammin ja malmion kolmiulotteinen mallinnus ja kaivostoiminnan suunnittelu tarkentuu.

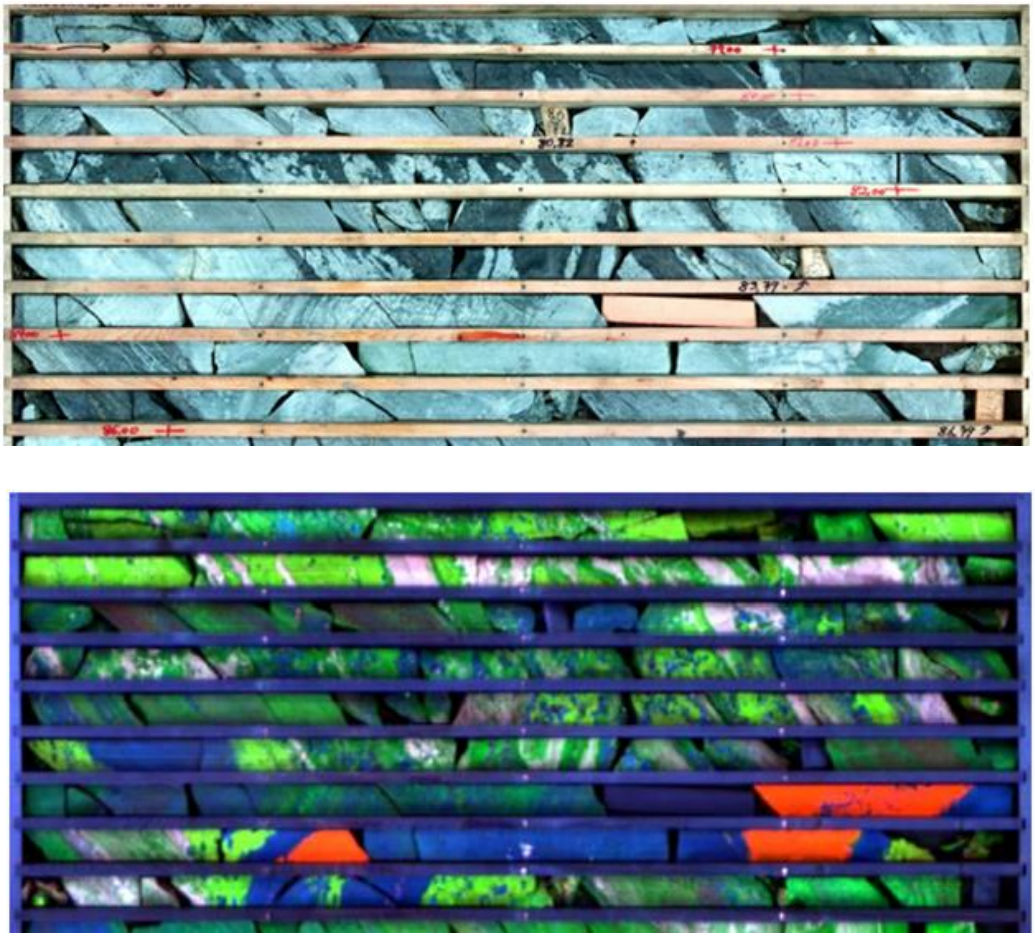
Saavutettu edut tulevat suoraan vähentämään ympäristöön väistämättä kohdistuvia haittoja. Tämä syntyy paremman suunnittelun vähentämästä sivukiven määrästä, joka puolestaan vähentää muun muassa malminerotuksen tarvitsemaa energian ja kemikaalien määrää.

Sama hyperspektrikamera soveltuu myös ilmasta tapahtuvaan kaukokartoitukseen, jolloin kaivoksen toiminnan aikana ja sen päätyttyä on mahdollista valvoa ympäristöhaittoja vesistöön tai lähimaastoon. Lisäksi onnettomuuksien jälkeen voidaan seurata vahinkojen etenemistä ja suunnitella torjuntatoimia, kuten tehtiin Unkarissa vuonna 2010 kaivoksen sakka-altaan pettäessä (Burai, 2013).

Esimerkki SGU -projekti

Vuonna 2015 Ruotsin Geologinen Tutkimuskeskus (SGU) aloitti tähän asti isoimman monivuotisen kairasydänten hyperspektrikuvaukseen perustuvan projektin maailmassa. Malå:ssa Pohjois-Ruotsissa sijaitsevasta varastosta valittiin noin 200 000 m kairasydäntä, jotka mitattiin suomalaisen Spectral Imaging Oy:n toimittamalla SisuROCK-järjestelmällä. Osa tuloksista on käsitelty luokitelluksi mineraalikartaksi TerraCore Ltd (http://terracoregeo.com) kehitämällä IntelliCore-ohjelmistolla. Suhteessa kairauksessa syntyviin kustannuksiin on hyperspektrikuvauksen lisäkustannus vähäinen. Tieto on jatkossa digitaalisessa muodossa ja siirrettävissä tietoverkkojen kautta. Lisäksi

data on aina käsiteltävissä ja tarkasteltavissa uudelleen. SGU on antanut tulokset vapaasti sekä tutkijoiden että kaivosyhtiöiden käyttöön, jolloin Ruotsista aikojen saatossa kerätystä arvokkaasta kairasydänaineistosta saadaan mahdollisimman suuri hyöty. Sittemmin myös Norjan Geologinen Tutkimuskeskus (NGU) on aloittamassa vastaavaa projektia ja on julkaissut laitetoimittajille tarjouskierroksen.



Kuva 23: Värikuva ja mineraaliluokiteltu hyperspektrikuva kairasydänlaatikosta. (Lähde: Specim Oy)

Kaivosteollisuudessa on myös tarve valvoa rikastamolle tulevaa raaka-ainetta sekä arvomineraalin että mahdollisten haitta-aineiden pitoisuuden mittaamiseksi. VTT:llä kehitetty Raman spektrometri, jonka spin-off yritys TimeGate Instruments Oy https://www.timegate.com/mining) on tuotteistanut. Tämä on otettu jo testikäyttöön. Mittaus antaa reaaliaikaisen tiedon ja mahdollistaa prosessin ohjauksen nopeammin kuin aikaisemmat näytteenottoon perustuvat menetelmät.

Saavutettu hyöty näkyy käytettävien kemikaalien määrän sekä energiatarpeen vähenemisenä.

Merkitys Suomen yhteiskunnalle

Kaivoteollisuus on välttämätöntä vaikka kiertotalouden kehittyessä materiaalien uusiokäyttö lisääntyisikin. Suomi on kansainvälisetikin kiinnostava kohde uusille kaivoksille. Kaivosten suunnittelu ja toiminta on perustettava oikealle ja riittävälle tiedolle, mikäli halutaan taata kannattava toiminta ja vähentää aiheutuvia ympäristöhaittoja. Hyperspektrikuvaus ja spektroskopia laajemmin on merkittävä uusi teknologia, jonka yleistyminen vaikuttaa koko kaivosteollisuuden toimintaympäristöön.

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet

Suomessa kehitetyt hyperspektrikamerat ovat käytössä useilla teollisuuden aloilla ja osaaminen laitesuunnitelussa ja valmistamisessa maailman kärkeä. Myös osaamista käytännön mittaustoiminnasta erityisesti kaivosteollisuuteen on olemassa.

Suomessa on lähes sadan vuoden ajan kerätty kairasydännäytteitä kallioperästä kaikkiaan yli 3 000 km noin 36000 kairauksesta (http://www.gtk.fi/tutkimus/infrastruktuuri/kairasydanarkisto/) Tämä kattaa hyvin koko Suomen maaperän. Käytännössä lähes kaikki kaivostoimintaan johtaneet malmiot on löydetty Geologisen tutkimuskeskuksen (GTK) aineiston pohjalta.

Noudattamalla Ruotsin ja Norjan mallia voisi olla mahdollista löytää jo kairatuiden näytteiden pohjalta uusia mielenkiintoisia alueita.

3.6. Virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus (VR/AR/MR)

Virtuaalitodellisuus

Englanninkielinen vastine virtuaalitodellisuudelle on *Virtual Reality*, josta yleisesti käytetään lyhennettä VR niin suomenkielisessä kuin englanninkielisessäkin viestinnässä. Virtuaalitodellisuudessa käyttäjälle luodaan digitaalisesti keinotekoinen ympäristö, jossa simuloidaan joko todellista ympäristöä tai luodaan täysin keinotekoinen ympäristö. Kuluttajilla on mahdollista ostaa jo tänä päivänä VR-tuotteita kaupan hyllyltä, jotka sisältävät virtuaalinäytön ja kuulokkeet, joiden avulla luodaan virtuaalinen aistikokemus. Virtuaalinen näkö- ja ääniympäristö mukautuu ihmisen pään liikkeisiin ja saa aikaan illuusion, että ihminen on virtuaalisessa tilassa.

Markkinoilla olevien VR-laitteiden haasteet ovat kuvan terävyydessä eli resoluutiossa. Ihmissilmää selvästi huonompi resoluutio saa kuvan ja esitettävän tekstin näyttämään epätarkalta, joka ei ole käyttäjäkokemuksen kannalta suotavaa. Varjo Technologies Oy on suomalainen yritys, joka on erikoistunut resoluutio-ongelman ratkaisuun (https://varjo.com/bionic-display/).

Virtuaalitodellisuutta käytetään jo esimerkiksi peliteollisuudessa, joka hyödyntää virtuaalisen maailman luomaa illuusiota luodakseen erilaisia fantasiamaailmoita, joissa pelaajat voivat liikkua ja suorittaa tehtäviä (https://www.tilt.fi/genret/vr-pelit). Virtuaalitodellisuus mahdollistaa virkistyskäytön esimerkiksi liikuntarajoitteisille tai ikäihmisille, joilla on rajalliset mahdollisuudet poistua arkiympäristöstään. Virtuaalimaailmassa he pääsevät palaamaan heille ennestään tärkeisiin paikkoihin tai tutustumaan aivan uusiin ympäristöihin liikkumatta fyysisesti olinpaikastaan. Luontokohteet, historialliset paikat ja avaruus ovat kaikki saavutettavissa virtuaalisesti (Siippanen, 2018). Koulutuskäytössä kolmiulotteisia malleja voidaan käyttää esimerkiksi laitteiden tai biologisten ilmiöiden selittämiseksi insinööritieteissä ja lääketieteessä. Käyttäjä kokee olevansa tarkasteltavan objektin kanssa samassa tilassa ja voi tutustua ilmiöön vapaasti kiertelemällä objektia ja suurentamalla sitä tarvittaessa.

Lisätty todellisuus

Lisätyn todellisuuden yhteydessä englanninkielessä käytetään termejä *Augmented Reality, Mixed Reality, Extended Reality* ja niille vastaavasti lyhenteitä AR, MR ja XR. Näissä sovelluksissa fyysiseen maailmaan lisätään virtuaalisia objekteja, jotka käyttäjä kokee osana todellisuutta.

Virtuaaliset objektit lisätään digitaalisesti osaksi käyttäjän todellista ympäristöä ja niiden näkemiseen tarvitaan jokin näyttölaite. Yksinkertaisimmillaan näyttölaitteena voi toimia älypuhelimen tai tabletin näyttö (esimerkiksi Pokemon Go -peli). Myös VR-laitteita voidaan käyttää AR-sovelluksissa syöttämällä molemmat, sekä ympäristön kuva että digitaalisesti lisätty sisältö käyttäjän katseltavaksi näyttölaitteen välityksellä. VR-AR laitteen yhdistelmän valmistamiseksi työskentelee esimerkiksi suomalainen yritys Varjo Technologies Oy. Älypuhelinta, tablettia tai VR-AR laitetta käyttämällä lisätyn todellisuuden objektit, mutta myös ympäristön kuva, siirretään täysin digitaalisena käyttäjän katseltavaksi. Näissä tapauksissa näyttölaite vaatii tuekseen kameran, jonka tallentama kuva siirretään reaaliaikaisesti näyttölaitteelle.

Läpinäkyvissä AR-näytöissä käyttöympäristön kuvainformaation tulee käyttäjän silmään suoraan läpinäkyvän näytön läpi ilman, että informaatiota tarvitsee käsitellä digitaalisesti. Katsojakokemusta voidaan verrata normaalin lasi- tai muovilevyn läpi katseluun, kuten esimerkiksi katsottaessa maailmaa normaalin ikkunanlasin läpi, käyttämällä silmälaseja tai suojalaseja ilman vahvuushiontoja. Lisätyn todellisuuden kuvainformaation siirtämiseen käytetään hyväksi itse näyttölasia, joka toimii valojohteena. Projektorin tuottama lisätyn todellisuuden kuva kytketään valojohteen sisälle esimerkiksi käyttäen pintarakenteita, jotka ovat kokoluokaltaan muutamista kymmenistä aina muutamiin satoihin nanometreihin. Aaltojohteessa etenevä lisätyn todellisuuden kuvainformaation kytketään ulos käyttäjän katseltavaksi käyttäen samoja periaatteita kuin sisään kytkennässä.

Viime aikoina useat yritykset ovat julkaisseet läpinäkyviä AR-näyttöjä, jotka eivät vaadi kamerayksikköjä ulkoisen maailman kuvaamiseen ja yhdistääkseen sen lisättyyn todellisuuteen. Julkaisseissa yrityksissä on sekä suuria kansainvälisiä yhtiöitä esimerkiksi Microsoft (https://www.microsoft.com/en-us/hololens), että start-up yrityksiä, kuten Magic Leap (https://www.magicleap.com/magic-leap-one). Sekä Microsoft että Magic Leap ovat julkaisseet loppukäyttäjätuotteen, joka pitää sisällään myös tarvittavan laskentatehon ja järjestelmät käyttäjäympäristön kartoittamiseen, joka mahdollistaa lisätyn todellisuuden, käyttäjän ja ympäristö saumattoman vuorovaikutuksen. Kyseisenlaisten tuotekehitysohjelmien kustannukset lasketaan yleisesti miljardeissa dollareissa ja on osoituksena laajasta sitoutumisesta uuteen teknologiaan sekä suuryritysten että sijoittajienkin taholta. Lisäksi maailmalta löytyy osatoimittajia materiaaleille, projektoreille ja läpinäkyville näyttölaitteille. Suomalaisista yrityksistä esimerkiksi Dispelix Oy on erikoistunut AR-näyttöjen kehittämiseen https://www.dispelix.com) (https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/suomalainen-dispelix-maailman-lupaavimpien-start-up-yritysten-listalla). Dispelixin ydin osaaminen koostuu optisten nanorakenteiden suunnittelusta ja valmistuksesta. Tiimin osaaminen on ainutlaatuista ja kestää vertailun maailman muiden huipputiimien kanssa.

Läpinäkyvien AR-näyttöjen suunnittelu poikkeaa merkittävästi perinteisten linssioptiikkaan perustuvien laitteiden suunnittelusta, joita ovat esimerkiksi kamerat, linssit ja projektorit. Suomessa on muutamia yliopistotason koulutuslaitoksia, joissa nano-optiikka on kokonaan tai osana koulutusohjelmaa, esimerkiksi Aalto-yliopiston Elektroniikan ja nanotekniikan laitos sekä UEF:n Joensuun kampuksen Fysiikan ja matematiikan laitos. Näillä kyseisillä laitoksilla yhdistyvät laadukas opetus (teoreettinen sekä kokeellinen), hyvät puhdastilat ja nanovalmistukseen vaadittavien laitteiden saatavuus.

Nykytilanne, lisätyn todellisuuden osaaminen ja kehitys Suomessa

Julkisen tiedon mukaan Suomessa toimii kansainvälisesti tunnustettuja kehitystiimejä, jotka ovat erikoistuneet kehittämään lisätyn todellisuuden läpinäkyviä näyttöjä. Kyseisiä tiimejä ovat esimerkiksi Microsoft Hololensin ja

Dispelix Oy:n tiimit, joista jälkimmäisen ydinosaaminen on ennen kaikkea näytöissä tarvittavan nano-optiikan kehittämisessä.

Suomen lisätyn todellisuuden huipputiimit ovat olleet voimakkaassa kehitysvaiheessa, joka on näkynyt ja näkyy edelleen voimakkaina huippuosaajien rekrytointeina. Julkisten Suomeen sijoittuneiden tiimien lisäksi nano-optiikan osaajia rekrytoivat muutkin suuret kansainväliset yritykset Suomessa ja maailmalla. Korkean tason osaajien rekrytoiminen on vaikeuksissa, koska suoraa alaa hyödyttävää teollista osaamista ei ole. Lisäksi oppilaitokset eivät pysty tarjoamaan uutta osaavaa työvoimaa riittävällä tahdilla. Huipputiimien ydin osaaminen on peräisin valtaosin yliopistoista, merkittävän suuri osa ydintiimien henkilöstöstä on lähtöisin UEF:n Joensuun kampuksen Fysiikan ja matematiikan laitokselta. Laitos on erikoistunut mikro- ja nano-optiikkaan, jonka suoria sovelluskohteita löytyy lisätyn todellisuuden näytöistä. Valtaosa tähän asti rekrytoiduista henkilöistä ovat olleet tohtorikoulutuksen saaneita tai hyvän työkokemuksen omaavia maistereita, teoreettisilta ja kokeellisilta koulutuslinjoilta.

Lisätty todellisuus on uusi ja orastava teollisuuden ala, joka on voimakkaan kehityksen vaiheessa. Materiaalit, laitteet ja menetelmät eivät ole vakiintuneita ja ne vaativat monimutkaista kehitystyötä. Tämä näkyy muun muassa rekrytoitujen henkilöiden koulutustaustassa ja yritysten tuotekehitykseen sijoittamissa suurissa summissa. Näyttöjen suunnittelussa tarvittavia nano-optiikan suunnitteluohjelmia ei ole kaupallisesti saataville. Yritysten on turvauduttava myös suunnitteluohjelmien kehityksessä korkeakoulutettuihin, jotka voivat rakentaa tarvittavat suunnitteluohjelmat itse suoraan yritysten käyttöön.

Tulevaisuus, lisätyn todellisuuden osaaminen ja kehitys Suomessa

Lisätyn todellisuuden tuotteita, jotka sulauttavat todellisuuden ja lisätyn todellisuuden lähes saumattomasti yhteen ei ole markkinoilla vielä monia. Kaupallisesti tällä hetkellä on saatavilla Microsoft Hololens ja Magic Leap one -tuotteet. Tuotantomäärät laitteilla eivät tällä hetkellä ole suuria ja ne palvelevatkin

pääasiassa yrityssektoria ja sisällönkehittäjiä. Koska lisätyn todellisuuden laitteita on ollut tarjolla rajallinen määrä kuluttajamarkkinoille ja esimerkkilaitteiden hinnat ovat olleet noin 3 000 USD, ei suuri yleisö ole päässyt tutustumaan teknologiaan. Kuluttajamarkkinat ovatkin vielä käynnistymättä ja kuluttajille suunnatun sisällön määrä on hyvin rajallinen. Tämän hetken markkina ja teknologia tilannetta voidaan hyvinkin verrata esimerkiksi matkapuhelin teollisuuden alkuaikoihin, jonka jälkeen käyttäjä tarpeet ovat muuttuneet voimakkaasti (muutos vanhoista kannettavista malleista nykyisiin älypuhelimiin) ja puhelimissa käytettävä digitaalinen sisältö on kokenut mullistuksen (pelkistä puheluista ja tekstiviesteistä peleihin, suoratoistopalveluihin ja sosiaaliseen mediaan).

Tiimien rakennusvaiheen ja ensimmäisten kaupallisten tuotteiden jälkeen on odotettavissa massavalmistuksen kausi. Tällä hetkellä massavalmistuskyvykkään kapasiteetin saatavuus maailmalla on hyvin rajallinen. Tuotantokapasiteetti täytyy rakentaa tai olemassa olevia elektroniikkateollisuuden kapasiteettia ja osaamista täytyy muokata nano-optiikan valmistukseen. Suuren mittakaavan valmistusteknologian valinta on haasteellista, sillä teknologiakonsepteja on useita joista valita. Uudet valmistusmenetelmät täytyy jalkauttaa kouluttamalla alalle osaavaa insinööri- ja tuotantohenkilöstöä. Joensuun alueella ollaankin kartoittamasta mahdollisuutta perustaa koulutuspolku (ammattiaste-ammattikorkeakoulu-yliopistoaste), joka vastaa tulevaisuuden henkilöstökysyntään osaavasta työvoimasta fotoniikan alalla.

Suomella on mahdollista olla uuden teknologian eturintamassa, todistettua ydin osaamista nano-optiikan alalla liittyen lisätyn todellisuuden näyttöihin on jo olemassa. Globaalit suuryritykset (esimerkiksi Google ja Alibaba) sijoittavat yrityksiin, jotka työskentelevät lisätyn todellisuuden parissa (https://www.crunchbase.com/organization/magic-leap#section-funding-rounds) ja massiivisten tuotekehitysohjelmien kautta markkinoille on jo tullut tuotteita. Suomen mahdollisuudet liittyvät ennen kaikkea uuden teknologian, valmistusmenetelmien ja materiaalien kehitykseen. Tarkkojen, nanometri-luokan valmistustoleranssien vuoksi tulevaisuuden massatuotannon on oltava pitkälti

automatisoitua. Automatisaattiovaatimus avaa mahdollisuuksia myös Suomelle massatuotannon ylösajoon, jossa olemassa olevaa alan osaamista, korkeaa koulutusastetta ja automaatio-osaamista voidaan hyödyntää ja näin saavuttaa globaalia kilpailuetua. Mukauttamalla koulutusjärjestelmiä, osaavaa henkilöstöä on mahdollista kouluttaa kasvavan kysynnän tarpeisiin. Kehitystoimintaa tukeva infrastruktuuri (tilat, laitteet ja liikenne) vaatii kehitystä, jos nykyisen tasoista toimintaa halutaan laajentaa ja tukea.

Esimerkkejä mahdollisista sovelluskohteita - lisätty todellisuus

Turvallisuus- ja pelastusala

- Tilannejohtaminen; pelastustoimi, poliisi, ensihoito, puolustusvoimat
- Realististen harjoitustilanteiden luominen oikeaan ympäristöön

Arkkitehtuuri ja aluesuunnittelu

- Arkkitehtuuriset rakenteet ja aluesuunnitelmat voidaan havainnollistaa suunnittelukuvien perusteella oikeassa ympäristössä, jolloin rakennuksia ja rakenteita voidaan havainnollistaa ennen kuin projektin rakennusvaihe on edes alkanut (https://www.youtube.com/watch?v=kXVW4sUsh3A)

Insinööri- ja kokoonpanotyö

- Reaalimaailmaan kanssa sulautuvat interaktiiviset työohjeet. Kädet vapautuvat työntekoon, hyllypaikkojen opastus kokoonpano-osille ja työkaluille.

Kuluttajat

- Viihde, pelit, sosiaalinen media

Terveys ja liikunta

- Etäyhteydellä palvelevat virtuaaliset henkilökohtaiset valmentajat, jotka opastavat käyttöjää halutussa ympäristössä.
- Terveydentilan ja urheilusuorituksen monitorointi
- Urheilureittien, virkistyspaikkojen opastus

Lääketiede

- Ihmiskehon ja tutkimustulosten sulauttaminen, esimerkiksi magneettikuvaus
- Hoito- ja leikkaustoimenpiteiden opastus ja valmistelu

Hoito- ja hoivapalvelut

- Etähoiva; hoitajat voivat opastaa esimerkiksi kodinkoneiden, lääkkeiden ja terveydentila mittausten kanssa.

Peli

- Ympäristöön sulautetut seikkailupelit

Matkustus, mainonta ja navigaatio

- Ympäristöön sidottu virtuaalinen mainonta – Hologrammimainokset
- Virtuaaliset matkaopaspalvelut
- Henkilökohtainen navigaatio, joka on sulautettu osaksi käyttäjän näkökenttää

Esimerkkejä jo olemassa olevista lisätyn todellisuuden sovelluskohteista:

- Disior Oy (https://www.disior.com) Softability (https://softability.fi/studio)
- CGI Plc (https://www.cgi.fi/lisatty-todellisuus)
- Tieto Oyj (https://www.youtube.com/watch?v=mxnWpAPuMCM)
- Avanade / Accenture (https://www.youtube.com/watch?v=Zg7sLB75gw4)

3.7. Energia

Globaali kokonaiskuva

Maapallolle saapuva auringon säteily koostuu fotoneista, joiden energia-alue ulottuu ultraviolettisäteilystä infrapunaspektrialueeseen. Kaikkiaan tätä säteilyä maapallolle saadaan 20 000 kertaa enemmän kuin on koko ihmiskunnan energian tarve. Suurin osa säteilystä, yli 60%, muuttuu maan pinnalla lämmöksi. Loput säteilyenergiasta heijastuu takaisin avaruuteen. Lämpötilojen vaihtelut merien ja mannerten sekä pohjoisen ja etelän välillä aiheuttavat kaoottiset ilmakehän liikkeet, siis tuulen. Auringon säteilyenergiasta muuntuu noin 0.2% tuulienergiaksi, aaltojen ja merivirtojen käyttövoimaksi. Vain 0,02% siitä kuluu fotosynteesissä, biomassan tuottamisessa, maapallon elämää ylläpitävässä reaktiossa. Jo näistä luvuista nähdään, että bioenergia voi olla vain pieni osatekijä maailman voimakkaasti kasvavan energian tarpeen tyydyttämisessä. Merkittävin kestävä energian lisäys ihmisen käyttöön on saatavissa fotonien

välillisesti synnyttämästä tuulesta ja auringon säteilyn muuntamisesta sähköksi ja/tai lämmöksi. Molemmat teknologiat täydentävät toisiaan ja tarvitsevat älykkäitä säätelyjärjestelmiä ja sähköenergian varastointia tuekseen. Energian tuotanto on globaalisessa murroksessa. Se on voimakkaasti hajautumassa ja tulossa kuluttajan ulottuville. Energian kulutuksen vähentäminen arkielämässä vaatii lukuisia eri tasoisia fotoniikan ratkaisuja.

IEA:n (*International Energy Association*) mukaan vuonna 2016 maapallon primäärienergian tuotanto (*TPES total primary energy supply*) oli lähes 160 000 TWh (1 TWh = 10 miljardia kilowattituntia) ja ennusteen mukaan kulutus kasvaa vuoteen 2040 mennessä 55% (https://www.iea.org/statistics). Käsityksen kasvun suuruudesta saa, jos arvioidaan sen tuottaminen ydinvoimalla, mikä vaatisi 35 keskikokoisen ydinvoimalan valmistumista joka vuosi vuoteen 2040:een mennessä. 90% energiatarpeen kasvusta tulee tapahtumaan ei-OECD maissa, jotka suurelta osin sijaitsevat niin kutsutulla aurinkovyöhykkeellä. Jotta fossiilisten polttoaineiden edelleen massiivista 80%:n osuutta primäärienergian tuotannossa voidaan edes jossain määrin vähentää, on uusien enrgiateknologioiden käyttöönottoa voimakkaasti edistettävä. Globaali sähköntuotanto saavutti vuonna 2016 25 000 TWh:n rajan. Kehittyneissä maissa sähkön kulutus on kääntynyt laskuun Suomi mukaanlukien. Sähkön tuotannon osalta on nähtävissä, että paikalliset tarpeeseen mitoitetut tuulivoima, aurinkosähköjärjestelmät yhdistettynä paikalliseen sähköenergian varastointiin tarjoavat eriyisesti ei-OECD maihin mahdollisuuden *kestäviin* energiaratkaisuihin, valaistuksen, jäähdytyksen ja elektronisten laitteiden käyttövoiman osalta. Globaali kehitys tällä sektorilla on vielä alkuvaiheissaan.

IEA:n esittämät kolme tukipilaria hiilidioksidipäästöjen alentamiseen ovat

1) Uudet energiateknologiat
2) Uusiutuvan energian tuotannon lisääminen
3) Entistä tehokkaampi energian käyttö kaikilla ihmisen toiminnan aloilla

Järjestelmien rakentuminen merkitsee satojen miljardien eurojen liiketoimintapotentiaalia, mistä pienten teknologisesti kehittyneiden maiden on mahdollista saada osansa. Suomen energiateollisuuden äskeisessä visiossa

tavoitteet on asetettu hyvin samansuuntaisiksi: ’Tulevaisuuden energiajärjestelmää muokkaavat älykkäät ratkaisut, joissa tuotanto-, varastointi- sekä tieto- ja viestintäteknologian kehitystä hyödynnetään järkevästi’ (https://energia.fi/energiateollisuus_jarjestona/visio/asiakkaan_aika). Murros tulee näkymään yksittäiselle kuluttajalle lisääntyvinä valinnan mahdollisuuksina. Hänestä tulee osa energiantuotantojärjestelmää. Kaikkiin näihin tavoitteisiin pääseminen edellyttää fotoniikan integroimista olennaiseksi osaksi kutakin energiajärjestelmää.

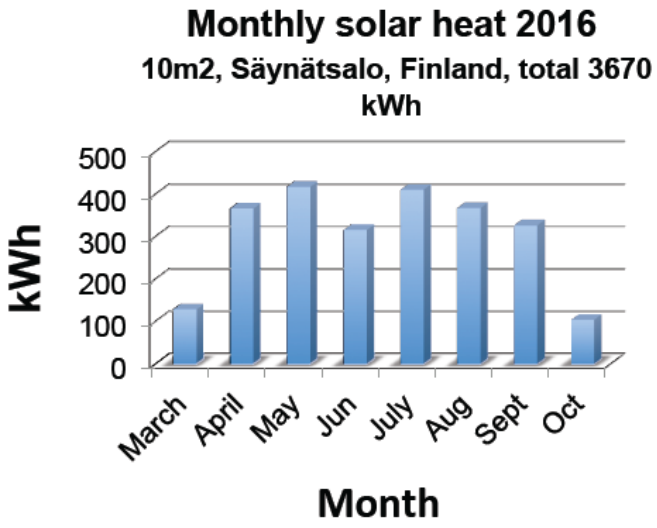
Maailmanlaajuiset investoinnit uusiutuviin energialähteisiin ylittivät vuonna 2016 jo 300 miljardia USD. Nopeimmin 40% vuosivahdilla kasvavan aurinkosähkön 50 miljardin USD vuotuiset investoinnit ovat tuottaneet vuoteen 2016 mennessä 310 GW_p huippukapasiteetin, minkä ennustetaan kasvavan yli 1000 GW_p:iin vuoteen 2030 mennessä. Tuulivoiman kasvuvauhti on jonkin verran alhaisempi 15-20%. Sitä on rakennettu lähes 500 GW_p verran. Tuuli- ja aurinkosähkö tuotannot tukevat toisiaan ja tuottava jo nyt noin 150 ydinvoimalan verran sähköä maailmanlaajuisesti. Niiden erona on se, että tuulivoiman teho perustuu suuriin yksiköihin, kun taas aurinkosähkön tehokkuus on sama suuressa ja pienessä mittakaavassa. Mainittakoon, että tuulivoimateknologia on kehittynyt aidosti kilpailukykyiseksi ja kierrätettäväksi tuotantomenetelmäksi ja on erinomainen ympäristön kannalta. Potentiaali Suomessa on suuri. Näiden lisäksi maailmanlaajuisesti on rakennettu 375 GW_p:n edestä aktiivisesti hallittavaa aurinkolämpöä, pääosin käyttöveden lämmittämiseen.

Mainitut kehitysnäkymät ovat Suomessa jääneet vaille niille kuuluvaa huomiota. Sen sijaan Suomen kilpailijamaat ovat olleet jo pitkään kehityksessä mukana ja kyenneet hyödyntämään alan kasvun reaalikansantuotteen kasvuna. Energia-alan professoriryhmän äskeisen selvityksen mukaan modernien energiajärjestelmien rakentaminen loisi Suomessa vuoteen 2030 mennessä jopa 90 000 uutta työpaikkaa (Halme, et al, 2014) Muutokseen sisältyvät muun muassa suuren tuulivoimapotentiaalin hyödyntäminen, aurinkosähkön ja –lämmön paikallinen tuottaminen sekä kiinteistöjen (kodit, julkiset rakennukset, liiketilat, yritykset) laitteiden ja valaistuksen energiankäytön optimointi osana

hajautettua ja älykästä kokonaisratkaisua. Muutoksessa fotoniikka on merkittävä mahdollistava osatekijä monella tasolla.

Aurinkolämpö

Esimerkkinä tulevaisuuden lämmityksen hybridiratkaisuista mainittakoon **aurinkolämmön** integrointi maalämpöön ja puulämmitykseen älykkäässä järjestelmässä, joka raportoi verkkoon. Sen lisäksi, että fotonit tuottavat lämpöenergian huhtikuulta lokakuulle, fotoniikan avulla suoritetaan järjestelmän säteilymittaus. Aurinkolämmön yhdistäminen maalämpöön parantaa lämpöpumpun hyötysuhdetta ja pidentää sen käyttöikää (FinSolar, 2018). Suoraan tai varaavaan sähkölämmitykseen verrattuna järjestelmällä voidaan saavuttaa jopa 60%:n säästö lämmityskustannuksissa. Kymmenen neliömetrin etelälappeen aurinkolämpökeräin tuottaa Suomen kesässä 3500–4000 kWh lämpöenergiaa (Kuva 24)Kuva 24: Aurinkolämmön kuukausituotanto vuonna 2016 Keski-Suomessa 10 m2:n etelälappeen keräimestä. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola). Kuluttajalle toimitetun keskimääräisen sähkön hinnalla 17 cn/kWh laskettuna vuosisäästöksi saadaan 595-680 €. Keräinten käyttöikä on noin 30 vuotta. Valtakunnan tasolla käyttöveden tuottamiseen kuluu noin 7 TWh - yhden ydinvoimalan tuotannon verran. Teknologiaa on mahdollista hyödyntää öljy- ja sähkölämmitteisissä kiinteistöissä käyttöveden ja osittaiseen lämmön tuottamiseen. Alan yritystoiminta on pääosin lämmitysratkaisuja toimittavien yritysten oheistoimintaa. Pioneeriyrityksenä mainittakoon piskuinen Ympäristöenergia Oy. Teknologian saamiseksi laajempaan käyttöön tarvitaan kansanvalistusta ja alan ammattikoulutusta. Kehittyäkseen aurinkolämpöliiketoiminta tarvitsee myös poliittisia kannustimia. *Olennainen asia on saada asukassektorin uusituvat energiainvestoinnit nyt vain yrityksille avoimen energiatuen piiriin.* Kyse on kansantaloudellisesti kannattavasta teknologiasta, jolla toteutuessaan on merkittävä vaikutus hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä.

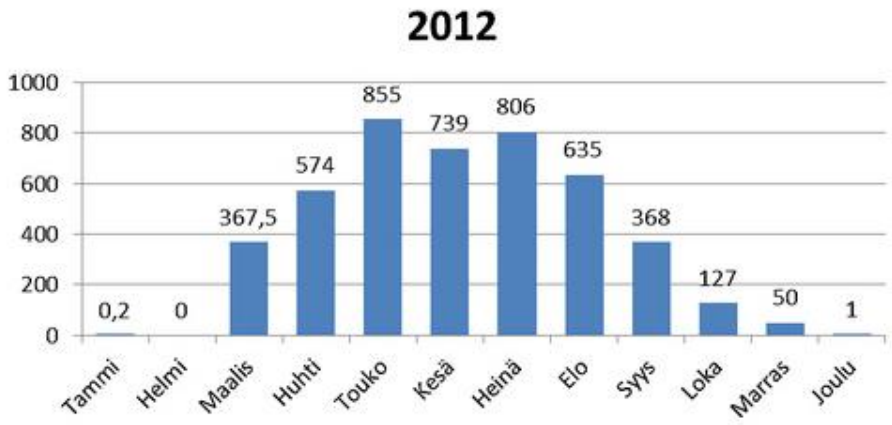


Kuva 24: Aurinkolämmön kuukausituotanto vuonna 2016 Keski-Suomessa 10 m2:n etelälappeen keräimestä. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola).

Aurinkosähkö

Toinen merkittävä fotoneja hyödyntävä teknologia on **aurinkosähkö.** Kymmeneltä neliömetriltä Suomessa on saatavissa noin 1 500 kWh aurinkosähköä (Kuva 25). Maassa on meneillään orastava aurinkosähköbuumi. Vuonna 2015 tuotantoteho oli 70 MW_p minkä on arvioitu kaksinkertaistuvan kuluvana vuonna 2018. Kyse on siis kokonaisuuden kannalta vielä hyvin marginaalisesta kehityksestä. Mutta sillä on laajentuessaan suurempi kuin marginaalinen merkitys kansantalouden kannalta. Lainsäädäntöä tarvitaan erityisesti taloyhtiöiden osalta.

Aurinkosähkön käytettävyys tulee jatkossa parantumaan paristoteknologian kehittyessä, mikä kehitys etenee yhdessä sähköistyvän maantieliikenteen kehityksen myötä.



Kuva 25: Saarijärven koulukeskuksen aurinkopaneelien (33 m2) vuosituotanto kuukausittain vuonna 2012. Kokonaistuotto 4523 kWh (Lähde: Jussi Maunuksela)

Maassa on vajaat kolmekymmentä yritystä, jotka asentavat aurinkopaneeleja asiakkailleen osamaksu- tai energianmyyntisopimuksilla. Alan pioneerina paneeleja tuottavana ja järjestelmiä vievänä yrityksenä mainittakoon NAPS Oy, joka on toimittanut järjestelmiä ympäri maailman. Merkillepantavaa on, että jopa eräät kunnalliset energiayhtiöt ovat tulleet mukaan markkinoille. Aurinkosähköliiketoimintaan tavalla tai toisella liittyviä yrityksiä maassa on kuutisenkymmentä (http://energiamurros.fi).

Suomessa on aurinkosähkön osalta maailman luokan tutkimusta: professori Hele Savinin ryhmä Aalto-ylipistossa ja professori Mircea Guinan ryhmä Tampereen teknillisessä yliopistossa. Edellinen ryhmä on saavuttanut kansainvälisesti merkittäviä tuloksia piimustapäällysteisten piikennojen kehittäjänä, jälkimmäinen lähinnä avaruussovelluksiin soveltuvien suuren hyötysuhteen monikerroskennojen kehittämistyössä. Tutkimustoiminta on kansainvälisesti verkottunut sekä tutkimusyhteisöihin (muun muassa Fraunhofer Instituutti) että teknologioita hyödyntäviin yrityksiin.

Aurinkosähkö on kannattavaa Suomessa, jos sen tuottaman sähkön saa omaan käyttöönsä. Yritysten ja liiketilojen laajoilta tasakatoilta olisi saatavissa merkittäviä säästöjä kesänajan sähkönkulutuksen peruskuorman

keventämiseen. Aurinkoisina *kesäpäivinä liikekeskuksissa jäähdytyksen energiatarve ja aurinkosähkön maksimaalinen tuotto kohtaavat.*

Yksityisten talouksien aurinkosähkön tuotto usein jää käyttöveden lämmittämiseen kesäajan pienen peruskuorman vuoksi eikä aurinkosähkön myynti ole kannattavaa. Merkittävä kannustin aurinkosähkön edistämiseksi olisi niin kutsuttu nettolaskutuksen periaate: sähkön tuottaja voisi vähentää tuottamansa sähkön määrän kulutuksestaan ja maksaa vain tuottamansa ylimääräsähkön siirtomaksun ja arvonlisäveron. Lainsäädäntö tähän ei vielä ole valmis (http://www.finsolar.net/). *Toinen tapa edistää teknologian käyttöönottoa on saada yksityisen kuluttajan aurinkosähkö uusituvan energian investointien piiriin.* On täysin mahdollista tehdä se siten, että valtio lopulta jää voitolle ei pelkästään taloudellisesti vaan myös työssään hiilidioksidipäästöjen alentamiseksi.

Kasveissa auringon fotonien energia muuntuu noin 1-2% hyötysuhteella kemialliseksi energiaksi, **biomassaksi.** Suomen metsien biomassan vuotuinen kasvu on noin 100M kiintokuutiota. Tähän on tarvittu karkeasti arvioiden $1*10^{38}$ fotonia, joiden avustamana biomassan energiasisällöksi saadaan on noin 200 TWh. Maan primäärienergian kulutus on vajaat 400 TWh. Jotta puumassaa voidaan hyödyntää teollisessa tuotannossa on selvää, että biomassaa riittää vain osaksi energiapalettia. Erityisen huonosti se soveltuu lauhdesähkön tuotantoon. Metsien kunnon arvioinnissa, kasvun seurannassa sekä paperi- ja sahateollisuuden tuotannon optimoinnissa fotoniikalla on merkittävä rooli, kuten tässä raportissa toisaalla tuodaan yksityiskohtaisemmin esille.

Uuden energialiiketoiminnan edistäminen on ollut tärkeä osa muun muassa Saksan, Ruotsin, Tanskan, Itävallan, Hollannin ja Sveitsin energiapolitiikkaa. Liikkeellepanevana voimana aurinkoenergian investointeihin sisältyvä merkittävä myynnin-, suunnittelun ja asennustyön kotimaisuusaste, tyypillisesti 50%, vaikka itse paneelit tuodaan Kauko-Idästä.

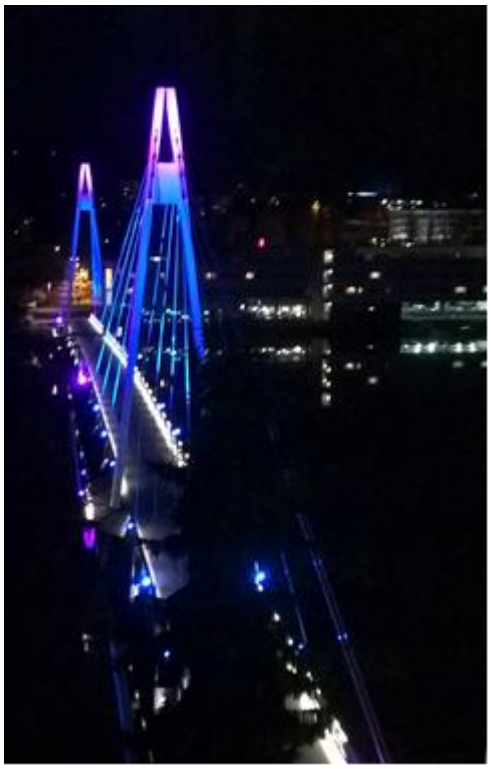
Aurinkoenergian edistäminen Suomessa on merkittävä poliittinen haaste. Erityisen tärkeää olisi saada hyödyntämätön potentiaali, kuluttajat houkutelluksi mukaan energiamurroksen talkoisiin. Ministeriöiden rooli talkootyössä tulee selvittää ja selkeyttää. Työhön tarvitaan yksi vastuullinen taho valtionhallinon taholta.

Valaistus

Valaistus on yksi keskeinen fotoniikan osa-alue. Valaistuksessa päreen, öljylampun ja hehkulampun aikakaudet ovat jäämässä historiaan. Puhtaan GaN materiaalin löytyminen sinisen LED (*Light Emitting Diode*) valon (vuonna 1991) ja sitä kautta värimaailmaltaan hallittavan valon tuottaminen on ihmiskunnalle vähintään yhtä merkittävä keksintö kuin aikanaan sähkön, hehkulampun, puhelimen, transistorin tai laserin keksiminen. Akasakin, Amanon ja Nakamuran (Nobel palkinto vuonna 2014, Nakamuralle lisäksi Millenium palkinto vuonna 2006) työn tuloksena, maailman valaistukseen kuluva sähköntarve alenee viidennekseen entisestään (IEA:n arvio säästöstä 3400 TWh). Tämä mahdollistaisi maailman kaikkien ydinvoimaloiden tai 600 suuren hiilivoimalan poistumisen käytöstä. Suomessa yhden Loviisan kokoisen ydinvoimalan (arvioitu säästö 4-5 TWh per vuosi). Kansainvälisellä tasolla LED-valaisun käyttöönottoa ajaa yhteisö nimeltä *Global Lighting Challenge, GLC*, johon kuuluu 17 valtiota, yrityksiä ja asiantuntijaryhmiä. Suomi ei ole liittoutumassa mukana, Ruotsi on.

LED-teknologia mahdollistaa älykkään valaisun – valaisun, joka näkee ja ajattelee ja tuottaa täsmälleen oikeanlaisen valaistuksen oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. LED-teknologia tarjoaa mahdollisuuden tuottaa haluttuun tilaan valoa, jonka spektrin ja intensiteetin voi ajallisesti säätää nopeasti siten, että järjestelmä lukee luonnollisen valaistuksen kulloisenkin tason ja täydentää sitä. Tällaiset tulevaisuuden valaisujärjestelmät sisältävät sekä järjestelmän sisäisen optisen kommunikaation että langattoman tietoliikenteen systeemin osien välillä, ja tarvittavat ohjausohjelmistot. Yhdistettynä liiketunnistimista saatavaan informaatioon ajatteleva valaisu voidaan suunnitella automaattisesti

säätyväksi ja sammuvaksi liikkeeseen sidottuna. Toiminnot ovat fotoniikan ydinaluetta. Esimerkiksi, kun jalankulkija on astumassa suojatielle, valo syttyy ja valaisee suojatien. Kun hän on ylittänyt tien, valo sammuu. Tai, kun kuntoilija tai hiihtäjä saapuu valaistulle reitille, valo hänen edessään syttyy hänen edetessään ja sammuu hänen takanaan. On selvää, että konsepti voidaan laajentaa koskemaan koteja, kouluja, sairaaloita, julkisrakennuksia yleensä, kauppakeskuksia, teollisuus-, katu- ja tievalaistusta. Keskeinen seikka on, että järjestelmä ottaa huomioon valaisutarpeen, ajassa ja paikassa ja hyödyntää vaisussa luonnon valoa maksimaalisella tavalla. Julkisen LED-valaistuksen pioneerina Suomessa on toiminut Jyväskylän kaupunki (valonkaupunki.jyvaskyla.fi) Viimeisen kymmenen vuoden aikana kaupunki on alentanut katujensa ja julkisten tilojen valaisukustannuksia noin 40%. Tämän lisäksi kaupunki on luonut asukkailleen viihtyisän syysajan ympäristön yli sadalla pysyvällä valoinstallaatiolla.



Kuva 26: Jyväskylän Ylistön sillan valoinstallaatio. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola)

LED–valaisimet syrjäyttävät perinteiset lamput niiden väri- ja tehosäädettävyyden, pienen virran kulutuksen ja pitkän eliniän voimalla. LED-

valaistuksen tuotekirjo on valtaisa, valaisuteholtaan, väreiltään, kooltaan, muodoltaan ja optiikaltaan. Tämän myötä valaistuksen suunnittelu on astunut uuteen maailmaan, koska täsmävalaistus on tullut mahdolliseksi sekä pienissä että suurissa kohteissa. Maailmanlaajuisesti alan liiketoiminta on miljardiluokassa ja globaaleilla markkinoilla alalla toimii jo kymmeniä yrityksiä. Tämän on mahdollistanut LED:eissä tarvittavan elektroniikan (jokaisessa verkkoon kytketyssä LED-lampussa on tasavirtaa tuottava muunnin), satojen erityyppisten LED-valaisimien ja nykyisiin kantoihin sopivien LED-lamppujen, massatuotanto.

Suomalaisista eturivin LED-yrityksistä mainittakoon muun muassa Valopaa Oy, älykkäät valoratkaisut, tiet, sillat, puistot, julkisivut, teollisuus, liikuntapaikat, Oulu; FLEXBRIGHT Oy, painettu taipuisa LED ja decor sovellutukset, Kangasala; LEDiL Oy on LED optiikan ja valaisumoduulien globaali toimittaja ja markkinajohtaja, Salo; EASY/LED Oy Valaisuratkaisuja urheilutiloihin, myymälä- ja toimistotiloihin, teollisuus- ja katuvalaistukseen, Salo; LED Tailor Innova7ion Oy UV-valoon perustuva valoterapia, bakteerien ja homeen torjunta, Halikko (HyacinthLux Oy on puolestaan kehittänyt uudenlaisen UV-laserin bakteerien ja homeen tappamiseen, Joensuu); AIRAM ELECTRIC Oy, sisätilat, LED lamput, Kerava; Valtavalo Oy, LED-valoputkien valmistaja, Oulu; Nanocomp Oy, taipuisat kalvot näyttöihin ja LED-valaistukseen.

Alan kehittyminen on ollut niin nopeaa, että ammattimaisista valaisun suunnittelijoista on suuri pula eikä suomalainen koulutusjärjestelmä ole vielä pystynyt vastaamaan tarpeeseen. Suunnitteluun tarvitaan sekä estetiikan, valaisun, elektroniikan sekä ohjelmistokehitystyön osaajia. Alalla kilpailu on kovaa, mutta suuresta globaalista volyymistä johtuen erikoistuneille toimijoille on tarjolla mahdollisuuksia aina vientiin asti.

Poliittisen tahon tehtävä on myötävaikuttaa osaltaan ympäristöystävälliseen LED-valaistukseen siirtymistä. Ei ole pelkästään kyse energiatalkoista ja hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä, vaan ihmisten elämän laadun ja elinympäristön parantamisesta. Oikealla valistuksella on myönteisiä vaikutuksia työ- ja oppimisympäristöissä, kuten myös myönteisiä terveysvaikutuksia.

Yhteiskunnan on opittava hyödyntämään auringon fotonien sisältämä ja välillisesti tuottama loppumaton energia sekä hyödyntämään tuottamiensa fotonien ominaisuudet, joilla voidaan parantaa elämän laatua. Miten hieno tulevien sukupolvien työkenttä.

3.8. Turvallisuus

Terahertsitekniikka (fotoniikkaa ja elektroniikkaa) - Sovellukset tänään

Fotoniikkaa ja sen lähisukulaista terahertsitekniikkaa hyödynnetään monissa turvallisuuteen liittyvissä sovelluksissa: turvatarkastukset lentokentillä ynnä muissa sellaisissa, turvakamerat ja varashälyttimet, liikenteenvalvonta, päästöjen valvonta, lääkeväärennösten selvittäminen, taideväärennösten selvittäminen ja niin edelleen.

Koska juuri terahertsitekniikka, joka on sekä fotoniikkaa että elektroniikkaa, on tärkeä tekniikka tulevaisuuden turvallisuusteknologioissa, sallittakoon sille tässä hieman pidempi yleiskuvaus:

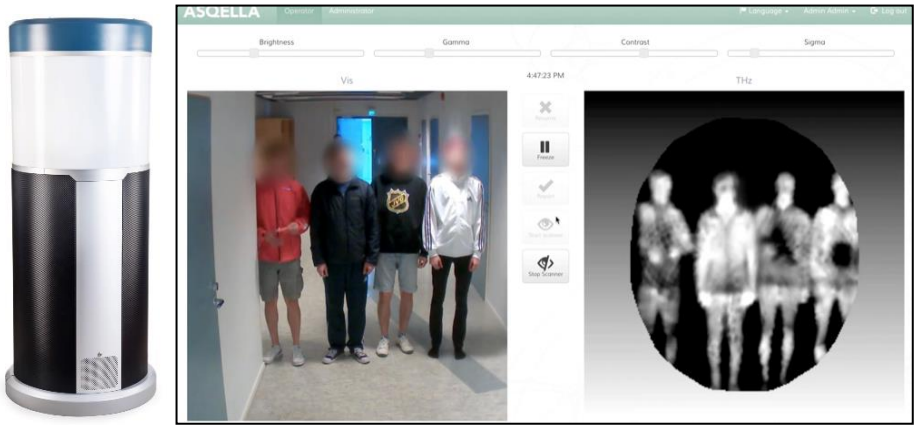
Mikroaalto- ja infrapuna-aaltosäteilyn väliselle spektrikaistalle jäävä terahertsiaaltoalue (aallonpituus 30 um – 3 mm) , josta käytetään myös nimityksiä millimetriaalto-, alimillimetriaalto- ja kaukoinfrapuna-alue) on sähkömagneettisen spektrin hyödyntämisen suhteen ”viimeinen lähes käymätön korpimaa”.

Johtuen laajasta tieteellisestä mielenkiinnosta ja merkittävästä potentiaalista käytännön sovelluksiin THz-aaltoalueen tekniikkaa kehitetään aktiivisesti niin yliopistoissa kuin yrityksissäkin. THz-aaltojen tuottaminen ja niiden ilmaisu voivat perustua sekä fotoniikan että elektroniikan periaatteisiin, ja käytännössä ratkaisut ovat usein yhdistelmiä molemmista. Fotoniikassa valoaaltoja ohjataan optiikalla (linsseillä ja peileillä), elektroniikassa käytetään antenneja ja aaltojohtoja - THz-tekniikassa näitä kaikkia yhdessä. Fotoniikassa säteilyn peruslähde on laser; THz-aaltoja voidaan synnyttää sekoittamalla kaksi lasersignaalia puolijohdekomponentissa.

Kaikki materiaali säteilee luonnostaan sähkömagneettisia aaltoja: aurinko on kirkkaimmillaan näkyvän valon aallonpituuksilla, koska sen pintalämpötila on noin 6000 K (kelvinastetta), ihminen ja koko ihmisen lähiympäristö puolestaan säteilee kirkkaimmillaan THz-aaltoalueella, koska näiden lämpötila on noin 300 K. Lisäksi molekyyleillä on kvanttimekaanisia ominaisuuksia liittyen niiden rotaatio- ja torsiovärähtelyihin, joiden takia ne voivat absorboida (imeä itseensä) ja emittoida (säteillä) vain tietyn aallonpituuden omaavaa sähkömagneettista säteilyä, ja erityisesti THz-alueella kaasumaisten molekyylien spektrit pitävät sisällään poikkeuksellisen runsaasti informaatiota. Nämä materian fysikaaliset ominaisuudet antavat mahdollisuuden monenlaiseen tieteelliseen tutkimukseen lääketieteestä radioastronomiaan ja ilmakehän kaukokartoituksesta materiaalitutkimukseen.

THz-aalloilla on myös useita ominaisuuksia, jotka mahdollistavat tärkeitä kaupallisia sovelluksia. Elektroniikan ja fotoniikan komponenttien ja laitteiden taajuuskaistan leveys on sitä suurempi, mitä suurempi on keskitaajuus. Tästä johtuen langattomassa tiedonsiirrossa mielenkiinto kohdistuu nyt juuri THz-alueelle, koska se mahdollistaa suuret kaistanleveydet ja siten informaation korkean välityskapasiteetin. Viidennen sukupolven langattomassa tiedonsiirrossa (5G) ollaan ottamassa käyttöön mm-aaltotaajuuksia ainakin 100 GHz:iin saakka. Johtuen verrattain lyhyestä aallonpituudesta (~3…0,03 mm) THz-aaltoja voi manipuloida ja suunnata tarkasti, mahdollistaen myös kuvaa muodostavien instrumenttien toteutuksen THz-alueella. Yhdeksi tärkeäksi THz-alueen sovellukseksi onkin muodostunut THz-kuvantaminen, missä hyödynnetään THz-aaltojen verrattain hyvää läpäisyä eristävissä väliaineissa, kuten vaatteissa. Kuvantaminen voi olla joko aktiivista (tutkaperiaate) tai passiivista (radiometriperiaate); jälkimmäinen perustuu edellä mainittuun materiaalin niin sanottu mustan kappaleen säteilyyn. THz-alueen tutkateknologia on myös huomattavan kiinnostuksen kohteena, johtuen yllämainitusta suuresta kaistanleveydestä ja verrattain lyhyestä aallonpituudesta minkä ansiosta THz-alueen tutkilla on mahdollista saavuttaa erittäin suuri suunta- ja syvyystarkkuus.

VTT:n spin-off yritys, Asqella Oy (https://asqella.com/), on kaupallistanut passiivisen THz-kamerateknologian nopeisiin turvatarkastussovelluksiin ruuhkaisissa kaupunkiympäristöissä. Kameran avulla on mahdollista havaita vaatteiden alle kätketyt aseet ja räjähteet useamman metrin etäisyydeltä. Asqella Oy:n tuote, ARGON – passiivinen terahertsikamera, havaitsee aseet, räjähteet ja muut uhat nopeasti ihmisvirtaa häiritsemättä. Laite kykenee yli kymmenkertaiseen ihmisvirtaan verrattuna perinteisiin turvatarkastusmenetelmiin, kuten metallinilmaisimiin tai vartaloskannereihin. Kameran suorituskyky on todennettu usean maan turvallisuusviranomaisten koekäytöissä vuodesta 2016 alkaen. Ulkomaisten valtiollisten asiakkaiden lisäksi kameraa pilotoitiin hiljattain kesällä 2018 Ruisrokissa. Koska Asqellan kamera on passiivinen, se ainoastaan vastaanottaa kohteen (toisin sanoen ihmisen) luontaisesti lähettämää THz-tehoa. Passiivisuutensa ansiosta myöskään kehon yksityiskohtia ei voida kameralla erottaa. Yhdistämällä kameraan syväoppivien neuroverkkojen avulla toteutettu anomaliadetektointi (poikkeavuusilmaisu) voidaan tarkastusprosessi toimittaa ilman että ihmisoperaattorin on tarkkailtava kameran tuottavaa kuvaa jatkuvasti.



Kuva 27: Vasemmalla Asqella Oy:n passiivinen terahertsikamera ARGON. Oikealla kuva kameran käyttöliittymästä, jossa videokameran kuva keskellä, ja oikealla THz kameran kuva samasta näkymästä. (Lähde: Asqella Oy)

THz-kameraa hyödynnetään nyt jo joissakin taidemuseoissa taideväärennösten tunnistamiseen ja vanhojen taideteosten muuhun tutkimiseen. THz-säteily, jolla - toisin kuin röntgen-säteilyllä - ei ole minkäänlaista vahingollista vaikutusta

taideteoksen materiaaleihin, läpäisee varsin hyvin erilaisia maalipintoja, mutta jokaisessa rajapinnassa syntyy myös pieni heijastus; heijastuksen voimakkuus riippuu käytetystä väriainepigmentistä. Tämä mahdollistaa kuvan muodostuksen eri syvyyksiltä, joten myös kullekin taitelijalle ominainen siveltimen käyttö paljastuu: tätä voidaan pitää jopa taiteilijan sormenjälkenä. Vanhojen maalausten tapauksessa saadaan samalla tietoa maalauksen todellisesta iästä, koska eri aikakausilla on käytetty erilaisia väriaineita ja kankaita.

Tulevaisuus

Lisääntynyt terrorismin uhka, salakuljetus, tuoteväärennökset, ympäristön saastuminen, kaupungistuminen ynnä muut asettavat alati kasvavia vaatimuksia turvallisuusteknologioille. Kameravalvonta lisääntyy julkisissa tiloissa, yrityksissä ja myös asuinrakennuksissa. Mutta kameravalvonta yksin ei riitä, tarvitaan tietoa myös esimerkiksi ohikulkijan vaatteidensa alla kuljettamista esineistä ja materiaaleista – tällöin tarvitaan terahertsikameraa. THz-kameraa käytetään myös ohiajavien rekkojen tavarakuljetusten tarkkailuun. Liikenteen turvallisuutta parannetaan varustamalla kaikki autot eri suuntiin katsovilla kameroilla ja tarkoilla THz-alueen tutkilla. Sankassa sumussa ajettaessa vain THz-tutka on välttämätön liikenneturvallisuuden edistäjä, koska näkyvä valo tunnetusti läpäisee sumua erittäin huonosti, joten optisen alueen kamera tai LiDAR eivät voi auttaa. Tullilaboratorioissa ynnä muualla käytetään THz-spektroskopiaa ulkomailta tulevien lääkkeiden, elintarvikkeiden ja materiaalien aitouden selvittämiseen. Yhä kasvavat vaatimukset tiedonsiirron nopeudelle sekä IoT edellyttävät langattomilta linkeiltä tiedonsiirtokapasiteettia jota on vaikea saavuttaa muutoin kuin THz -alueen tiedonsiirtoteknologialla.

Merkitys Suomen kilpailukyvylle ja yhteiskunnalle

Erilaisilla mittareilla mitattuna Suomi sijoittuu aina kärkisijoille kansainvälisessä kilpailukykyvertailussa. Tämä johtuu monista seikoista, kuten Suomen korkeasta koulutustasosta ja Suomen tunnettuudesta turvallisena paikkana asua ja elää.

Näiden vaalimiseksi on tärkeää investoida fotoniikan ja THz-tekniikan opetukseen ja tutkimukseen sekä olosuhteiden kehittämiseen otollisiksi alan uusien spin-off yritysten syntymiselle, esimerkiksi pilottien muodossa. Tyypilliset THz-alueen innovaatiot vaativat merkittävää poikkitieteellistä ja -teknologista osaamista, mikä on suomalaisen teknistieteellisen kilpailukyvyn kulmakivi. Valtion ja kuntasektorin osallistuminen suorahankintojen kautta uusien teknologioiden kaupalliseen arvoketjuun on elintärkeää näiden uusien innovaatioiden pilotoinnissa ja referenssien tuottamisessa.

Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet

Suomi on johtava maa langattomassa tietoliikenteessä; myös Suomen valokuituverkko on huippuluokkaa maailmassa. Nokia on tietoliikenneverkkojen johtava rakentaja. Fotoniikan ja terahertsitekniikan koulutus ja tutkimus ovat jo hyvällä tasolla Suomessa. Integroidussa fotoniikassa on hiljattain saavutettu kansainvälisesti merkittäviä läpimurtoja. Tältä pohjalta on mahdollisuus tulla johtavaksi maaksi myös fotoniikkaan ja THz-tekniikkaan perustuvassa turvallisuustekonologiassa. Edellä mainittu poikkitieteellinen osaaminen on Suomessa vahvaa ja yksi tärkeimmistä kilpailukykyeduistamme. Aluepolitiikan ja tiedepolitiikan sekoittamista keskenään tulisi välttää, ja tutkimuspanostusten allokointi tulisi perustua vahvasti meritokraattisille periaatteille, sillä ”jokaiselle jotain” – periaatteella voidaan saavuttaa vain keskikertaisia tuloksia aikataulussa, joka ei pärjää kilpailun kanssa. Hankintalaki sallii uusien innovatiivisten teknologioiden suorahankinnan, ja valtion sekä kuntasektorin investoinneista osa tulisi kohdistaa uusien teknologioiden pilotointiin. Näistä piloteista saatavan julkisuuden ja kokemusperäisen tiedon arvoa ei pidä väheksyä, vaan se on avainasemassa uusien teknologioiden vientiä silmälläpitäen.

3.9. Perustutkimus

Fotoniikka on yksi parhaista tavoista tutkia tieteen peruskysymyksiä koskien sekä optista fysiikkaa itseään että sen sovelluksia muilla tieteen aloilla. Esimerkiksi kvanttifysiikassa fotoniikka on tällä hetkellä todennäköisesti keskeisin

tutkimusmenetelmä. Fotoniikan merkitys tutkimuksessa käy hyvin ilmi alan säännöllisesti saamista Nobel-palkinnoista. Pelkästään vuodesta 2000 lähtien fotoniikasta riippuvalle tutkimukselle on myönnetty kahdeksan fysiikan ja neljä kemian Nobel-palkintoa, viimeisimpänä vuoden 2017 fysiikan palkinto koskien painovoima-aaltojen havaitsemista ja vuoden 2018 fysiikan palkinto koskien laserfysiikan sovelluksia.

Fotoniikan tutkimus on suhteellisen edullista. Sen johdosta polku perustutkimuksesta kaupallisiin sovelluksiin voi olla lyhyt ja nopea. Perustutkimuksen tuottamasta teknologisesta disruptiosta hyvä esimerkki on sinistä valoa emittoiva LED, josta japanilainen Shuji Nakamura on saanut sekä vuoden 2014 Nobel-palkinnon (perustutkimuksen tulos) että vuoden 2006 suomalaisen Millennium-palkinnon (elämää parantava teknologia). Tämä keksintö on tehnyt mahdolliseksi energiatehokkaat valkoiset LED-lamput, jotka tällä hetkellä mullistavat valaistusta kaikissa kodeissa. Tutkimuksen ja sovellusten välinen polku toimii myös toiseen suuntaan, ja fotoniikan teknologiset edistysaskelet johtavat yhä parempiin tuloksiin perustutkimuksessa.

Fotoniikka on myös tutkimusala, jossa pienetkin ryhmät voivat tehdä maailmanluokan tutkimusta. Vaikka kilpailu alalla on siksi kovaa, suomalaiset tutkimusryhmät ovat monella erikoisalalla lähellä maailman kärkeä. Suomalainen fotoniikan tutkimus onkin todettu erittäin korkeatasoiseksi useissa tieteellisissä arvioinneissa, mukaan lukien kansalliset arvioinnit (Academy of Finland, 2012) ja yliopistojen sisäiset arvioinnit (Tampere University of Technology, 2017). Useat suomalaiset fotoniikan tutkijat ovat saaneet kansainvälisiä palkintoja ja huomionosoituksia ja he toimivat keskeisissä tehtävissä kansainvälisessä tutkimusyhteisössä. Tutkimuksen korkea taso houkuttelee myös johtavia kansainvälisiä nuoria fotoniikan tutkijoita siirtymään suomalaisiin yliopistoihin tekemään omaa uraansa.

Suomalaisten yliopistojen profiloidessa toimintaansa vahvimmille tutkimusaloilleen fotoniikan perustutkimuksen kannalta keskeisimmät toimijat ovat Tampereen teknillinen yliopisto (TTY, osa vuonna 2019 aloittavaa

Tampereen yliopistoa), Itä-Suomen yliopisto (UEF), Aalto-yliopisto (Aalto) sekä Jyväskylän yliopisto (JY). TTY:ssä ja UEF:ssä fotoniikka itsessään on yliopistojen strateginen tutkimusalue. Aallossa ja JY:ssä fotoniikka taas liittyy laajempiin strategisiin alueisiin. Soveltavaa fotoniikan tutkimusta tehdään Oulun yliopistossa, Turun yliopistossa ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa.

Tampereen teknillinen yliopisto. Uusimpien rekrytointien jälkeen TTY:n fotoniikan yhteisössä on vuoden 2019 alusta lähtien 13 eritasoista professoria ja yli 120 tutkijaa, joista lähes puolet on ulkomaisia. TTY:n fotoniikan tutkimus liittyy optisen fysiikan peruskysymyksiin sekä uusien materiaalien optisiin ominaisuuksiin. TTY:llä on jopa maailman mittaluokassa ainutlaatuiset laitteet puolijohderakenteiden kasvatukseen. Tutkimus on kansainvälisessä kärjessä koskien ultralyhyitä valopulsseja, nanorakenteisia optisia materiaaleja ja puolijohderakenteita. Uusimmat avaukset koskevat materiaaleja, joiden ominaisuuksia voidaan muuttaa valon avulla. Vuoden 2019 alussa aloittaa kaksi uutta professoria, joiden tutkimus liittyy valon kvanttiominaisuuksiin ja suuntaavat tutkimusta strategisesti kohti EU:n Quantum Flagship –ohjelmaa, jonka rahoitus kymmenen vuoden aikana on miljardi euroa.

Itä-Suomen yliopisto (UEF). Fotoniikassa ja sitä sivuavilla aloilla toimii UEF:ssä 20 professoria ja yli 120 tutkijaa. Alan tutkimus on koottu Fotoniikan instituutin alle, joka kattaa useita ainelaitoksia, mukaan lukien fysiikka ja matematiikka, tietojenkäsittelytiede, biologia sekä kemia. Perustutkimuksen kannalta keskeisin toiminta liittyy optiseen fysiikkaan. Erityisesti valon aaltoluonteeseen liittyvien ilmiöiden, kuten koherenssi ja diffraktio, tutkimus on pitkään ollut kansainvälisessä kärjessä. Vankka teoreettinen osaaminen tukee kokeellista tutkimusta, joka liittyy laajasti valon vuorovaikutukseen mikro- ja nanorakenteisten materiaalien kanssa. Yliopistolla on erinomaiset mikro- ja nanofotoniikan komponenttien valmistus- ja karakterisointilaitteistot sekä maailmallakin ainutlaatuinen 3D-tulostin optisten komponenttien valmistukseen, jota enenevässä määrin hyödynnetään myös suomaisten yritysten yhteistyöprojekteissa.

Aalto-yliopisto. Aallossa fotoniikan tutkimus on osa avainosaamisaluetta ”Materiaalit ja kestävä luonnonvarojen käyttö”. Tutkimuskohteita ovat valon ja aineen väliset vuorovaikutusilmiöt ja uudenlaiset funktionaaliset materiaalit, valonlähteet sekä erilaiset analyysi- ja mittausmenetelmät. Myös auringonvaloa hyödyntävät uudet energiatekniikat ovat tutkimuksessa tärkeällä sijalla. Valtaosa fotoniikan tutkimuksesta tehdään Aallon ja VTT:n yhteisessä kansallisessa mikro- ja nanotekniikan tutkimuskeskuksessa Micronovassa hyödyntäen synergiaa VTT:n soveltavan fotoniikkatutkimuksen kanssa. Aallossa fotoniikan alueella toimii tällä hetkellä 10 professoria ja toiset 10-15 soveltavat fotoniikan tuomia mahdollisuuksia omissa, muiden alueiden tutkimuksissaan.

Jyväskylän yliopisto. JY:ssä fotoniikassa ja sitä sivuavilla aloilla toimii kuusi eritasoista professoria ja yli 30 tutkijaa. Tutkimus liittyy vahvasti nanotieteisiin, joka on JY:n profiiliala. Lasertutkimus on organisoitu Laserlab-NSC:n alle, joka on JY:n nanotiedekeskuksessa (NSC) toimiva laboratorio, jossa useat tutkimusryhmät toimivat yhteisissä tiloissa ja jakavat yhteiset tutkimuslaitteet. Laserlab-NSC on liitännäisjäsen suuressa Euroopan laserlaboratorioiden konsortiossa – Laserlab Europessa. Tutkimuskohteet vaihtelevat nanorakenteista biologisiin systeemeihin ja tutkimuksessa yhdistetään vahvasti kokeellista ja teoreettista tutkimusta. JY:n kiihdytinlaboratoriossa tutkitaan lasermenetelmillä myös ydinrakenteita.

4. TOIMENPIDESUOSITUKSIA FOTONIIKKAAN LIITTYVÄN OSAAMISEN JA LIIKETOIMINNAN KEHITTÄMISEKSI SUOMESSA

Fotoniikan koulutus, tutkimus ja liiketoiminta ovat jakaantuneet Suomessa maantieteellisesti eri alueille. Tämä ei kuitenkaan tarkoita kilpailevaa päällekäistä toimintaa, vaan fokusoitua toisiaan täydentävää toimintaa hyödyntäen koko maan vahvuuksia. Hajautunut toiminta on toisaalta myös haaste. Photonics Finland on perustettu tuomaan kaikki fotoniikan toimijat saman pöydän äärelle. Toinen haaste on rajallinen rahoitus lyhytkestoisten tarkkarajaisten projektien kautta, mikä vaikeuttaa pitkäjänteistä yhteistyötä useiden eri toimijoiden välillä.

Fotoniikan näkyvyys ja asema

Fotoniikka kärsii “key enabling” -asemastaan eli fotoniikka itsessään ei ole oma teollisuus tai tuote, vaan se mahdollistaa muuta teollisuutta ja parempia tuotteita. Esimerkiksi tekoäly ja robotiikka olisivat sokeita ilman fotoniikan kameroita, sensoreita ja muita tuotteita, joilla kerätään tietoa ja vuorovaikutetaan ympäröivän maailman kanssa. Käytännössä mikään teollinen automaatio ei toimi ilman fotoniikan komponentteja ja algoritmeja. Vuoteen 2020 mennessä on arvioitu joka kymmenennen työpaikan Euroopassa riippuvan fotoniikasta. Koko maailman fotoniikan valmistuksesta 75% on pk-yritysten hallinnassa eli fotoniikalta puuttuvat alan etuja näkyvästi ajavat suuryritykset.

Fotoniikan saama tunnustus auttaisi koko yhteisöä niin rahoituksen kuin rekrytointien suhteen muun muassa luomaan uusia työpaikkoja ja kiihdyttämään automaatiota hyödyntävän teollisuuden palaamista takaisin Kauko-Aasiasta. Fotoniikan tunnetuksi tekeminen auttaisi myös laajaa soveltavaa teollisuutta ja toimialoja tunnistamaan ja etsimään ratkaisuja fotoniikasta.

Suomalaisen akateemisen maailman ja teollisuuden yhdistävä Photonics Finland on tehnyt esimerkillistä työtä fotoniikan tunnetuksi tekemisessä. Sen toimintaan ei ole kuitenkaan löytynyt yhteiskunnalta rahoitustyökaluja, jolloin valitettavan suuri osa resursseista kuluu pienten rahavirtojen keräämiseen toiminnan rahoittamiseksi.

Fotoniikan tarjoamat mahdollisuudet unohtuvat usein, kun puhutaan globaaleista haasteista. Sen sijaan, että vain mitataan ja havainnoidaan ongelmia, fotoniikka voi ratkaista globaaleja ongelmia:

- kiertotaloudessa tunnistetaan ja lajitellaan jätteitä ja kierrätettäviä raaka-aineita. Esimerkiksi mustan muovin luotettavaan tunnistamiseen ei toistaiseksi ole muita menetelmiä kuin hyperspektrikuvaus;
- *cleantech*issä desifioidaan tiloja tai vettä UV-valolla tai sinisellä LED-valolla; tuotetaan puhdasta energiaa aurinkokennoilla;
- säästetään energiaa LED-valaistuksella, jopa 70%;
- annetaan tekoälylle ja robotiikalle aistit optisten sensoreiden avulla, joilla ne kommunikoivat ympäristönsä kanssa pystyen autonomiseen toimintaan;
- mahdollistetaan valmistuksen täydellinen digitalisointi fotoniikkaan perustuvilla tuotantoprosesseilla ja anturoinnilla, esimerkiksi 3D-tulostus, jotka muuntavat digitaalisen data suoraan fyysisiksi tuotteiksi ja laitteiksi
- digitaalisaatiossa, *big data*ssa, pilvipalveluissa ja 5/6G:ssä turvataan kasvu optisen tietoliikenteen, tietojenkäsittelyn ja laskennan avulla;
- kyberturvallisuudessa varaudutaan tietoliikenneyhteyksien häiriöihin erimerkiksi sotilaallisten konfliktien tai auringon voimakkaiden energiapurkausten takia
- liikenteen ja työkoneiden turvallisuudessa ja automatisointikehityksessä, jolloin toimitaan fotoniikalle haasteellisissa ulko-olosuhteissa
- mahdollistetaan omakohtainen terveydentilan ja sairauksien seuranta sekä uudenlaiset hoitomenetelmät.

Ehdotetut ratkaisut:

Lippulaiva-tyyppinen tunnustus fotoniikalle

Kansalliset fotoniikan tutkimus- ja tuotekehitysohjelmat

Fotoniikan asiantuntijoiden hyödyntäminen globaalien haasteiden ratkaisujen suunnittelussa ja toteutuksessa

Photonics Finlandin rahoitus

Fotoniikan rahoitus

Fotoniikan tehokkaampi hyödyntäminen ja kaupallistaminen vaativat pitkäjänteisempää työtä ja rahoitusta kuin mitä nyt on tarjolla. Tarvitaan jatkuvuutta ja laajempia rahoitusohjelmia, joilla voidaan yhdistää laajemmin niin alan tutkimus fotoniikan eri osa-alueiden välillä kuin myös muiden alojen välillä, kuten materiaalit, elektroniikka, automaattiset ajoneuvot, instrumentointi, ohjelmointi, tekoäly, lääketiede, farmasia ja biologia. Isot yritykset tarvitsevat ja haluavat entistä enemmän hyödyntää tutkimuksen lisäksi myös useiden pk-yritysten osaamista.

Fotoniikalle on ominaista suhteellisen lyhyt polku tieteestä kaupallisiin tuotteisiin. Yritykset palkkaavat yhä enenevässä määrin suomalaisista yliopistoista valmistuneita fotoniikan tohtoreita ja maistereita, jotka pääsevät hetimmiten hyödyntämään yliopistossa tekemäänsä tutkimusta ja hankkimaansa osaamista.

Suomalainen fotoniikan osaaminen on huomattu myös ulkomailla. Yhä useammat ulkomaiset yritykset, jopa sellaisista fotoniikan vahvoista maista kuin Saksasta ja Hollannista, hakevat osaamista ja partnereita Suomesta sekä sijoittavat Suomeen uutta yritystoimintaansa, kuten osaamiskeskuksiaan. *Invest-in*-toimintaa vahvisti Nokian ja sittemmin Microsoftin kännykkäteollisuuden alasajo, joka toi vapaille markkinoille merkittävän osaamispoolin. Usein yksi euro kansainvälistä rahoitusta tarvitsisi rinnalleen toisen euron kansallista rahoitusta jakamaan teknologian kehitykseen liittyvää riskiä. Suomalaiset rahoitustyökalut eivät kuitenkaan ole aina yhteensopivia ulkomaisten rahoitustyökalujen kanssa ja näin rajoittavat yritysten ja tutkimuslaitosten mahdollisuutta osallistua aktiivisesti kansainvälisiin yhteistyöverkostoihin.

Lehtihaastattelussa (Talouselämä, 25.4.2018) Risto Linturi kritisoi: ”Suomalaisten yritysten ja teollisuuden kyky omaksua uusia teknologioita nopeasti on kadonnut” ja ”Yritykset eivät uskalla lähteä tekemään kokeiluita ja ottaa riskiä uusien teknologioiden kohdalla. Liian paljon seurataan sivusta.” Tarvitaan start-up-yrityksiä ja niitä tukevia innovaatioekosysteemejä. Start-up-

yritykset tarvitsevat innovaatioekosysteemien rohkeutta ottaa käyttöön uusia innovaatioita, kokeilla ja erityisesti luoda suomalaisille yrityksille kansainvälisesti uskottavia referenssimahdollisuuksia. Isoissa kansallisissa investoinneissa, joissa on paljon valtion tukea mukana, voisi monipuolisemmin huomioida referenssipaikkamahdollisuudet teknologiatestaajille (metrologia ja laatu, standardisointityö).

Kaupallistamista tekevät ihmiset, eivät organisaatiot, ja riskirahoittajat sijoittavat tiimeihin, eivät organisaatiohin. Tutkimuslaitosten innovaatiotoimintaan olisi hyvä kiinnitttää huomiota lainsäädännössä ja poliittisessa ohjauksessa.

Ehdotetut ratkaisut:

Kansalliset fotoniikan tutkimus- ja tuotekehitysohjelmat

Investoinnit teollisuuden tukemiseen uusien fotoniikkaa hyödyntävien laitteiden käyttöönottoon

Fotoniikan *Invest-in*-ohjelma Business Finlandille

Kansallisen rahoituksen joustavuus kansainvälisten rahoitustyökalujen suhteen

Kokeilukulttuurin ja julkisten hankintojen käytäntöjen kehittäminen tukemaan kotimaisten innovaatioiden pilotointia ja testausta

Lainsäädäntö tehostamaan tutkimuslaitosten innovaatioiden hyödyntämistä

Fotoniikan koulutus ja infra

Fotoniikan sovellukset ja yritystoiminta Suomessa ovat kovassa kasvussa. Alan oman arvion mukaan osaavan työvoiman tarve on jopa nelinkertainen nykyiseen koulutukseen verrattuna. Tarvitaan lisää matematiikan, luonnontieteiden ja teknologian alojen koulutuksen aloittavia nuoria. Suomalaisiin yliopistoihin tarvitaan myös enemmän ulkomaisia opiskelijoita, jotka koulutuksen saatuaan jäävät Suomeen työhön tai jatkaessaan muihin maihin tukevat Suomen fotoniikan kansainvälistä verkoistoitumista. Taloudellinen hyöty tuskin tulee kansainvälisten

opiskelijoiden lukukausimaksuista vaan moninkertaisena heidän työstään suomalaisen elinkeinoelämän hyväksi koulutuksen jälkeen. Miten jatkossa houkutella kansainvälisiä fotoniikan opiskelijoita Suomeen, kun esimerkiksi fotoniikan johtava maa Euroopassa, Saksa, tarjoaa edelleen ilmaisen yliopistokoulutuksen?

Fotoniikan koulutus Suomessa on toistaiseksi keskittynyt yliopistoihin. Mallia lähdetään hakemaan johtavista fotoniikan maista, kuten USA:sta ja Saksasta, jotta koulutusta saataisiin laajennettua ammattikorkeakouluihin ja toisen asteen ammattikoulutukseen. Pilottina on Joensuun Fotoniikan Koulutuspolku ohjelma, jossa koulutusyhteistyötä kehitetään UEF:n, Karelia ammattikorkeakoulun ja Riveria ammattikoulutuksen kesken yhteistyössä Joensuun Tiedepuiston ja Photonics Finlandin kanssa. Nopea apu työvoimatarpeeseen on täydennyskoulutus ja muuntokoulutus (jatkuva oppiminen), joita lähdetään myös kehittämään yhteistyössä alan teollisuuden kanssa ja tarpeista lähtien.

Akateemisen maailman ja teollisuuden rajaa pehmennetään koko ajan lisäämällä yhteistyötä ei vain yhteisten hankkeiden kautta, vaan myös opiskelijoiden liikkuvuutta lisäämällä. Enenevässä määrin opiskelijat voivat suorittaa maisteri- tai väitöskirjaopintojaan teollisuuden ohjauksessa ja jopa rahoituksella.

Fotoniikan tuotekehitys ja teollisuus vaativat monenlaista laitteistoa ei vain prototyyppien ja tuotteiden valmistuksessa, vaan myös mittauksessa, testauksessa ja laadunvalvonnassa. Kaikille yrityksille, niin pienille kuin suurillekin, on haastavaa investoida laitteisiin, joiden käyttötarve on lyhytaikaista, vaikkakin tärkeää. Kansallinen infra-rekisteri auttaisi löytämään ympäri Suomea sijoitetut laitteet ja osaamisen sekä lisäämään niiden yhteiskäyttöä. Toisaalta toimivan infran uudistaminen ja ylläpito vaativat rahoitusta. Monet nykyiset rahoitustyökalut eivät hyväksy laitteisto-investointeja eli tutkimusrahoitusta saa työhön, muttei laitteisiin. Fotoniikan tuotekehitys vaatii kuitenkin kokeellista tutkimusta ja sen mukana laitteita.

Ehdotetut ratkaisut:

Fotoniikan koulutukseen rahoitusta ja resursseja (jatkuvan oppimisen toimintamallien kehittäminen)

Korjaukset lainsäädäntöön helpottamaan kansainvälisten opiskelijoiden rekrytointia yliopistoihin

Kansallinen fotoniikan infra-rekisteri ja rahoitus infran uudistamiseen ja kilpailukyvyn parantamiseen

Fotoniikan mukana tulevat haasteet

Teknologia tuo mukanaan haasteita. Fotoniikka ei ole tässä erilainen.

Kun LED-valaistus tehostuu ja halpenee, osa säästöistä kuluu kaupunkien ja ympäristön valaistuksen lisääntymiseen. On alettu puhua valosaasteesta, joka sotkee niin ihmisten, eläinten kuin kasvien vuorokausi- ja vuosirytmejä. Toisaalta paremmat optiset komponentit ohjaavat valon sinne, minne sitä tarvitaan. Sinisiin LEDeihin perustuvien valkoisten LEDien yhteyksiä silmäsairauksiin ja unettomuuteen tutkitaan.

Entistä tehokkaamat ja halvemmat laserit tuottavat haasteita silmäturvallisuudelle ja esimerkiksi lentokoneiden häirinnästä laserosoittimilla saadaan lukea kuukausittain lehdistä. Sama ongelma on odotettavissa autoissa, kun niiden automaatiotaso nousee. Häirintä ja “omat kokeilut” tulevat mukaan kuvaan.

Optisen tietoliikenteen mahdollistama nykypäivän Internet ja sosiaalinen media tuovat lieveilmiöitä, kuten sopimattomien valokuvien ja videoiden jakamisen. Pienikokoiset valvonta- ja riistakamerat sekä kännykkäkamerat tunkeutuvat yksityiselämäämme. Kiinassa jopa seurataan jatkuvasti opiskelijoiden tarkkaavaisuutta ja osallistumista koulupäivän aikana.

5. LAINATUT LÄHTEET

Academy of Finland. (2012). *Physics Research in Finland 2007-2011.* Noudettu osoitteesta http://www.aka.fi/globalassets/awanhat/documents/tiedostot/julkaisut/8_12_physics-research.pdf

Agfunder. (2017). *AgFunder AgriFood Tech Investing Report.* Noudettu osoitteesta https://research.agfunder.com/2017/AgFunder-Agrifood-Tech-Investing-Report-2017.pdf

Agrell, Erik et al. (2016). Roadmap of Optical Communications. *Journal of Optics 18*.

Ailisto, et al. (2018). Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus. VNK:n julkaisusarja 46/2018. Noudettu osoitteesta http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160925/46-2018-Tekoalyn%20kokonaiskuva.pdf

Burai, et al. (Toukokuu 2013). Application of remote sensing in the red mud environmental disaster in hungary. Teoksessa *Carpathian journal of earth and environmental sciences* (ss. 49-54). Noudettu osoitteesta Carpathian journal of earth and environmental sciences: https://bit.ly/2NDT9dm

Cinia. (21. Kesäkuu 2018). *Investointi Koillisväylän datakaapeliin kiihdyttää elinkeinoelämää Länsi-Uudellamaalla*. Noudettu osoitteesta http://news.cision.com/fi/cinia/r/investointi-koillisvaylan-datakaapeliin-kiihdyttaa-elinkeinoelamaa-lansi-uudellamaalla,c2554760

Deloitte. (2017). *Blueprint for plastics packaging waste: Quality sorting & recycling.* Plastic R ecycles Europe. Noudettu osoitteesta https://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/PRE_blueprint%20packaging%20waste_Final%20report%202017.pdf

Desurvire, et al. (1987). High-gain erbium-doped traveling-wave fiber amplifier. Teoksessa *Optics Letters, Vol. 12, No. 11.*

Dhondt, et al. (2013). Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come. http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.008 (Supports Open Access). rends in Plant Science 18.

Dumont, et al. (2015). Thermal and hyperspectral imaging for Picea abies seeds screening. *Computers and Electronics in Agriculture, 116*, 118-124. Noudettu osoitteesta http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.06.010

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta. (2016-2017). *Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 TuVL 1/2017 - VNS 7/2016.* Helsinki: Eduskunta. Noudettu osoitteesta https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Lausunto/Sivut/TuVL_1+2017.aspx

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta. (2018). *Geeniteknologia.*

Eduskunta. (2014). *Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 5/2014.* Helsinki: Tulevaisuusvaliokunta.

EPIC. (2017). *Market and Technology Briefing.* EPIC.

Falldorf, et al. (2014). Estimating lichen volume and reindeer winter pasture quality from Landsat imagery. . http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.027 (Supports Open Access). Teoksessa *Remote Sensing of Environment, 140* (ss. 573-579).

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *The State of Food and Agriculture.* Rome.

Frost&Sullivan. (2018). *Global Autonomous Driving Market Outlook 2018.*

Granlund, et al. (2018). . Imaging lichen water content with visible to mid-wave infrared (400-5500 nm) spectroscopy. Teoksessa *Remote Sensing of Environment.*

Haaparanta, P. (Marraskuu 2017). ”100 vuotta pientä avotaloutta – Suomen ulkomaankaupan kehitys, merkitys ja näkymät”, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 73/2017.

Halme, et al. (2014). *Kasvua ja työllisyyttä uudella energiapolitiikalla.* Helsinki. Noudettu osoitteesta https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/43024/Kasvua%20ja%20työllisyyttä%20uudella%20energiapolitiikalla.pdf?sequence=1

Harari. (2017). *Homo Deus-Huomisen lyhyt historia.* Bazar.

He Yang, V. K. (2018). Nanowire network–based multifunctional all-optical logic gates. *Science Advances, vol. 4, no. 7*.

Helsingin Sanomat. (6. Helmikuu 2016). VTT:n uuden toimitusjohtajan mielestä Suomessa valitetaan liikaa. *Helsingin Sanomat*. (P. Sajari, Toim.) Helsinki: Helsingin Sanomat. Noudettu osoitteesta https://www.hs.fi/talous/art-2000002884484.html

International Diabetes Federation. (2017). *IDF Diabetes Atlas, 8th edn. .* Brussels, Belgium: International Diabetes Federation.

Kalmari, J. (2015). *Nonlinear Model Predictive Control of a Hydraulic Forestry Crane - Hydraulisen metsäkonenosturin mallinprediktiivinen säätö.* Espoo: Aalto University. Noudettu osoitteesta

https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/17669/isbn9789526063256.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Koponen, et al. (2018). *Terveys, toimintakyky ja hyvinvointi Suomessa: Finterveys 20147 - tutkimus.* Helsinki: THL. Noudettu osoitteesta http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136223/THL_RAP_2018_04_Finterveys_verkko.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Lecun, et al. (2015). Deep learning. *Nature, 521(7553)*, (ss. 436-444).

Linturi, R. (2018). *Suomen sata mahdollisuutta - Yhteiskunnan toimintamallit uudistava.* Helsinki: Eduskunta.

Liu, et al. (2014). Application of multispectral imaging to determine quality attributes and ripeness stage in strawberry fruit. Plos One 9: e87818. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0087818 (Open Access).

Mahlein, et al. (2017). Plant disease detection by hyperspectral imaging: from the lab to the field. Advances in Animal Biosciences. *Precision Agriculture (ECPA)*, (ss. 238–243.).

Mohammad, et al. (2016). *Optics in Our Time.* Springer Open.

Photonics Finland, Tekes ja Finpro. (2016). *Kansallinen fotoniikkatoimialan selvitys.* Noudettu osoitteesta https://www.photonics.fi/fi/photonics-industry-report-finland/

Rantanen, K. (2015). *Valo ja sen hyödyntäminen ennen ja nyt.* Helsinki: Art House.

Raut, et al. (1997). *Exports and Human Capital in Economic Growth, in Economic Development and Cul-tural Change.*

SGU-projekti. (Syyskuu 2018). *The Geological Survey of Sweden – SGU* . Noudettu osoitteesta https://www.sgu.se/en/mineral-resources/geological-information-for-mineral-exploration/drill-core-collection/drill-core-scanning-at-sgu/

Shen, et al. (2016). Deep learning with coherent nanophotonic circuits. *Nature Photonics volume 11*, (s. 4).

Siippanen, M. (1. Elokuu 2018). "Jotenkin siinä narrataan aivoja" - Seniori koki huimausta VR-lasit päässään. *Sanomalehti Karjalainen*. Noudettu osoitteesta https://www.karjalainen.fi/uutiset/uutis-alueet/maakunta/item/190319-jotenkin-siina-narrataan-aivoja-seniori-koki-huimausta-vr-lasit-paassaan

Sjöstedt, T. (2018). *Näin syntyy Suomessa kiertotalous*. Noudettu osoitteesta https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/

Tampere University of Technology. (2017). *Tampere University of Technology Research Assessment Exercise 2017.* Tampere. Noudettu osoitteesta

http://www.tut.fi/cs/groups/public_news/@l102/@news/@p/documents/liit/x226001.pdf

VTT. (2017). *Tuottoa ja tehokkuutta Suomeen tekoälyllä.* Noudettu osoitteesta https://www.vtt.fi/inf/pdf/policybrief/2017/PB1-2017.pdf

Zhang, et al. (2016). Hyperspectral imaging analysis for ripeness evaluation of strawberry with support vector machine. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.002 (Supports Open Access). Teoksessa *Journal of Food Engineering 179* (ss. 11-18).

Österberg, P. (2009). *Wood Quality and Geometry Measurements Based on Cross Section Images.* Tampere: Tampere University of Technology. Noudettu osoitteesta https://tutcris.tut.fi/portal/files/2077387/osterberg.pdf

FOTONIIKKA-SELVITYKSEN PHOTONICS FINLANDIN PUOLESTA TOTEUTTIVAT

Timo Aalto, tutkimuspäällikkö, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Heikki Ailisto, tutkimusprofessori, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Jarkko Antila, toimitusjohtaja, Spectral Engines Oy
Tero Eklin, laboratoriojohtaja, Suomen Ympäristökeskus
Antti Haapala, yliopistotutkija (puumateriaalitiede), UEF
Esko Herrala, FM, Specim Oy, Spectral Imaging Oy
Henrik Heräjärvi, erikoistutkija, Luonnonvarakeskus
Timo Hirvi, professori (emeritus), Mittatekniikan keskus
Pekka Hänninen, professori, Turun yliopisto
Kimmo Jokinen, CTO, Optofidelity Oy
Markku Keinänen, professori (biologinen ja biolääketieteellinen spektrikuvantaminen), UEF
Kari Kola, toimitusjohtaja, Valoparta Oy
Jouko Korppi-Tommola, professori (emeritus), Jyväskylän yliopisto
Matti Kutila, erikoistutkija, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Reijo Lappalainen, professori (biomateriaalitekniikka), UEF
Toni Laurila, teknologiajohtaja, Sensmet Oy
Arttu Luukanen, toimitusjohtaja, Asqella Oy
Martti Kauranen, professori (fysiikka), Tampereen teknillinen yliopisto
Elina Oksanen, professori (kasvifysiologia ja bioteknologia), UEF
Juha Purmonen, toiminnanjohtaja, Photonics Finland
Antti Räisänen, professori, Aalto-yliopisto
Jyrki Saarinen, puheenjohtaja, Photonics Finland; professori (fotoniikan sovellukset ja kaupallistaminen) ja Fotoniikan instituutin johtaja, UEF
Eero Salmelin, johtaja, Imaging and Video Technology, Huawei
Antti Salminen, professori (lasertyöstö), Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Petri Stenberg, tuotantojohtaja, Dispelix Oy
Timo Tokola, professori (metsätietojärjestelmät), UEF
Heikki Turtiainen, senior scientist, Vaisala Oyj
Petteri Uusimaa, toimitusjohtaja, Modulight Oy
Pasi Vahimaa, professori, UEF

Mikko Vastaranta, apulaisprofessori (kaukokartoitus), UEF

Arto Visala, professori, Aalto-yliopisto

PHOTONICS FINLANDIN HALLITUS

Puheenjohtaja Jyrki Saarinen, UEF, Joensuu

Varapuheenjohtaja Niklas Saxen, Edmund Optics Oy, Helsinki

Veli-Pekka Leppänen, Nanocomp Oy, Joensuu

Varalla: Samuli Siitonen, Nanocomp Oy, Joensuu

Timo Vuorenpää, Senop Oy, Lievestuore

Varalla: Jyrki Huttunen, Oplatek Group Oy, Leppävirta

Ulla Haapanen, Modulight Oy, Tampere

Varalla: Lasse Orsila, Modulight Oy, Tampere

Samuli Laukkanen, Vaisala Oyj, Vantaa

Varalla: Markku Vainio, Helsingin yliopisto

Antti Isomäki, Helsingin yliopisto

Varalla: Jouko Korppi-Tommola, Jyväskylän yliopisto

Juha Toivonen, Tampereen teknillinen yliopisto

Varalla: Mikko Huttunen, Tampereen teknillinen yliopisto

Kim Grundström, Kimmy Photonics Oy, Espoo

Varalla: Pekka Hänninen, Turun yliopisto

Anna Rissanen, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo

Varalla: Kimmo Keränen, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Oulu

PHOTONICS FINLANDIN TIETEELLINEN NEUVOTTELUKUNTA

Professori Mircea Guina, Tampereen teknillinen yliopisto, puheenjohtaja
Timo Aalto, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo
Professori Tapio Fabritius, Oulun yliopisto
Professori Ari T. Friberg, UEF, Joensuu
Professori Lauri Halonen, Helsingin yliopisto
Professori Janne Ihalainen, Jyväskylän yliopisto
Professori Pentti Karioja, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Oulu
Tom Kuusela, Turun yliopisto
Risto Oikari, Cemis, Kajaani
Professori Antti Salminen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Professori Zhipei Sun, Aalto-yliopisto

PHOTONICS FINLANDIN YRITYS- JA YHTEISÖJÄSENET



TOIMITTAJAT

Jyrki Saarinen, puheenjohtaja, Photonics Finland; professori (fotoniikan sovellukset ja kaupallistaminen) ja Fotoniikan instituutin johtaja, UEF

Juha Purmonen, toiminnanjohtaja, Photonics Finland

ASIAHAKEMISTO

3D-tulostus; 96
AAC; 93, 97
Aallonpituus; 7, 26, 34, 35, 53, 54, 133
Aalto Timo; 55, 151, 154
Accenture; 123
Ahopelto Timo; 12
Ailisto Heikki; 86, 151
AIRAM ELECTRIC Oy; 132
Alibaba; 66, 121
Amazon; 66
AMS AG; 11
Antila Jarkko; 151
Apple; 66, 105
Arbonaut Oy; 17
ArboTimber; 17
ArcDia Oy; 69
Argone Oy; 20
Ashkin Arthur; 13
Asqella Oy; 135
Audi; 105, 107
Aurinkosähkö; 124, 125, 127, 128, 129
Autoteollisuus; 107, 108
Avanade; 123
Axon; 93, 97
Barish Barry B.; 13
Beidou; 105
Big data; 8, 46, 60
BMW; 107
CGI Plc; 123
Cinia Oy; 57
Coherent; 11, 102
Corelase Oy; 11
Daimler; 105, 107, 108
Disior Oy; 123
Dispelix Oy; 11, 65, 67, 119, 120, 151
EASY/LED Oy; 132
Eklin Tero; 151
Energiatehokkuus; 56
Esineiden internet; 60
Fabritius Tapio; 154
Facebook; 66
Finscan Oy; 25
FLEXBRIGHT Oy; 132
FocalSpec Oy; 81
Friberg Ari T.; 154
Gainsense Oy; 41
Gasera Oy; 33, 46, 82
Gasmet Oy; 46
Google; 66, 105, 121
Grainsense Oy; 41, 44, 46
Grundium Oy; 69, 93
Grundström Kim; 153
Guina Mircea; 9, 128, 154
Haapala Antti; 151
Haapanen Ulla; 153
Halonen Lauri; 154
Helmee imaging Oy; 97
Heptagon Oy; 11
Herrala Esko; 43, 151
Heräjärvi Henrik; 151
Hidex Oy; 69
Hirvi Timo; 151
HTC; 88
Huawei; 66, 93, 97, 151
Huttunen Jyrki; 153
Huttunen Mikko; 153
HyacinthLux Oy; 132
Hypermemo Oy; 101
Hänninen Pekka; 151
Hänninen Pekka; 153
Ihalainen Janne; 154
Intel; 93, 97
Ionix Oy; 102
Isomäki Antti; 153
Itsediagnostiikka; 60
John Deere Forestry Oy; 19
Junkkari Oy; 19
Kalmari Jouko; 22
Karioja Pentti; 154
Kauranen Martti; 151
Keinänen Markku; 151
Keränen Kimmo; 153
Kesla Oyj; 19
Kimmo Jokinen; 151
Kimmy Photonics Oy; 153
Kola Kari; 151
Komatsu-Forest Oy; 19, 21
Kopola Harri; 10
Korppi-Tommola Jouko; 126, 127, 131, 151, 153
Kutila Matti; 151
Kuusela Tom; 154
Labrox Oy; 69
Ladimo Oy; 94

Lappalainen Reijo; 151
laser; 67, 101, 108, 133
Laukkanen Samuli; 153
Laurila Toni; 151
LED; 8, 33, 35, 45, 48, 90, 104, 106, 130, 131, 132, 138
LED Tailor Innova7ion Oy; 132
LEDiL Oy; 132
Leppänen Veli-Pekka; 153
LiDAR; 20, 21, 23, 47, 95, 104, 105, 107, 108, 109, 136
LiFi; 59
Linturi Risto; 8, 42, 46, 48, 57
Lisätty todellisuus; 60, 117, 118, 120, 122
Logset Oy; 19
Luonnonvarakeskus; 16, 41, 43, 151
Luukanen Arttu; 151
Luxexcel Ltd; 96
Luxmet Oy; 82
Magic Leap; 66, 119, 120
Maunuksela Jussi; 128
Metsä Group Oyj; 18, 19
Metsäteho Oy; 19, 20, 21
Microsoft; 65, 66, 89, 93, 95, 119, 120
Modulight Oy; 11, 68, 69, 72, 73, 76, 108, 151, 153
MosaicMill Oy; 18
Mourou Gérard; 13
MTK; 19
m-u-t AG; 11
Nakamura Shuji; 130, 138
Nanocomp Oy; 11, 94, 132, 153
NAPS Oy; 128
Nestor Cables Oy; 57
Noisless imaging Oy; 97
Nokia; 65, 92, 93, 95, 137
Nomicam Oy; 93, 97
Oikari Risto; 154
Oksanen Elina; 151
Oplatek Group Oy; 108, 153
Optinen kuitu; 53, 54, 56
OptoFidelity Oy; 63, 65, 151
Optomed Oy; 69
Orsila Lasse; 153
Outotec Oyj; 46
Parker Hannifin Oy; 19
Pemamek Oy; 102
Perkin Elmer Oy; 11, 71, 72
PerkinElmer Oy; 68, 69
Planmeca Oyj; 69
Plasmoniikka; 57
Polar Electro Oy; 67, 68, 69
Polight; 93, 97
Ponsse Oyj; 19, 20, 21
Powervision; 93, 97
Primoceler Oy; 11, 69, 101
Procemex Oy; 97
Purmonen Juha; 10, 146, 151, 156
Radiometer Oy; 69
Rantanen Kalevi; 8
Raute Oyj; 25
Renault; 105, 108
rinnakkainen optinen tiedonsiirto; 54
Rissanen Anna; 153
Ritala Risto; 19
Rockley Photonics Oy; 57
Rosendahl Nextrom Oy; 57
Räisänen Antti; 151
Saab; 106
Saarinen Jyrki; 9, 151, 153, 156
Salmelin Eero; 92, 151
Salminen Antti; 98, 100, 151, 154
Sapotech Oy; 82
Savin Hele; 128
Saxen Niklas; 153
Schott AG; 11
Senop Oy; 40, 81, 114, 153
Sensmet Oy; 50, 151
Sentrol Systems; 31
Siitonen Samuli; 153
Sm4rtLab; 89
SMK Suomen Metsäkeskus; 16, 17, 18
Sofica Oy; 96
Specim Oy; 38, 40, 43, 65, 81, 83, 114, 115, 151
Spectral Engines Oy; 11, 33, 41, 42, 44, 46, 81, 82, 151
Stenberg Petri; 151
Stora Enso Oyj; 19
Strickland Donna; 13
Structured light; 94
Stubb Alexander; 12
Sun Zhipei; 154
Suomen Ympäristökeskus; 151
Suunto Oy; 69
Teleste Oyj; 57
TerraCore Ltd; 114
Thorne Kips. S.; 13
Tiedonsiirtoverkko; 49, 53
Tieto Oyj; 18, 123
Tietoturva; 56
Time of Flight; 94

Timegate Instruments Oy; 46
TimeGate Instruments Oy; 33, 81, 115
Toivonen Juha; 153
Tokola Timo; 151
Turtiainen Heikki; 151
Unispectral; 38
UPM-Kymmene; 19
Urtti Arto; 75
Uusimaa Petteri; 151
Vahimaa Pasi; 151
Vainio Markku; 153
Vaisala Oyj; 11, 33, 46, 47, 103, 105, 108, 109, 110, 151, 153
Valaistus; 8, 25, 33, 48, 90, 92, 94, 130, 131, 132, 138
Wallac Oy; 11, 71, 72, 77
Valmet Automation Oyj; 30
Valmet Oyj; 11, 31, 32, 46, 81
Valo; 7, 8, 9, 26, 27, 31, 33, 34, 45, 46, 47, 49, 53, 54, 58, 59, 67, 69, 70, 71, 75, 90, 101, 110, 111, 112, 113, 130, 131, 134, 136, 139
Valon lasers Oy; 69
Valopaa Oy; 132
Valoparta Oy; 112, 151
Valtavalo Oy; 132
Varjo Technologies Oy; 64, 65, 67, 89, 117, 118
Vasara Antti; 12
Vastaranta Mikko; 152
Weiss Rainer; 13
Veoneer; 106
Visala Arto; 19, 20, 22, 152
Vision Systems Oy; 82
VLC; 105, 106
Woodeye AB; 25
VTT; 9, 11, 12, 31, 32, 40, 55, 57, 70, 80, 81, 82, 85, 97, 102, 104, 107, 108, 109, 114, 115, 135, 140, 151, 153, 154
Vuorenpää Timo; 153
Yandex; 105
Yksilöllinen terveydenhuolto; 60
Ympäristöenergia Oy; 126
ZenRobotics Oy; 11, 83, 84
Älykäs kaupunki; 60

KUVAHAKEMISTO

Kuva 1: LiDARilla niin sanotulla SLAM-algoritmilla mitattu puukartta, pisteet puita punainen trajektori kuljettu matka. (Lähde: Arto Visala, Aalto yliopisto) 20
Kuva 2: Konenäköön perustuva pöllin pituuden mittaus (Metrix) on erittäin tarkka ideaalisissa olosuhteissa (Lähde: Arto Visala). 22
Kuva 3: Automaattisessa varhaisperkauksessa taimet havainnoidaan ja paikannetaan konenäöllä, visual servoing puomin ohjauksessa. (Aalto yliopisto) 23
Kuva 4: Valmet Automaation tuotteet paperikoneautomaatioon. 32
Kuva 5: Juustonpala, josta mitattu proteiinijakauma hyperspektrikameran avulla (lähde: Esko Herrala, Specim Oy) 43
Kuva 6: Esimerkkitulos pellon typpi- ja biomassakartoista mitattuna lennokkispektrikameralla (lähde: Jere Kaivosoja, Luonnonvarakeskus) 43
Kuva 7: Vasen: Grainsense Oy :n vilja-analysaattori. (Lähde: Grainsense Oy) Oikea: Spectral Engines Oy:n spektrisensoreita. (Lähde: Spectral Engines Oy) 44
Kuva 8: Vaisala Oyj:n Helideck –mittausjärjestelmän asentaminen käynnissä. Järjestelmä sisältää fotoniikkaan pohjautuvat pilvenkorkeusmittarin sekä näkyvyyden ja vallitsevan sään mittausanturit (Lähde: Vaisala Oyj) 47
Kuva 9: Tiedonsiirtokyvyn (tiedonsiirtonopeus kerrottuna etäisyydellä) kasvu 1840-2020 esitettynä logaritmisella asteikolla, jossa suora viiva vastaa eksponentiaalista kasvua (Lähde:Timo Aalto, VTT) 55
Kuva 10: Optisen kuidun rakenne ja eri tyypit (Lähde: Timo Aalto, VTT) 55
Kuva 11: Näytöntarkastuksen tuloskuva. Punaisella korostetut virheet ovat pieniä pistemäisiä alueita, sinisellä korostetut mura-tyyppisiä vaalentumia. (Lähde OptoFidelity Oy) 63
Kuva 12: Esimerkkejä fotoniikkaa hyödyntävistä Suomessa kehitetyistä ja valmistetuista tuotteista: PerkinElmer Oy:n lääketutkimuslaitteita, Polar Electro Oy:n älykello ja Modulight Oy:n syöpähoitolaser. (Lähteet: PerkinElmer Oy, Polar Electro Oy ja Modulight Oy)..... 68
Kuva 13: ZenRobotics Recyler jätteiden robottilajittelukone (Lähde: ZenRobotics Oy)..... 84
Kuva 14: Tekoälyyn liittyvät tieteenalat ja sitä hyödyntävät sektorit. (julkaistu (Ailisto, et al, 2018) sivulla 6.) 86
Kuva 15: Kuvantamiseen liittyvät osa-alueet. (Lähde: Eero Salmelin)..... 92
Kuva 16: Laserin eri käyttökohteiden suhteelliset osuudet vuoden 2017 laserien kokonaismarkkinasta 10,5M € (Lähde: Antti Salminen, lähdemateriaali Kincade, K., Nogee,

A., Overton, G., Belforte, D., Holton, C., Annual Laser Market Review & Forecast: Lasers enabling lasers, Laser Focus World, Issue 1, 2018) 98
Kuva 17: Laserleikkaus on vienyt koko ohutlevymarkkinan 15 vuoden aikana (Lähde: Antti Salminen. , lähdemateriaali Peter Leibinger: Laser the New Business Machine. AKL-International Laser Technology Congress, May 2-4, 2018 Aachen. Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT) 100
Kuva 18: Liikennesään mittauksissa hyödynnetään laajasti fotoniikkaa. Vaisala Oyj:n tiesääaseman antureista lähes puolet perustuu fotoniikkaan (merkitty kuvassa punaisin kehyksin). (Lähde: Vaisala Oyj) j) 103
Kuva 19: Automaattiautojen kehitys vaatii niin kamera, LiDAR kuin ympäristöolosuhteiden tuntemusta. Robottiauto Marilyn sumutesteissä. (Lähde: VTT) 104
Kuva 20: Markkinoilla olevia auto- ja työkone LiDAReita. (Lähde: VTT) 107
Kuva 21: Anturit, mittauskortit ja ohjelmistot ovat antureiden tärkeimpiä komponentteja. (Lähteet: vas. Vaisala Oyj, oik. VTT). 109
Kuva 22: Vaisalan konenäköön perustuvan liikenneinfran valvontajärjestelmän näyttö. (Lähde: Vaisala Oyj) 110
Kuva 23: Värikuva ja mineraaliluokiteltu hyperspektrikuva kairasydänlaatikosta. (Lähde: Specim Oy)..... 115
Kuva 24: Aurinkolämmön kuukausituotanto vuonna 2016 Keski-Suomessa 10 m2:n etelälappeen keräimestä. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola)..... 127
Kuva 25: Saarijärven koulukeskuksen aurinkopaneelien (33 m2) vuosituotanto kuukausittain vuonna 2012. Kokonaistuotto 4523 kWh (Lähde: Jussi Maunuksela) 128
Kuva 26: Jyväskylän Ylistön sillan valoinstallaatio. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola) 131
Kuva 27: Vasemmalla Asqella Oy:n passiivinen terahertsikamera ARGON. Oikealla kuva kameran käyttöliittymästä, jossa videokameran kuva keskellä, ja oikealla THz kameran kuva samasta näkymästä. (Lähde: Asqella Oy)..... 135