

# FOTONIIKASTA VALOA SUOMEN HYVINVOINTIIN

Selvitys alan vaikuttavuudesta ja kasvunäkymistä



# FOTONIIKASTA VALOA SUOMEN HYVINVOINTIIN

Selvitys alan vaikuttavuudesta  
ja kasvunäkymistä

toimittaneet  
Juha Purmonen ja Jyrki Saarinen

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 5/2018

Kannen kuva: Tuukka Pakarinen.

Takakannen kuva: Eduskunta, Vesa Lindqvist. Osa Wäinö Aaltosen teoksesta Tulevaisuus (1932).

Tulevaisuusvaliokunta

00102 Eduskunta

[www.eduskunta.fi](http://www.eduskunta.fi)

Helsinki 2019

ISBN 978-951-53-3720-7 (nid.)

ISBN 978-951-53-3721-4 (pdf)

ISSN 2342-6594 (painettu)

ISSN 2342-6608 (verkkojulkaisu)

# Sisällys

---

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Esipuhe .....                                                                                                                                   | 7  |
| 1 Johdanto .....                                                                                                                                | 11 |
| 2 Fotoniikan sovellukset Suomelle tärkeisiin teemoihin .....                                                                                    | 16 |
| 2.1 Biotalous.....                                                                                                                              | 16 |
| 2.1.1 Metsästä portille .....                                                                                                                   | 16 |
| Strategisen tason sovellukset – Valtakunnan metsien inventointi<br>poliittisen päätöksenteon tueksi – fotoniikkaa satelliittiaineistoilla ..... | 16 |
| Metsänomistajataso sovellukset – fotoniikkaa laserkeilauksella .....                                                                            | 17 |
| Yritystaso – Puunhankinta, korjuu ja logistiikka .....                                                                                          | 18 |
| 2.1.2 Metsäkoneet.....                                                                                                                          | 19 |
| 2.1.3 Metsä portilta tuotteeksi.....                                                                                                            | 22 |
| Fotoniikka puutuoteteollisuudessa ja puutuotteiden ominaisuuksien<br>seurannassa .....                                                          | 23 |
| Fotoniikka massa-, paperi- ja kartonkiprosesseissa.....                                                                                         | 25 |
| Menestystarina – Valmet Oyj .....                                                                                                               | 27 |
| 2.1.4 Kasvit (biofotoniikka).....                                                                                                               | 29 |
| Tulevaisuuden näkymät .....                                                                                                                     | 31 |
| Merkitys Suomen kilpailukyvyille.....                                                                                                           | 32 |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle.....                                                                                                             | 32 |
| Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet .....                                                                                                        | 32 |
| 2.1.5 Ruoka .....                                                                                                                               | 33 |
| Sovellukset tänään .....                                                                                                                        | 33 |
| Tulevaisuus.....                                                                                                                                | 33 |
| Merkitys Suomen kilpailukyvyille.....                                                                                                           | 36 |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle.....                                                                                                             | 37 |
| 2.2 Cleantech ja ympäristö.....                                                                                                                 | 37 |
| Mistä on kyse? .....                                                                                                                            | 37 |
| Fotoniikka ja cleantech.....                                                                                                                    | 37 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Menestystarina – Vaisala Oyj .....                          | 38 |
| Tulevaisuus.....                                            | 39 |
| Suomen kilpailukyky .....                                   | 41 |
| 2.3 Digitalisaatio .....                                    | 42 |
| 2.3.1 Tietoliikenne ja laskenta .....                       | 42 |
| Sovellukset tänään .....                                    | 42 |
| Tulevaisuus.....                                            | 45 |
| Merkitys Suomen kilpailukyvyllä.....                        | 46 |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle.....                         | 47 |
| Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet .....                    | 47 |
| 2.3.2 Näytöt ja niiden mittaus t&k:ssa ja tuotannossa ..... | 48 |
| Sovellukset tänään .....                                    | 48 |
| Tulevaisuus.....                                            | 50 |
| Merkitys Suomen kilpailukyvyllä.....                        | 51 |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle.....                         | 51 |
| Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet .....                    | 51 |
| 2.4 Hyvinvointi ja terveys .....                            | 52 |
| Sovellukset tänään .....                                    | 52 |
| Success story – Perkin Elmer/Wallac.....                    | 56 |
| Success story – Modulight Oy .....                          | 56 |
| Tulevaisuus.....                                            | 56 |
| Merkitys Suomen kilpailukyvyllä.....                        | 59 |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle.....                         | 60 |
| Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet .....                    | 60 |
| 2.5 Kiertotalous.....                                       | 61 |
| Fotoniikka tuotannossa .....                                | 61 |
| Fotoniikka kierrätyksessä .....                             | 62 |
| Esimerkki ZenRobotics Oy.....                               | 63 |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle ja kilpailukyvyllä.....      | 64 |
| Tulevaisuus.....                                            | 64 |
| Tekoäly.....                                                | 64 |
| 2.7 Opetus .....                                            | 66 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3 Fotoniiikan sovellukset muihin globaalisti tärkeisiin teemoihin ..... | 69  |
| 3.1 Kamerateknologiat .....                                             | 69  |
| 3.2 Teollisuus 4.0 .....                                                | 73  |
| 3.3 Liikenne .....                                                      | 76  |
| Sovellukset tänään .....                                                | 76  |
| Tulevaisuus.....                                                        | 77  |
| Merkitys Suomen kilpailukyvyille.....                                   | 78  |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle.....                                     | 78  |
| Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet .....                                | 79  |
| 3.4 Matkailu.....                                                       | 81  |
| Fotoniiikan mahdollisuudet .....                                        | 81  |
| Suomen mahdollisuudet .....                                             | 84  |
| 3.5 Kaivosteollisuus .....                                              | 84  |
| Esimerkki: SGU-projekti.....                                            | 85  |
| Merkitys Suomen yhteiskunnalle.....                                     | 86  |
| Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet .....                                | 87  |
| 3.6 Virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus (VR/AR/MR) .....        | 87  |
| Virtuaalitodellisuus .....                                              | 87  |
| Lisätty todellisuus.....                                                | 88  |
| Nykytilanne, lisätyn todellisuuden osaaminen ja kehitys Suomessa.....   | 89  |
| Tulevaisuus, lisätyn todellisuuden osaaminen ja kehitys Suomessa .....  | 89  |
| Esimerkkejä mahdollisista sovelluskohteista – lisätty todellisuus ..... | 90  |
| 3.7 Energia .....                                                       | 91  |
| Globaali kokonaiskuva .....                                             | 91  |
| Aurinkolämpö .....                                                      | 93  |
| Aurinkosähkö .....                                                      | 94  |
| Valaistus.....                                                          | 96  |
| 3.8 Turvallisuus .....                                                  | 98  |
| Terahertsitekniikka (fotoniikkaa ja elektroniikkaa) –                   |     |
| Sovellukset tänään .....                                                | 98  |
| Tulevaisuus.....                                                        | 100 |
| Merkitys Suomen kilpailukyvyille ja yhteiskunnalle.....                 | 101 |

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet .....                                                                  | 101 |
| 3.9 Perustutkimus.....                                                                                    | 101 |
| 4 Toimenpidesuosituksia fotonikkaan liittyvän osaamisen ja liiketoiminnan<br>kehittämiseksi Suomessa..... | 104 |
| Fotoniikan näkyvyys ja asema .....                                                                        | 104 |
| Fotoniikan rahoitus .....                                                                                 | 105 |
| Fotoniikan koulutus ja infra .....                                                                        | 106 |
| Fotoniikan mukana tulevat haasteet.....                                                                   | 108 |
| 5 Lainatut lähteet.....                                                                                   | 109 |
| Photonics Finland .....                                                                                   | 112 |

Yksi eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan keskeisistä tehtävistä on arvioida ja ennakoida teknologian kehitystä. Valiokunnassa on kehitetty tätä tehtävää varten oma ennakkointimenetelmä, jota kutsutaan radikaalien teknologioiden nelitasomalliksi. Nelitasomallia on käytetty vuodesta 2013 lähtien ja sitä on kehitetty saatujen kokemusten perusteella. Malliin perustuen valiokunta on jo kahdesti julkaissut ns. Radikaalit teknologiat-raportin, joissa on kuvattu muun muassa 100 lupaavinta nousevaa teknologiaa. Valiokunta on teettänyt myös arvioinnin siitä, missä määrin raporteissa ennakoitu kehityskulku on toteutunut. Arvioinnin perusteella ennusteet ovat pitäneet hyvin paikkansa ja myös EU komissio ja OECD ovat hyödyntäneet valiokunnan tuloksia omissa selvityksissään.

Fotoniikka eli fotonitiede eli valotiede on teknologian ala, jossa käsitellään valon eli fotonien tuottamista, niiden kulun ohjailua ja havaitsemista sekä valoon perustuvaa tiedonkäsittelyä ja -siirtoa. Fotoniikka näkyy Radikaalit teknologia-raportissa (TuVJ 1/2018) monin tavoin. Sitä käsitellään raportissa nimellä plasmoniikka, mikä on juuri yksi niistä uusista vahvistuvista ilmiöistä, jotka uusin Radikaalit teknologiat -raportti on tunnistanut: *”Plasmoniikka on esimerkki uudesta tieteellisestä ilmiöalueesta, joka on otettu seurattavaksi. Kyseessä on valon (fotonien) manipulointi sähköön avulla. Alan sovelluksia on vielä vaikea ennakoida, mutta ne tulevat liittymään ainakin tiedonsiirtoon ja materiaalien uudentyyliin optisiin ominaisuuksiin.”*

Plasmoniikan tuntemus auttaa tuottamaan läpinäkyviä, lujia materiaaleja sekä optisia, optoelektronisia ja elektroniikkamateriaaleja. Plasmoniikan avulla voidaan tehdä terveysta valvovia nanokoneita, jotka viestivät kehon läpi tai tarrautuvat syöpäsoluihin ja tappavat ne. Plasmoniikka mahdollistaa myös ylivertaiset näyttölaitteet, mobiililaitteiden suunta-antennit, suoraan verkkokalvolle osuvat mikrolaserit jne.

Muista fotoniikan sovelluksista raportissa mainitaan muun muassa;

- LED-viljely, kaupunkiviljely,
- robottiviljely, materiaalitutka, hyperspektrikamera, laser- ja spaser -pohjaiset Lidar-järjestelmät (esimerkiksi robotiikassa etäisyyden mittaamisessa),
- fotonimodeemi, valokuidut, pienet hiukkaskiihdyttimet,
- femto- ja nanolaserit,
- kvanttietokone (fotonikytin) ja kvanttilaskenta,
- LLNL: nanomittakaavan 3D-tulostusta 2fotoneilla,
- UV-LED-desinfiointilamput,
- fotonien vangitseminen plasmoneihin ja rectenna-kennot, jotka mahdollistavat energian paremman talteenoton useilla aaltoalueilla.
- läpinäkyvä alumiini, rakenteiset värit, plasmoniikalla tuotetut näyttöpinnat,

Fotoniikkaa voidaan siis hyödyntää hyvin monella eri tavalla ja hyvin monessa eri asiassa. Siksi emme aina edes osaa huomata, että mihin kaikkeen fotoniikkaa käytetään. Tulevaisuusvaliokunta on korostanut teknologiakannanotoissaan myös teknologisen muutoksen/kehityksen laaja-alaisuutta sekä liittymäpintojen merkitystä. Erilaisissa teknologiastrategioissa ja -ohjelmissa on huomioitava hyvinkin erilaisten teknologian osa-alueiden liittymäpinnat. Murroksen/muutoksen merkitys ja edelläkävijyyden mahdollisuus on juuri näissä liittymäpinnoissa ja niiden huomioimisessa. Fotoniikka puolestaan on yksi niistä teknologioista, jotka vaikuttavat melkein kaikissa muissa (jolla on liittymäpintoja kaikkeen muuhun) ja on siksi huomioitava kaikessa muussa.

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.

Tämän julkaisun yksi tavoite on tuoda esille fotoniikka suomalaisena tulevaisuuden alana. Fotoniikka voi olla yksi niistä teknologian osa-alueista, joille myös kestävä kehitys luo kysyntää, ja joissa suomalaisilla on helposti hyödynnettävää maailmanluokan laajapohjaista osaamista. Fotoniikka voi ratkaista globaaleja ongelmia muun muassa seuraavilla myöhemmin tässä raportissa mainituilla tavoilla:

- kiertotaloudessa tunnistetaan ja lajitellaan jätteitä ja kierrätettäviä raaka-aineita. Esimerkiksi mustan muovin luotettavaan tunnistamiseen ei toistaiseksi ole muita menetelmiä kuin hyperspektrikuvaus;
- cleantechissä desinfioidaan 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 datan suoraan fyysisiksi tuotteiksi ja laitteiksi
- digitalisaatiossa, big datassa, pilvipalveluissa ja 5/6G:ssä turvataan kasvu optisen tietoliikenteen, tietojenkäsittelyn ja laskennan avulla;
- kyberturvallisuudessa varaudutaan tietoliikenneyhteyksien häiriöihin esimerkiksi sotilaallisten konfliktien tai auringon voimakkaiden energiapurkausten takia
- liikenteen ja työkonoiden turvallisuudessa ja automatisointikehityksessä, jolloin toimitaan fotoniikalle haasteellisissa ulko-olosuhteissa
- mahdollistetaan omakohtainen terveydentilan ja sairauksien seuranta sekä uudenlaiset hoitomenetelmät

Tulevaisuusvaliokunnan lausunnossa Valtioneuvoston selonteosta kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030<sup>1</sup> olemme kirjanneet fotoniiikasta seuraavaa:

*”Hyvä esimerkki suomalaisesta cleantech-osaamisesta on fotoniiikka, 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. Fotoniiikkaa hyödynnetään myös itseohjautuvissa ajoneuvoissa, lentävissä kameroissa, satelliiteissa ja laajemminkin avaruusteknologiassa, diagnostiikassa sekä modernissa sisäviljelyssä.*

*Fotoniiikka on myös hyvä esimerkki siitä, miten energia- ja ilmastostrategiassa ei ole kyse vain ja ainoastaan energian tuotannosta, vaan ennen kaikkea sen käytöstä elämän eri alueilla. Markkinoilla on älykkäitä järjestelmiä teollisiin sovelluksiin, mutta esimerkiksi asuinrakennuksiin tarkoitettujen sovellusten määrä on vähäinen, vaikka asuinrakennukset kuluttavat noin 30 % kokonaisenergian kulutuksesta teollistuneissa maissa. Älykkäät energiaratkaisut, kuten esimerkiksi ennakoivat, itseoppivat ja optimoivat energianhallintajärjestelmät sekä kulutuksen joustoa ja tehohuippujen säätöä mahdollistava teknologia, pienentävät tehokkaasti päästöjä rakennuksissa. Liikenteessä uudet jakamis- ja alustataloutta hyödyntävät yhteisölliset palvelut voivat leikata liikenteen päästöjä murto-osaan helpottaen ruuhkia ja parkkitilannetta kaupungeissa.*

*Aurinko- ja tuulienergiaan, älyliikenteeseen sekä esimerkiksi fotoniiikkaan ja älykkäisiin sähköverkkoihin liittyvät ratkaisut on tulevaisuusvaliokunnan mielestä huomiotava paremmin viennin edistämisessä ja kestäväen työllistävän kasvun tavoitteissa, vaikka niiden painoarvo Suomen kotimarkkinoilla olisi vielä marginaalinen. Suomella on merkittävää vientipotentiaalia myös jätteitä hyödyntävässä kiertotaloudessa. Vientipotentiaalit on huomiotava myös koulutus- ja tiedepolitiikassa osaamisen ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi.”*

Fotoniiikka on myös kärsinyt tästä ns. ”Key enabling”-asemastaan, eli siitä, ettei se itsessään ole oma teollisuudenala tai tuote, vaan se mahdollistaa muuta teollisuutta ja parempia tuotteita muilla aloilla. Emme ole riittävästi huomioineet fotoniiikka nousevana alana. Tässä raportissa esitellään fotoniiikan Suomelle tärkeitä sovellusalueita ja sitä, miten Suomi voisi olla edelläkävijä globaalisti fotoniiikassa. Raportissa käsitellään fotoniiikan antamia mahdollisuuksia muun muassa biotalouden, kiertotalouden, ruoantuotannon, cleantechin, liikenteen, teollisuuden, matkailun, virtuaalitodellisuuden, energian käytön, turvallisuuden, digitalisaation sekä terveyden ja hyvinvoinnin kehittämisessä. Jokaisen osa-alueen kohdalla on myös pohdintaa niiden merkityksestä yhteiskunnalle ja Suomen kilpailukyvyille. Raportin loppuosassa on ansiokkaasti koottu yhteen toimenpidesuosituksia fotoniiikan osaamiseen ja liiketoiminnan kehittämiseen Suomessa. Suosituksista mainittakoon muun muassa seuraavat:

---

<sup>1</sup> [www.eduskunta.fi/FI/vaski/Lausunto/Sivut/TuVL\\_1+2017.aspx](http://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Lausunto/Sivut/TuVL_1+2017.aspx)

- kansalliset fotonikan tutkimus- ja tuotekehitysohjelmat
- fotonikan asiantuntijoiden hyödyntäminen globaalien haasteiden ratkaisujen suunnittelussa ja toteutuksessa
- lainsäädäntö tehostamaan tutkimuslaitosten innovaatioiden hyödyntämistä
- fotonikan koulutukselle riittävä rahoitus ja tarvittavat resurssit
- kansallinen fotonikan infra-rekisteri ja rahoitus infrastruktuurin uudistamiseen ja kilpailukyvyyn parantamiseen

Suosituksissa oli toive myös siitä, että fotonikalle myönnettäisiin lippulaiva tyyppinen tunnustus. Suomen Akatemia myönsi 8.1.2019 fotonikan tutkimuksen ja innovaatioiden lippulaiva-tunnustuksen Tampereen yliopistolle, Itä-Suomen yliopistolle, Aalto-yliopistolle ja VTT:lle. Tässä yhteydessä on syytä kiittää Suomen Akatemiaa tärkeästä tulevaisuuspäätöksestä ja samalla onnitella edellä mainittuja tahoja ansaitusta tunnustuksesta.

Teknologioiden kehittyminen tarkoittaa myös yhteiskunnan muuttumista. Teknologioiden rinnalla muuttuvat myös yhteiskunnalliset ja sosiaaliset rakenteet ja sääntely, liiketoimintalogiikat, osaaminen ja ammatit sekä elämäntavat ja käyttökulttuurit. Teknologian kehittyminen tarkoittaa muutosta siinä perustassa, jolla täytämme perustarpeitamme; siinä miten syömme, liikumme, asumme ja miten hankimme tai tuotamme energian, materiaalit, tavarat, elämykset, turvallisuuden ja niin edelleen.

Vaikka teknologiat etenevät riippumatta siitä, haluammeko sitä tai emme, niin säätelyllä voidaan kuitenkin vaikuttaa muutoksen vauhtiin, suuntaan ja seurauksiin. Kansallisesti meidän on päätettävä, missä asioissa haluamme olla globaalilla tasolla ensimmäisten joukossa ja mitä se meiltä vaatii. Yhtä tärkeää on kysyä mitä uhkakuvia teknologian kehittymiseen liittyy. Hyöty-haitta analyysien tekeminen ja eettinen keskustelu ovat yhteiskunnallisesti tärkeitä taitoja. Vaikka fotonikkaan näyttäisi liittyvän enemmän hyötyjä kuin haittoja, niin on arvokas asia, että myös tässä raportissa pohditaan fotonikan kehittymisestä johtuvia haittoja.

Lopuksi haluan kiittää Photonics Finlandin hallitusta, tieteellistä neuvottelukuntaa ja kaikkia raportin kirjoitukseen osallistuneita. Erityiset kiitokset raportin toimittajille, Photonics Finlandin puheenjohtajalle ja Fotonikan instituutin johtajalle, professori Jyrki Saariselle ja Photonics Finlandin toiminnanjohtaja Juha Purmoselle. Tämä raportti lienee ainutlaatuinen maailmassa ja edelläkävijyyden takia se soveltuu hyvin tulevaisuusvaliokunnan julkaisusarjassa julkaistavaksi.

*Merja Mäkisalo-Ropponen*

Tulevaisuusvaliokunnan varapuheenjohtaja

# 1 Johdanto

---

Tämä raportti on laadittu valottamaan fotoniiikan voimakkaasti kasvavaa merkitystä yhteiskunnassamme. Pääpaino on ensinnä Suomelle tärkeissä teemoissa: biotalous, cleantech ja ympäristö, digitalisaatio, hyvinvointi ja terveys, kiertotalous, tekoäly ja opetus. Ja toiseksi muissa globaalisti tärkeissä teemoissa: kamerateknologia, teollisuus 4.0, liikenne, matkailu, kaivosteollisuus, virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus, energia ja turvallisuus. Raportti esittelee nykyiset ja ennenmuuta uudet tulevaisuuden sovellukset, niiden merkityksen Suomen kilpailukyvyille ja yhteiskunnalle sekä Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet globaalissa kilpailussa. Lyhyesti käsitellään lisäksi fotoniiikan perustutkimus Suomessa, joka on uusien innovaatioiden perusta ja lähde. Kirjoittakunta on koottu laajasta fotoniiikan asiantuntijajoukosta eri teollisuudenaloilta Suomesta. Lopuksi esitellään toimenpidesuositukset fotoniiikkaan liittyvän osaamisen ja liiketoiminnan kehittämiseksi Suomessa. Raportti antaa laajan kokonaiskuvan fotoniiikan mahdollistamasta taloudellisesta kasvusta Suomessa sekä sen tuomista ratkaisuista merkittäviin yhteiskunnallisiin ja globaaleihin haasteisiin.

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 linssillä, prismoilla ja peileillä sekä valokuiduilla. Ja valoa havaitaan erilaisilla sensoreilla/antureilla/ilmaisimilla/valoilmäsimilla. 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 käsittelee 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 tähytys endoskoopilla sekä aurinkokenno. Mitä olisi tähtitiede ilman kaukoputkea tai mikrobiologia ilman mikroskooppia?

Uudet, entistä pienemmät ja hinnaltaan huokeammat mutta paremmat sensorit ja optiset mittaussuunnitteet 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 nostonut raporteissaan esille käsitteen ”materiaalitutka” yhtenä kaikkein merkittävämpänä tulevaisuutta muuttavana sovelluksena. Materiaalitutka on suora tapa saada tietoa esineiden, kasvien, ruoka-aineiden, tavaroiden ja ympäristön molekyylikoostumuksesta. 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 näyttää merkittävää roolia tiedon keräämisessä, välityksessä ja tallennuksessa sekä tulevaisuudessa myös tietojenkäsittelyssä (esimerkiksi optinen kvanttilaskenta).

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 Initiative* (<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 euroa vuonna 2015 keskimääräisen vuotuisen kasvun ollessa 6 %. Huomionarvoista on se, että

yrittäjistä yli 75 % on pk-yrityksiä, joiden liikevaihto on alle 10 miljoonaa Yhdysvaltojen dollaria. Varsinaista fotonikan markkinaa merkittävämpi on niin sanottu photonics-enabled markkina eli sellaisten tuotteiden markkina, jotka perustuvat fotonikkaan eivätkä olisi mahdollisia ilman fotonikkaa: USA:n *the National Academy of Science* on arvioinut sen suuruudeksi yli 7 000 miljardia Yhdysvaltojen dollaria eli jokainen dollari fotonikan teollisuudessa generoi yli 10 dollaria lopputuotteiden arvossa.

Euroopassa fotonikan 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 fotonikan 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: Itä-Suomen yliopisto (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 fotonikan markkina on noin 70 miljardia euroa ja sen teollisuus työllistää yli 300 000 ihmistä. Viimeisten 10 vuoden aikana (vuosina 2005-2015) fotonikan teollisuus on kasvanut kaksi kertaa nopeammin kuin bruttokansantuote. Fotonikan teollisuuden tavoitteena on kolminkertaistaa fotonikan tuotteiden tuotanto yli 200 miljardiin euroon vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteena on myös luoda yli miljoona uutta työpaikkaa eurooppalaisiin tehtaisiin tekemällä tuotannosta innovatiivisemman, kustannustehokkaamman ja tehostetun lasereiden, sensoreiden ja 3D-näyttöjen avulla. Vuoteen 2020 mennessä joka kymmenennen työpaikan Euroopassa on arvioitu olevan riippuvainen fotonikasta. Pienet ja keskisuuret yritykset hallitsevat fotonikkaan liittyviä markkinoita niin globaalisti kuin Euroopassakin: yli 5 000 optiikan valmistajasta vain alle 200 yritystä työllistää yli 250 henkilöä. Fotonikan yritykset käyttävät keskimäärin 10 % liikevaihdostaan tutkimukseen ja tuotekehitykseen.

Suomessa fotonikan teollisuus ja tutkimus ovat järjestäytyneet Photonics Finland -organisaation (<https://www.photonics.fi>) alle vuodesta 2014 alkaen, kun alan teollisuus ilmoitautui mukaan vuonna 1996 perustettuun Suomen optiikan seuraan. Suomen fotonikan yritysten liikevaihto on miltei 1 miljardia euroa työllistäen noin 4 000 työntekijää. Yrityksiä on yli 200, joista yli puolet on pieniä, alle 10 miljoonaa euroa liikevaihtoa tekeviä ja alle 15 henkilöä työllistäviä. Yritysten lukumäärä on kuitenkin suurin asukaslukuun verrattuna koko Euroopassa. Puolet yrityksistä harjoittaa miltei täysin 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). Fotonikan yritysten odotukset kasvusta ovat merkittävät: yli 20 %:n 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 fotonikassa vuoteen 2020 mennessä.

Tästä selvityksestä käy hyvin ilmi fotoniiikan merkitys muun muassa Suomen metsä- ja paperiteollisuudelle ja muille suuryrityksille. Tämän lisäksi fotoniiikka on myös merkittävä veturi suomalaisessa start-up-toiminnassa, mikä alkoi jo 1990-luvulla paljon ennen varsinaisen start-up-boomin syntyä Suomessa. Fotoniiikasta ei ole vain lähtenyt liikkeelle vaan myös kasvanut menestyksekkäästi kansainvälisiä pääomasijoittajien irtautumiseen eli exitiin saakka selviytyneitä pk-yrityksiä ja jopa suuryrityksiä. Tällaisia menestystarinoita ovat muun muassa Teknillisestä 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. Yrityksen arvo vuoden 2017 alussa tapahtuneessa yrityskaupassa oli 920 miljoonaa Yhdysvaltojen dollaria. Itävaltalaisen ams AG:n tytäryhtiönä nykyään toimiva Heptagon työllisti jo yli 7 500 työntekijää maailmanlaajuisesti vuoden 2018 alussa. Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuslähtöinen 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). Itä-Suomen yliopiston tutkimuslähtöinen yritys vuodelta 1997, Nanocomp Oy, joka oli vuonna 2015 Tekniikka&Talous-lehden, Kauppalehden ja Pohjois-Karjalan Kauppakamarin palkitsema kasvuyritys, jatkaa edelleen miltei kokonaan vieniin 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 tutkimuslähtöisiä menestystarinoita ovat tässä selvityksessäkin useasti mainittu Spectral Engines Oy, joka vastikään tänä vuonna sai päätökseen yrityskaupan saksalaisen m-u-t AGN kanssa, ja Primoceler Oy, joka vastikään tänä vuonna toteutti yrityskaupan maailmankuululle Schott AG:n kanssa. Amerikkalainen Bloomberg Businessweek valitsi vuonna 2017 VTT:n tutkimuslähtöinen yrityksen vuodelta 2015, Dispelix Oy:n, 50 lupaavimman alkuvaiheen yrityksen joukkoon maailmassa.

Fotoniiikka on nousemassa elektroniikan rinnalle Euroopan talousveturiksi.  
Alexander Stubb, Vice-President, European Investment Bank:

*”Ei ole liioiteltua sanoa, että fotoniiikka eli valotiede, jolla luodaan uusia avainteknologioita, ja puolijohotteet, jotka toimivat elektronisten laitteiden aivoina, ovat elintärkeitä Euroopan taloudelliselle tulevaisuudelle. Nämä korkean teknologian alat ovat ensiarvoisen tärkeitä kuluttajatuotteissa, autoteollisuudessa, puolustusteollisuudessa ja uusiutuviissa energialähteissä muidenkin teollisuusalojen lisäksi ... Euroopan menestys tässä seuraavassa innovaatiovaiheessa riippuu viime kädessä fotoniiikan komponenteista ja puolijohdekomponenteista ... Fotoniiikalle ja puolijohde-teollisuudelle on ominaista monimutkaisuus. Fotoniiikka- ja puolijohdeyrityksillä on vaikeuksia rahoittaa kuolemanlaakso (”Valley of Death”) demonstraatiosta kaupallistamiseen. On selvää, että EU:n toimia tarvitaan parantamaan rahoituksen saatavuutta eurooppalaisille fotoniiikka- ja puolijohdeyrityksille. (oma käännös)”*

Suomella on erinomainen mahdollisuus pärjätä tässä globaalissa kilpailussa.  
Antti Vasara, VTT:n pääjohtaja:

*”Ei ole liioiteltua sanoa, että biotekniikassa ja -taloudessa olemme jo maailman hui-  
pulla. Fotoniikka on toinen erittäin tärkeä ala, jossa Suomi on edelläkävijä.”* (Helsingin  
Sanomat, 2016)

Timo Ahopelto, Lifeline Ventures -sijoitusyhtiön perustaja ja osakas; EVAn, SLUSHin, Teke-  
sin 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.”* (Ta-  
louselämä, 5/2018).

Fotoniikan teollisuus ja tutkimus Suomessa ovat positiivisella odottavalla kannalla päättä-  
jien huomattua alan merkityksen tulevaisuuden yhteiskunnalle ja hyvinvoinnille:

*”Hyvä esimerkki suomalaisesta cleantech-osaamisesta on fotoniikka, jolla on sovellu-  
tusalueita muun muassa aurinkokennoissa, energiaa säästävissä led-valoissa, valaise-  
vissa pinnoissa, infrapunasensoreissa sekä materiaalitutkissa, joiden avulla voimme lä-  
pivalaista itsemme tarkistaaksemme bakteerimme ja nähdä kaupassa ovatko hedel-  
mät 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 fo-  
toniikan sovelluksia, yritystoimintaa ja tutkimusta Suomessa eli kaiken kattavaa teosta  
emme ole yrittäneetkään kirjoittaa – fotoniikka on niin monessa mukana. Yksi merkittä-  
vämmistä alueista, joita emme tietoisesti yrittäneet mahdollistaa 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, pa-  
tentteina tai uusina tuotteina tai palveluina. Mutta maailmalta tässä mainittakoon jo kah-  
tena vuonna peräkkäin fotoniikalle myönnetty Nobelin fysiikan palkinto. Vuonna 2017 yh-  
dysvaltalaisen pk-yrityksen kehittämä laser mahdollisti gravitaatioaaltojen kokeellisen ha-  
vaitsemisen, josta Rainer Weiss, Barry B. Barish ja Kips. S. Thorne saivat palkintonsa. Tänä  
vuonna 2018 puolestaan Arthur Ashkin sai palkintonsa optisesta pinsetistä ja sen sovelluk-  
sista biologiassa sekä Gérard Mourou ja Donna Strickland lyhyen voimakkaiden laserpuls-  
sien kehittämisestä, jolla on merkittäviä sovelluksia silmäkirurgiassa, teollisuudessa ja fy-  
siikan tutkimuksessa.

Tämä selvitys on laadittu siten, että kukin kappale on oma kokonaisuutensa. Eli tietystä so-  
vellusalueesta kiinnostunut henkilö voi suoraan hypätä lukemaan haluamansa kappaleen.  
Tämän takia kappaleiden teksteissä on hieman päällekkäistä tietoa, joka toivottavasti ei  
haittaa lukijoita, jotka haluavat lukea tämä selvityksen kannesta kanteen. Yksityiskohtai-  
sella 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***

Fotoniikan sovellukset tukevat metsätalouden päätöksentekoa ja mahdollistavat kustannustehokkaita ratkaisuja monipuolisesti. Tämä koskee myös metsävarantojen kansallisen tason seurantaa. Kansallisen tason tietojärjestelmä tuottaa tietoa poliittiselle päätöksenteolle ja strategisille investoinneille. Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) osana toteutetavan 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 YK: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](http://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](http://kartta.luke.fi). Tiedostojen katselu ja käsittely vaativat erityisen ohjelmiston.

## ***Metsänomistajataason sovellukset – fotoniikkaa laserkeilauksella***

Suomen metsäkeskus (SMK) tarjoaa avoimen metsätiedon palveluita kartta- ja rajapintapalvelujen kautta. SMK organisoii 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 metsätaloukseen 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 metsänparannustoita.

Puustotietojen keruuseen maastossa on kehitetty myös älypuhelimien 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 vaihtoehtolasennan 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 osotoimintaa 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 ilmakehän 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 mittaauksessa hyödynnetään lähinnä puun 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.

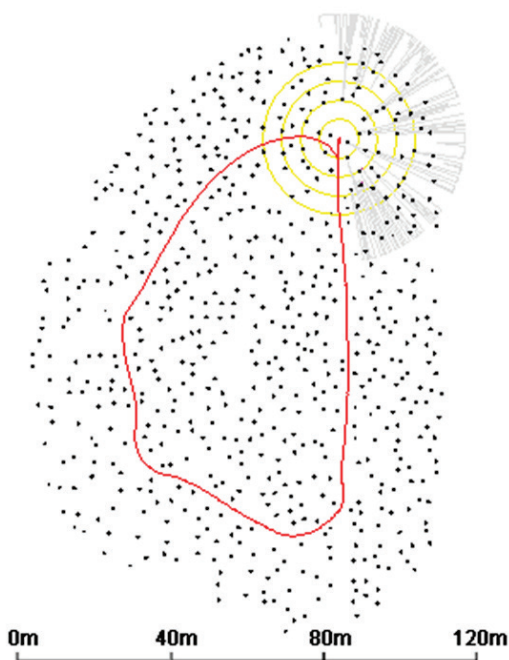
Kuljetusautoissa on tyypillisesti autojen toimintaa ja toimintaympäristöä tukevia fotoniikan sovelluksia. Kapeilla metsäteillä kääntöpaikkojen ja teiden laadun arviointiin liittyvät

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 yhteistyössä 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-algoritmeilla mitattu puukartta, pisteet puuta punainen trajektoria kuljettu matka. (Lähde: Arto Visala, Aalto yliopisto)**

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

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

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

**Metrix**-hankkeessa (Hakkuukoneen mittaustekniikan kehittäminen) (2006–2009) tutkittiin hakkuupään puuta koskettamattomia konenäköpohjaisia perusmittauksia. Lisäksi vielä pystyssä olevan, seuraavaksi kaadettavan puun, 3D muodon mittausta tutkittiin apterauksen 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 hakkuupään toteutettiin ja asennettiin niin sanottu pöllinpäästereokameravarustus. Komatsu-Forestry hakkuupään mittapyörän paikalle suunniteltiin ja asennettiin nopeaan kameraan ja laserjuova-

mioetäisyysmittaukseen perustuva pituudenmittauslaitteisto, optinen mittapyörä. Laskenta onnistui reaaliajassa, mutta tarkkuustavoitteeseen ei vielä päästy. Kehitystyötä on jatkettu ja mittaustarkkuus on parantunut. Metsäteho Oy on koordinoanut 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. (Lähde: 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 mittakavassa. Maamme metsäteollisuus käyttää puuta sellun, paperin, kartongin, sahatavaran, vanerin, pylväiden, liimapuun, kertopuun ja monien muiden tuotteiden raaka-aineena. Raaka-aineen osuus perusteellisuuden 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 fotonikan sovelluksista on kuitenkin vaikeata, ellei mahdotonta, sillä niitä on valtavat määrät.

Erilaiset fotonikan sovellukset materiaalivirtojen ja prosessiparametrien hallinnassa, mitausteknologioissa, laadunhallinnassa ja työtehtävien automaatioissa 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, laseretäisyysmitta-

rit ja erilaiset kameratekniikat ja konenäkö. Ne 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 päättyy useimmiten polttoon, jossa syntyviä pienhiukkaspäästöjä mitataan optisin menetelmin. Kuorintaprosessissa käytetty vesi päättyy 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 värinä, kuvattavan kohdan valaistus, puun pinnan ja ilman epäpuhtaudet, lämpötilariippuvat ominaisuudet (jäätynyt versus sula pinta) sekä puupinnan visuaalisen ilmeen voimakas luontainen vaihtelu erityisesti havu-

puilla (sydänpuu-pintapuu, vuosirenkaiden leikkautumissuunta, syysuunta poikkeamat 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 tulevista 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 vaihtoehtoista esimerkiksi kuparisuolakyllästetylle terassilaudalle.

Näkyvän valon (380–780 nm) sekä infrapun (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 kehittämissonnisteluista huolimatta puutuoteteollisuuteen ei ole onnistuttu kaupallistamaan NIR-spektroskopiaan perustuvia riittävän kilpailukykyisiä mittaamenetelmiä. Sekä IR- että NIR-alueen spektreistä voidaan määrittää materiaalin molekyyli-rakenteeseen 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 jätteen online-lajittelumenetelmää.

Verrattain lähellä teollista NIR-sovellusta on viilujen tai sahatavaran pinnan kosteusmittaus, joissa ei kuitenkaan vielä päästä aivan teollisten prosessien nopeuksiin. Samalla sahatavarassa toisinaan esiintyvät suuret kosteuserot ja etenkin pinnoilla oleva vapaa vesi ovat mittaamenetelmälle haasteellisia. Sähköjohtavuuteen (kapasitanssiin) perustuvat kos-

teusmittausmenetelmät ovat myös nopeampia ja edullisempia. NIR- tai IR-mittauksilla tulisi 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 lujuudeltaan poikkeavan puristus- tai reaktiipuun eli lylyn tunnistaminen normaalista vuosikasvusta), 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 lämpökäsittelyn 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 fotonikkaan 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 kestävyysliittyviä mahdollisuuksia, joita halpeneva kamerateknikka 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 mittaamenetelmiin. Putkis-

toista, 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 sekoittamisen 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 määrittäminen, 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 Oy), 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 solutyyppeiden ja hienoaineksen tunnistamiseen. Myös kuitujen ominaisuuksien optiseen mittaamiseen perustuvaa puulajien tunnistusta on kehitetty, jotta voitaisiin analysoida putkivirtauksesta missä suh-

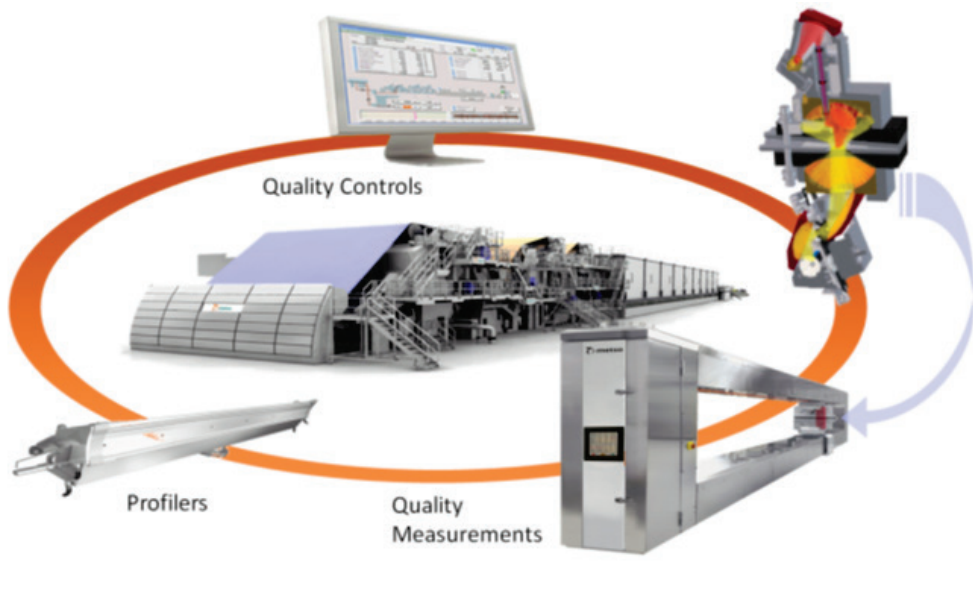
teessa eri puulajien massoja on sekoitettu. Samankaltaiseen konenäkö- ja koneoppimismenetelmien hyödyntäminen kuvamateriaalin analysoinnissa mahdollistaa tulevaisuudessa yhä laajemman haitta-aineiden tunnistamisen kuitumassan joukosta, joka parantaa tuotteiden laatua ja vähentää tuotantokatkoksia.

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, läpinäkyvyys, väri ja kiilto. Mitattaessa paperin ominaisuuksia laboratoriossa tulee mittalaitteen olla standardisoitu juuri tietyn optisen mittaussparametrin määrittämistä varten käyttäen oikeaa mittausteoriasta, taustavaloa ja valon taajuussuodattimia. Prosessimittalaitteiden toiminta varmistetaan vertaamalla niitä säännöllisesti tehdaslaboratorioiden omiin laatumäärittämiin. 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 etuna on mittaussuureiden lineaarisuus sekä vastavärien käyttäminen. Käytännön tilanteissa vastavärit on helppo hahmottaa ja se helpottaa väriaineiden käytön säätämistä sekä varsinaista prosessissa tapahtuvaa online mittauksia.

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 mittaussuureiden 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), päällystämäärän paksuusmittari (lähi-infrapuna 1998, lähi- ja keski-infrapuna 1999), värimittari (2001), kuvantava koko rainan kosteusmittari (2002), formaatiomittari (2006), läpäisyn 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 stabiilisuudessa. 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 puoli-johdelähteiden kehitys infrapuna(IR)-alueelle tuo yrityksille uutta kilpailukykyä. Raman-sirontaan perustuvat mittaustekniikat avaavat myös uusia mahdollisuuksia puun rakenteen tutkimukseen. Mahdollisina hyödyntäjiä ovat muun muassa Vaisala Oy, Gasera Oy, TimeGate Instruments Oy ja Spectral Engines. Loppukäyttäjät on muun muassa suomalainen metalli- ja puunjalostusteollisuus sekä kaivosteollisuus. Tulevaisuuden kannalta on tärkeää, että tuotteiden peruskomponentit valmistetaan Suomessa. Näin tuotteita ei voida ko-

pioida 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 perustuvat 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 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 täsmäviljelystä 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 kasvitautilien ja tuholaisten aiheuttamien oireiden seurantaan ja paikallistamiseen ja erilaisten ympäristöstressien aiheuttamien oireiden seurantaan. Tavallinen 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 kuvaimisen myös näkyvän valon ulkopuolella, kuten ultraviolett- 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 rakenteissa ja kemiallisessa koostumuksessa. Maa- ja metsätaloudessa spektrikuvauksella voidaan havaita ja kartoittaa entistä tarkemmin tautien ja tuholaisien 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. Pienipiirteisempien seikkojen seurannassa hyödynnetään useimmiten kuitenkin 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 ne ovat tarkoitukseen hyvin soveltuvia. Varsinaisten hyperspektrikuvaus satoine aallonpituuskaistoinen 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 itävyttä ja siementen sisällä elävien hyönteistoukkien esiintyvyyttä (Dumont, et al, 2015).

Fotoniikka ja erityisesti spektrikuvantaminen tarjoaa uusia mahdollisuuksia kasvien fenotyyppitykseen, mikä on keskeinen menetelmä modernissa kasvinjalostuksessa. Fenotyyppitys 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 aineenvaihdunnalliseen dataan voidaan kehittää niin sanottua sormenjälkitunnistusta kasvin laadullisten ominaisuuksien nopeaa seulontaa varten. Monet ympäristö- ja stressitekijät sekä viljelymenetelmät muokkaavat kasvien ilmiasua, ja siten fenotyyppitys on tärkeä osa kestävyysjalostuksessa. Menetelmä tehostaa oleellisesti uusien mahdollisten ravinto- ja viljelykasvien testausta ja useimmilla merkittävillä kasvinjalostajilla onkin nykyään omat fenotyyppitys-keskuksensa. Laajamittainen fenotyyppitys 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 Itä-Suomen yliopiston perustama kansallinen fenotyyppityskeskus NaPPI (National Plant Phenotyping Infrastructure,

<https://www.helsinki.fi/en/infrastructures/national-plant-phenotyping>), johon kuuluva Itä-Suomen yliopiston 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.

### ***Tulevaisuuden näkymät***

Ilmastonmuutos, kasvava tarve uusille viljelylajeille ja -lajeille, kasvisruokavalion yleistyminen, tarve lisätä kasvisruoan monipuolisuutta ja kaupunkiviljely lisäävät tarvetta tehokkaaseen kasvibiologiseen tutkimukseen. Maa- ja metsätalouden kehittymisen ja kilpailukyyn kannalta on tärkeää parantaa viljelylajikkeiden ja metsäpuutaimien kestävyyttä erilaisia stressitekijöitä vastaan. Muuttuva ilmastonmuutos tuo epävarmuutta ja vaihtelevuutta sääoloihin sekä lisää kasvitautien ja tuholaisen 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 fotonikan 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 kameeroilla. 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. Seuraava ilmeinen askel on älypuhelimien kameroiden hyödyntäminen sellaisenaan tai jopa yksinkertainen spektrikuvaus älypuhelimella. Israelilainen startup yritys Unispectral on vastikään julkistanut kehitteillä olevan älypuhelimessa toimivan spektrikameran, 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 Itä-Suomen yliopistossa 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 kilpailukyvyille***

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 kohdennettuja 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<sup>2</sup> kasvihuoneissa ja 616 000 m<sup>2</sup> 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 ilmastomuutos 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 sekä alan yritysten yhteistoimintaa, esimerkkeinä Helsingin yliopiston kasvibiologian tutkimusyksikkö ViPS (Viikko Plant Science Centre), Helsingin ja Itä-Suomen yliopistojen Kasvien kansallinen fonotyyppityskeskus (NaPPI), Itä-Suomen yliopiston fotoniikan instituutti ja Luonnonvarakeskuksen laaja-alainen osaamiskeskittymä. Taloudellinen panostaminen alan tutkimus- ja kehitystoimintaan loisi mahdollisuuden profiloitua korkean teknologian

maana, joka 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 mittaus-tekniologioita 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 (<http://senop.fi/en/optronics-hyperspectral>) ja VTT Oy (<https://www.vtt.fi/palvelut/prosessimittausratkaisut/optiset-mittausj%C3%A4rjestelm%C3%A4t>) kehittävät lennokkisperikameroita täsmäviljelyyn. Suomessa on myös VTT:n lisäksi useita muita tutkimustahoja, kuten Jyväskylän yliopisto ja Luonnonvarakeskus, jotka yhdessä vievät lennokkisperikamerasovelluksia eteenpäin. Suomalaisia alalla toimivia muita teknologiayrityksiä ovat muun muassa Grainsense Oy (<https://www.grainsense.com>) ja Spectral Engines Oy (<https://www.spectralengines.com>). Grainsense Oy on juuri lanseerannut kädessäpidettävän vilja-analysaattorin maanviljelijöille ja Spectral Engines Oy myy miniaturisoituja spektrisensoreita teollisuuden ja maanviljelyn tarpeisiin.

### ***Tulevaisuus***

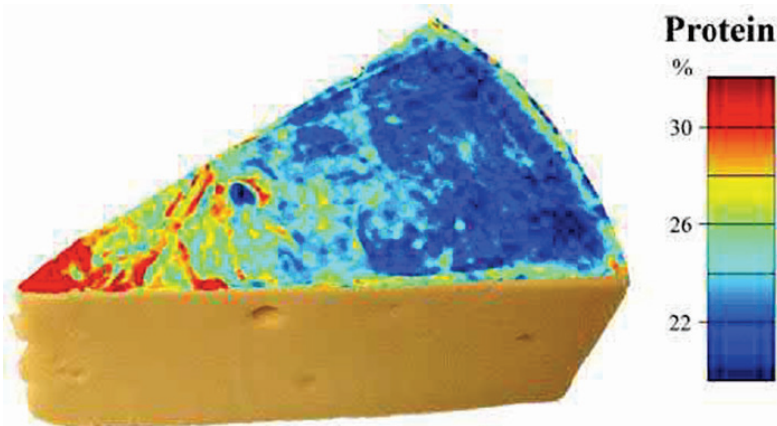
YK:n raportin mukaan ruuan valmistusta pitää lisätä ainakin 50 % vuoteen 2050, jotta ihmiskunta pystytään kestävästi ruokkimaan. Tästä suurin osa pitää tulla tehokkuutta nostamalla, sillä peltopinta-alaa ei ole kasvatettavissa tuota määrää. Syitä tähän on muun muassa väestönkasvu, ilmastonmuutos, elintason 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 väärennosten 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 58 miljoonaa diabeetikkoa, mutta määrä olisi jo 67 miljoonaa 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.

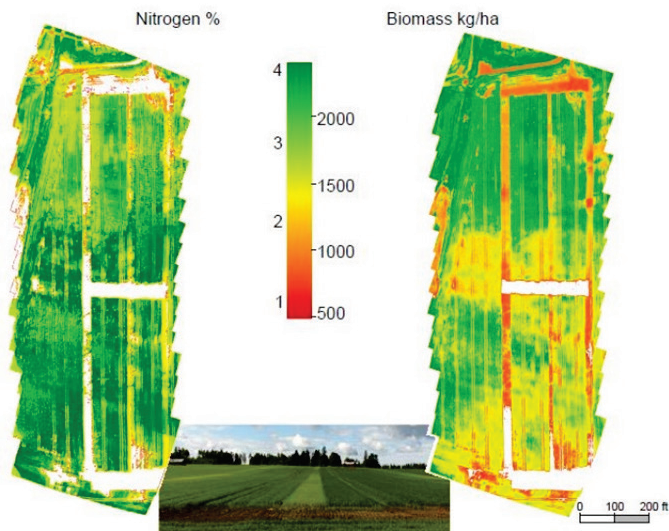
Kestävä kehityksen varmistaminen ja väestön terveydentilan heikkeneminen ylipainon ja vanhenemisen myötä ovatkin erittäin suuria globaaleja haasteita. Jotta näihin suuriin ongelmiin voidaan vaikuttaa, on tilannetietoa saatava huomattavasti laajemmin ja luotettavammin kuin nyt. Ruuan tapauksessa täsmäviljely 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 enustettu, että pelkästään maanviljelyyn liittyvien "Internet Of Things" -sensorien määrä nousee jo 75 miljoonaan kappaleeseen muutamassa vuodessa ja lisäksi 2017 ruoka- ja maanviljelysliitännäisten teknologiastart-up-yritysten globaali rahoitus saavutti uuden ennätyksensä: 10.1 miljoonaa Yhdysvaltojen dollaria.

Teollisuuden ja maanviljelyn ammattimainen uusien sensorien ja sensoriverkkojen käyttö-tarkoitus 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. Materiaalitutka on suora tapa saada tietoa esi-neiden, kasvien, ruoka-aineiden, tavaroiden ja ympäristön molekyylikoostumuksesta (Linturi, 2018). Tästä yhtenä osa-alueena on niin sanotut ruokaskannerit. Ajatuksena on, että kuluttaja voisi itse mitata ruuastansa ravintosisällön, allergeeneja, huomata ruokaväären-nöksiä 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. Täl-laista "ruokamateriaalitutkaa" tavoitellakseen myös EU perusti Foodscanner-kilpailun, jossa paras mittausratkaisu palkittiin 800 000 euron 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 pystytty 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.

Seuraavissa kuvissa on muutamia mittaus- ja instrumenttiesimerkkejä suomalaistoimijoilta.



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



**Kuva 6: Esimerkkitulo pellon typpi- ja biomassakartoista mitattuna lennökkispektrikameralla (Lähde: Jere Kaivosoja, Luonnonvarakeskus)**



**Kuva 7: Yllä Grainsense Oy :n vilja-analysaattori. (Lähde: Grainsense Oy).  
Alla Spectral Engines Oy:n spektrisensoreita. (Lähde: Spectral Engines Oy)**

### ***Merkitys Suomen kilpailukyvyille***

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 teknologisenä 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. Lisäksi on kasvava joukko pk-yrityksiä, joiden liiketoiminnan keskiössä fotoniikan innovaatiot ovat. Tällaisia ovat esimerkiksi ympäristön ja teollisuuden kaasumittalaitteita valmistavat Gasmeter Oy ja Gasera Oy, jyvien laatua analysoiva GrainSense Oy, monipuolisiin materiaalianalyysihin 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 fotonikkaan 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. Fotonikan 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 laboratorioanalyysijä.
- Etsitään uusia mittausratkaisuja vastaamaan nimenomaan vedenlaadun kasvavaan jatkuva-aikaiseen seurantatarpeeseen.

Ympäristömittausten alueellinen kattavuus tulee laajenemaan tulevaisuudessa ja mittaus-tietoa 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 mittausturrit 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 pienoisesialusten avulla sekä keräämällä paikallista 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 perustuissa tietoliikenteen runkoverkoissa fotonikan 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 pienoiscaluksista sekä jatkuva-aikaisesti ympäristöä monitoroivista mittausasemista. Tilannekuvatarpeita ja sovellusalueita on paljon ja ne ovat moninaisia. Esimerkkeinä mainittakoon ilmastomuutoksen seuranta, päästöönnettomuuksien 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 kuroma kiinni vedenlaadun seurannassa. Vedenlaadun jatkuva-aikaisessa mittauksessa on kuitenkin tois- taiseksi 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 laboratorioissa mikroskooppilla 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 fotonikkaan.

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 tutkimuksen ansiosta syntynyt yritys Sensmet Oy, joka kaupallistaa jatkuva-aikaisesti monia alkuaineita vedestä havaitsevaa, fotonikkaan pohjautuvaa vesimittausteknologiaa.

Fotoniikkaan perustuvien jatkuvatoimisten menetelmien laatua ja luotettavuutta on pysyttävä 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 mittauksien lisäksi on käytännössä tiedettävä näiden mittausepävarmuus. Mittausepävarmuus pitää tuntea, jotta tiedetään, miten mittauksia voidaan käyttää päätöksenteon eri tasoilla. Mittausepävarmuuden tunteminen on myös yksi kaupallisten mittalaitteiden ja mittaupalveluiden kulmakivistä. Suomen ympäristökeskus (SYKE) on kehittänyt ensimmäisenä maailmassa automaatiopohjaista teknologiaa jatkuvatoimisten järjestelmien mittausepävarmuuden määrittämiseksi. Uusien luotettavuutta kehittä-

vien menetelmien pohjalta on odotettavissa, että jatkuvatoimisia mittausjärjestelmiä tul-  
laan ottamaan käyttöön ja akkreditoimaan lähivuosina kasvavassa määrin. Luotettavuuden  
kehittäminen vaatii jatkuvasti uusia menetelmiä ja referenssiaineita myös kalibrointipros-  
sesseihin. Tekoälyjärjestelmät ja koneoppiminen tuovat uusia mahdollisuuksia hallita tule-  
vaisuudessa laajojen anturiverkkojen laatua ja luotettavuutta.

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

Kansainvälinen hyväksyttävyys ja markkinoilla pärjääminen edellyttää tietoutta ja panos-  
tuksia myös standardisointityössä. Standardit ja sertifiointit ovat yksi suurimmista pullon-  
kauloista 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 hyväta-  
soinen koulutus ja maan kokoon suhteutettuna yliopistot sekä tutkimuslaitokset ovat aktii-  
visia teknologian ja fotonikan tutkijoita ja kehittäjiä. Suomen hyvä hallinto ja yhteiskunnan  
toimintojen luotettavuus ja läpinäkyvyys luovat erinomaiset lähtökohdat menestykselli-  
seen kansainväliseen tutkimukseen ja liiketoimintaan. Haasteena on kuitenkin ideoiden  
muuntaminen kaupallistetuiksi, tuottaviksi tuotteiksi ja etenkin isoille kasvumarkkinoille  
siirtymisessä on jatkuvasti vaikeuksia. Yksi perussy on kotimarkkinoiden pienuus. Ensim-  
mäisen 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 ke-  
hittää yksityisen ja julkisen sektorin yhteisiä innovaatioekosysteemejä, joiden yksi tärkeä  
tavoite on luoda referenssihankkeita kasvavilla markkinoilla, kuten Kiinassa. Referenssi-  
hankkeissa on hyvä huomioida yhteistyö myös kohdemaan hallinnon kanssa. Referenssi-  
hankkeissa tulisi keskittyä erityisesti laatuun. On huomattu, että parhaiten globaalissa kil-  
pailussa menestyvät yritykset panostavat innovointiin ja tuotteiden sekä palveluiden laa-  
tuun. Kansainvälisen tutkimuksen mukaan tuotteiden laatu vastaa 50–75 % yritystason  
menestystekijöitä ja yli 90 % yritysten myynnin kasvusta selittyy laatutekijöillä (Haapa-  
ranta, 2017).

Suomen korkeatasoista osaamista tulisi hyödyntää poikkitieteellisesti ja entistä ennako-  
luulottomammin siten, että asiakastarpeeseen voidaan vastata paremmilla kokonaispalve-  
lukonsepteilla. Esimerkiksi ICT- ja muotoiluosaamista voisi valjastaa monipuolisemmin  
välttämään monin paikoin innovaatioiden liikaa teknologialähtöisyyttä, joka saattaa rajoit-  
taa hyödynnettävissä olevaa liiketoimintapotentiaalia.

## 2.3 Digitalisaatio

### 2.3.1 Tietoliikenne ja laskenta

#### *Sovellukset tänään*

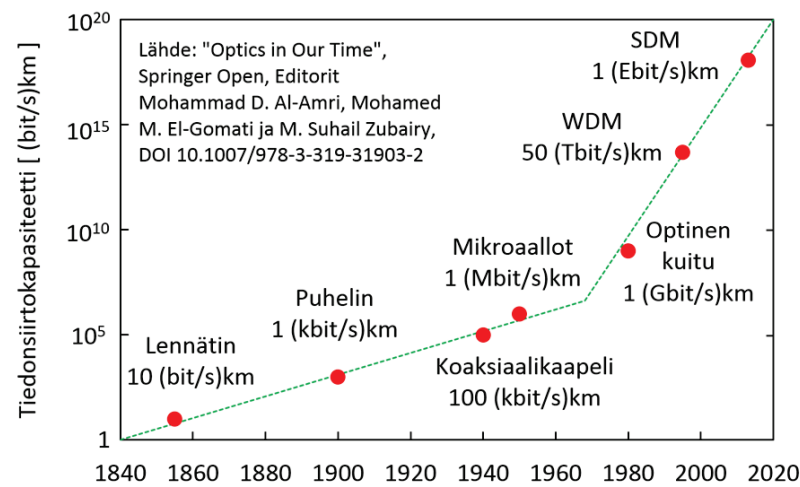
Ihmiskunta on käyttänyt valoa tiedon välittämiseen jo tuhansia vuosia. Merkkitulet, merkikiliput, peilit, majakat ynnä muut sellaiset ovat mahdollistaneet hyvin yksinkertaisten viestien lähettämisen nopeasti ja kauas. Tällä hetkellä **kuituoptinen tiedonsiirtoverkko** ulottuu ympäri maapallon ja toimii 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 (bittinä 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  $\sim 850$  nm,  $\sim 1.3$   $\mu$ m ja  $\sim 1.55$   $\mu$ m 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.

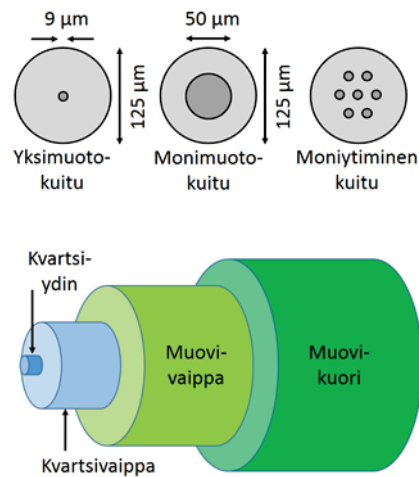
Optisessa tiedonsiirrossa hyödynnetään monia muitakin tärkeitä teknologioita. Valon kirkkautta ja vaihetta voidaan muuttaa erillisillä modulaattoreilla, mikä mahdollistaa laserin suoraa modulointia suuremman tiedonsiirtonopeuden ja tehokkaamman aallonpituuspektrin hyödyntämisen. Optisia signaaleja yhdistetään ja erotetaan erilaisilla aallonpituus- ja polarisaatiosuodattimilla sekä reititetään optisilla kytkimillä. Takaisinhoitajien 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 optisessa tiedonsiirrossa käytettyjen pitkien salausavainten turvallisen siirtämisen esimerkiksi eri pankkien tai viranomaisien 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 bittiejä kerrallaan siirtäviä modulaatiomenetelmiä ja aallonpituusjaotteista tiedonsiirtoa (WDM), missä "eriväriset" optiset signaalit yhdistetään kul-

kemaan 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.



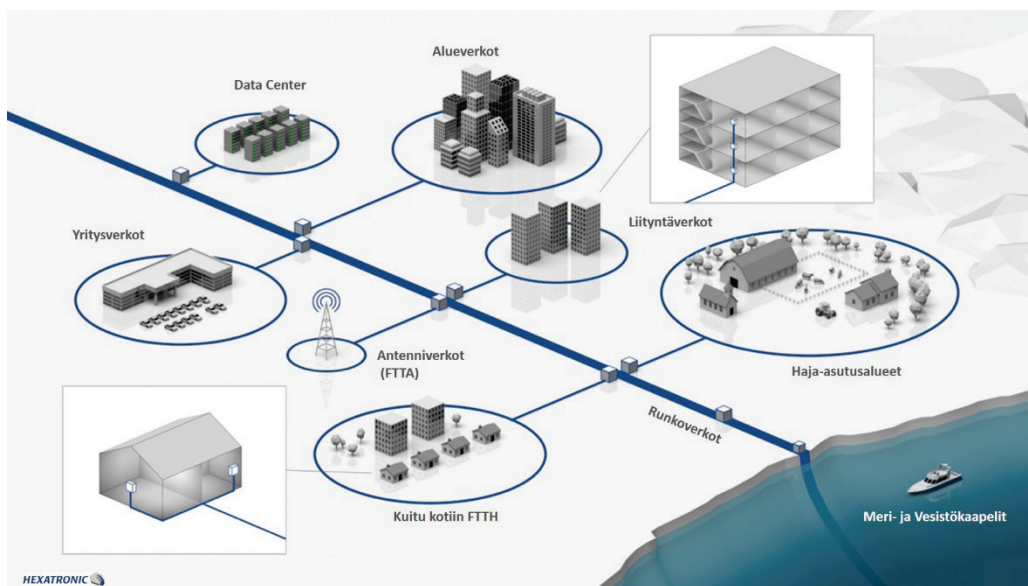
**Kuva 9: Tiedonsiirtokyvyn (tiedonsiirtonopeus kerrottuna etäisyydellä) kasvu 1840-2020 esitettyinä logaritmisella asteikolla, jossa suora viiva vastaa eksponentiaalista kasvua (Lähde:Timo Aalto, VTT)**



**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.



**Kuva 11: Havainnekuva optisen kuituverkon eri osista ja käyttökohteista (Lähde: Hexatronic)**

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 yhdistepuolihoiteisiin 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 Itä-Suomen yliopistossa 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 suurimman tarpeen optisen tietoliikenteen jatkokehittämiseen ja jotka suoraan perustuvat sen aiempaan kehitykseen. Tiedonsiirron lisäksi fotonikkaa 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 lähe- tin- 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 foton 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 fotonikan 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 pieni-  
häviöiselle ja nopealle optiselle tiedonsiirrolle ja samalla mahdollistavat fotonikan käytön laskentatehon radikaaliin kasvattamiseen (TKID 26) sekä salattuun ja anonyymiin tietoliikenteeseen (TKID 89). Maailmalla on jo useita yrityksiä, jotka kehittävät kvanttioptiikkaan ja kvanttielektronikkaan perustuvia tietokoneita. Niitä voidaan hyödyntää paljon laskentatehoa vaativissa tehtävissä, kuten säämallien ja -ennusteiden laatimisessa. Mutta ne voivat myös mahdollistaa nyt äärimmäisen turvallisena pidettyjen salausalgoritmien murta-  
misen. 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 fote-  
toneista 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 voi-  
daan 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) toteutamisessa. Perinteisen kuituoptisen tiedonsiirron rinnalle kehittyy ensin ledeihin ja myö-  
hemmin 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 laittei-  
den 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 hyödyn-  
nettävyyteen. Seuraavien 31 teknologiakorin mahdollistavana tekijänä on optinen tiedon-  
siirto, 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 kilpailukyvyille***

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 toi-  
mintaan vaan ainoastaan optisten tietoliikennetuotteiden myynti ja kehittäminen. Tällaisia tuotteita (kuidut, optiset päätelaitteet ynnä muut sellaiset) hyödynnetään laajasti kotimai-  
sissa tietoliikennejärjestelmissä ja -verkoissa, mutta niistä suurin osa ostetaan nyt ulko-  
mailta. Optisen tiedonsiirron merkityksen yhä kasvaessa myös Suomessa olisi hyvä olla sii-  
hen liittyvien komponenttien tutkimusta, kehitystä, valmistusta ja myyntiä. Se tekisi Suo-  
mesta 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 yleistytessä myös näiden teknologioiden hallinta voi osoittautua kriittisen tärkeäksi kansalliseksi resurssiksi niin kilpailukyvyyn kuin turvallisuudenkin kannalta.

### ***Merkitys Suomen yhteiskunnalle***

Kuituoptinen tiedonsiirto on nykyisen digitaalisen yhteiskunnan perusta. Ilman sitä ei olisi internetiä, datakeskuksia, videopuheluita, teräväpiirtotelevisioita eikä matkapuhelinverkoja. 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 tietoliikenneverkkoissa 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), yhdistepuolijoh-teisiin perustuvassa optoelektroniikassa (laserit), kvanttioptiikassa ja tietoliikenneverkko-teknologiassa. 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 verk-koteknologian rajapinnassa, johon tulisi rakentaa uusia osaamissiltoja eri organisaatioiden ja osaamisten välille. Se tukisi vahvojen ekosysteemien kehittymistä skaalautuvaan kompo-nenttituotantoon, fotonikan tieteelliseen tutkimukseen, kaupallisten tietoliikenneverkko-jen kehittämiseen ja tietoliikenteen mahdollistamien digitaalisten palvelujen ja sovellusten kaupallistamiseen.

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

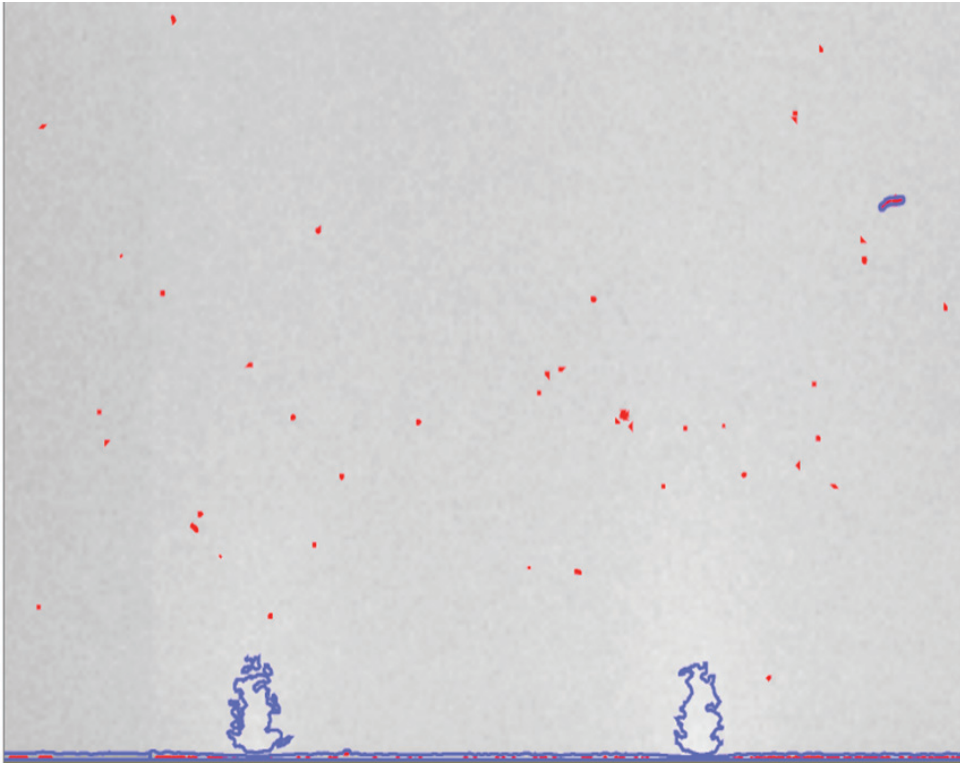
#### **Sovellukset tänään**

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 fotoniiikan keinoin. Mitattavia suureita ovat muun muassa kirkkaus, kontrasti, katselukulma, tasaisuus (uniformity) ja väriavaruus. Lisäksi pikseli- ja rivi/sarakevirheet, valovuodot sekä mura-virheet (<https://support.elo-touch.com/TechnicalSupport/mura/>) saadaan kiinni fotoniiikan 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 12: 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\\_04cjwUzJj4WVNr4nvXenDGeAcJlhTN\\_1NYiG4hoCHdgQAvD\\_BwE](https://www.power.fi/palvelutuotteet/television-kalibrointi/?gclid=CjwKCAjwkYDbBRB6EiwAR0T_-ipi5hy13aU319f_04cjwUzJj4WVNr4nvXenDGeAcJlhTN_1NYiG4hoCHdgQAvD_BwE)).

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

### **3D-kuvantaminen**

Erityisesti matkapuhelimissa, tableteissa sekä ajoneuvoissa näyttöön integroitava, tyypillisesti kuvantava 3D-sensori on oleellinen työkalu muun muassa biometrisessä tunnistuksessa (esimerkiksi kasvonpiirteet), VR-sisällön tuottamisessa (esimerkiksi 3D-emojit) sekä eleohjauksessa.

### **AR-näyttöteknologia**

Historiaan katsottaessa, Nokialla oli suuri merkitys Microsoftin HoloLensen kehityksessä. Perustana olevaa teknologiaa kehitettiin hyvin suurella todennäköisyydellä Nokia Research Centerissä <https://www.kgutttag.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 mittausta, testaus- ja kalibrointiratkaisut)

## **Liikenteen murros ja näytöt**

On olemassa tarve kommunikoida kuljettamattoman ajoneuvon ja sen läheisyydessä liikuvan 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 kilpailukyvyille***

Näyttötekniikkaan liittyvän fotoniiikan tietotaidon lisääntymisellä on positiivinen vaikutus yritysten taloudelliselle kilpailukyvyille. 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 fotoniiikan tulevaisuus vaikuttaa hyvin suotuisalta.

## ***Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet***

Panostamalla fotoniiikan kehitykseen sekä koulutukseen eri tavoin, Suomella on mahdollisuus varmistaa asema maailman johtavana näyttö-fotoniiikan 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 fotoniiikan 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 fotoniiikan komponenttien eli linssien pitkäaikainen sovellusalue.

Moderni lääketiede ja terveyden huolto on ottanut fotoniiikan 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 puolijohdelaerien 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 13: Esimerkkejä fotoniiikkaa 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. Hoitona
4. Valmistukseen

| Fotoniikka hyvinvointi- terveysteknologiassa |                                                                                                                                               |                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              | Kliiniset sovellukset                                                                                                                         | Laboratoriosovellukset                                                                                                                 |
| <b>Kuvantaminen ja mikroskopia</b>           | <b>Diagnostiikka- ja analyysilaitteet</b><br>Pinnallinen, kehonsisäinen ja läpivalaisukuvantaminen                                            | <b>Mikroskopia &amp; Makroskopia</b><br>Fluoresenssimikroskopia, luminesenssi, High-Content seulonta, Raman-mikroskopia                |
| <b>Analytiikka ja ilmaisimet</b>             | <b>Diagnostiset ilmaisulaitteet</b><br>Hapetusmittarit, pulssimittarit, glukosimittarit, biosensorit, laboratoriodiagnostiikan lukijalaitteet | <b>Analyysilaitteistot</b><br>Geenisekvensointi, proteomiikka, sytometria, spektroskopia, levylukijat                                  |
| <b>Hoidot</b>                                | <b>Valoavusteiset hoidot</b><br>Laserkirurgia, fotodynaaminen terapia, fotobiomodulaatio, optogenetiikka, fotoimmunoterapia                   | <b>Valoavusteiset hoitoprosessit</b><br>Optogenetiikka, nanokantajat, kantasoluviiljely, optiset kuvaus-, valaisu- ja seurantalaitteet |
| <b>Valmistus</b>                             | <b>Kehonsisäisten laitteiden valmistus</b><br>Stentit, implantit, endoskoopit                                                                 | <b>Laitteiden valmistus</b><br>Leikkaus, hitsaus, pinnoitus, 3D-tulostus                                                               |

**Taulukko 1: Fotoniikan sovellusalueet lääketieteessä. (Lähde: <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 Yhdysvaltojen dollaria 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:
  - o Aalto-yliopisto: fotonikan perus- ja soveltavaa tutkimusta, biofotoniikkaa
  - o Helsingin yliopisto/farmakologia: valoavusteiset lääkkeet ja kuljettimet
  - o Helsingin yliopisto/lääketiede: Optogenetiikka, kardiologia
  - o Itä-Suomen yliopisto/lääketiede: valo-avusteiset hoitoprosessit ja -lääkkeet, kuvantaminen
  - o Oulun yliopisto: biosensorit ja algoritmipohjainen kuvankäsittely
  - o Tampereen teknillinen yliopisto/ORC: lasereiden kehitys lääketieteen sovelluksiin
  - o Tampereen yliopisto/Biomeditec: kantasolulinjojen valmistus ja monitorointi, solujen kuvantaminen
  - o Turun yliopisto ja Åbo Akademi: laboratoriodiagnostiikan menetelmäkehitys, nanobiofotoniikan perustutkimusta, mikroskopian kehitys, EuroBioimaging johtokeskus
  - o VTT Oy: Point-of-care diagnostiikkalaitteet, kaasumittaukset, spektraalikuvaaminen

Tällä hetkellä tärkeimpiä fotonikan 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 valoon perustuvat diagnostiikka- ja tutkimuslaitteet sekä lukuisat optiset bioanturit erilaisissa kannettavissa ja puettavissa laitteissa.

Optinen mikroskopia on teknologisen kehityksen ja perustavaa laatua olevien innovaatioiden myötä vakiinnuttanut asemansa yhtenä tärkeimmistä bio- ja lääketieteiden tutkimuksen sekä diagnostiikan välineistä. Esimerkiksi perinteinen patologin syöpäkudoksenäytteiden 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 lääkemolekyli-kandidaattien seulonnassa.

Puhtaasti optiikan näkökulmasta merkittävimmät kehitysaskeleet ovat liittyneet ennen kaikkea mikroskopian erottelukyvyn parantamiseen sekä uusien ilmaisim- ja laserteknologioiden luomiin mahdollisuuksiin. Stefan Hell esitti vuoden 1994 julkaisussaan perusteet

mikroskopian erottelukyvyn parantamiseen niin, että optinen diffraktio, ”valon taipuminen”, ei enää rajoita erottelukykä perinteiseen vajaan 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 johtomaa vuonna 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 innovaatio-toimintaa yritysten sisällä, yliopiston tutkimukseen perustuvina yrityksinä sekä tutkimuslaitoksissa. Esimerkiksi Turussa toimivassa Perkin Elmer/Wallac Oy:ssä 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 molekyyli lääketieteen 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 – lyhytaaltainen 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 pääasiassa 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 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 tuoloin 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 laitteiden 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 euron 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 optoelektroniikan tutkimuskeskuksen tutkimukseen perustuvana yrityksenä vuonna 2000. Optisen tiedonsiirron komponenttien rinnalla yhtiö alkoi kehittää komponentteja ja laitteita lääketieteen laitteisiin vuoden 2010 tienoilla, minkä seurauksena yhtiö lanseerasi ensimmäisen syöpähoitolaserinsa markkinoille vuonna 2015. Tällä hetkellä yhtiöllä on asiakkaana kahdeksan 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***

Terveystieteiden ja hyvinvointituotteet ovat olleet merkittävä liiketoiminnan kasvualue jo pitkään. Tämän kehityksen ajureina toimivat toisaalta teknologioiden kehitys ja toisaalta ikääntyvä ja vaurastuva väestö erityisesti länsimaissa. Uusille 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 glukosin- 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 potilas-

seurantaa ja *e-Health* -ketjua. Merkittävät lääkeyhtiöt kehittelevätkin jo tuotteita esimerkiksi lääkkeiden luovutuksen ja tehon seurantaan puettavien tai kotikäyttöisten biosensorien avulla.

Myös erilaisten optisten antureiden ja kameroiden käyttöä potilaiden ja vanhusten seurantaan tutkitaan ja kaupallistetaan nopealla tahdilla, mistä myös Suomesta löytyy esimerkkejä. Neuroevents-lab 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 liikkeitä 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 toimii 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 Yhdysvaltojen dollarin arvoinen seitsemän vuotinen ohjelma: National Cancer Institute, <https://www.cancer.gov/research/key-initiatives/moonshot-cancer-initiative>), joilla resursoidaan tärkeimpiä terveydenhoidon haasteita. Suomessa vastaava hanke on (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, Kansallinen syöpäkeskus, <https://stm.fi/syopakeskus>), jonka puitteissa on tarkoitus kansallisesti parantaa ja tehostaa syövän hoitoa ja sen tutkimusta.

Optisia menetelmiä käytetään jo laajasti syövän diagnostiikassa ja hoidossa. Uusia menetelmiä kehitetään esimerkiksi optisen näytteenoton ja patologian alueilla sekä syöpähoitoissa, kuten fotoimmunoterapia ja optogenetiikka. Fotoimmunoterapiassa valon ja lääkkeen yhteisvaikutuksella pyritään auttamaan ihmisen omaa immuunipuolustusjärjestelmää tunnistamaan ja tappamaan syöpäsoluja. Valon avulla voidaan ylipäättään 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 fotonikan 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 mahdollisimman 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 Itä-Suomen yliopistossa. 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 geenitekнологia, ja niihin liittyvien hoitojen ja laitteiden kehittäminen onkin yksi mahdollinen vahvuusalue Suomen kaltaiselle maalle, jossa on globaalisti merkittävää osaamista geeniteknologiassa ja fotonikassa. Tähän voidaan liittää myös kantasoluteknologia, jossa potilaan omista näytesoluista visioidaan valmistettavan erilaisia, kompleksisiäkin 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 magneettikuvausten 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 laajamittaista hyödyntämistä klinikoilla ja sairaaloissa, mutta esimerkiksi OCT:n läpimurto silmä-sairauksien diagnosoinnissa on hyvä esimerkki uusien teknologioiden nopeasta käyttöön-otosta.

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 etene- mistä tai lääkityksen vaikuttavuutta.

## ***Merkitys Suomen kilpailukyvyille***

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 mitauslaitteesta 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 kannattavampia 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
- geeniteknologia ja optogenetiikka
- infektioautien 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 karkiosaamisten 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 kärkeosaamisten 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 näytekoelmat sekä sittemmin biopankit. Tilanteen ovat huomanneet myös monet kansainväliset suuryritykset, jotka ovat viimeisten vuosien aikana pyrkinneet Suomeen juuri päästäkseen näihin aineistoihin käsiksi. Vaikka fotoniikan teknologioiden kehittämisen kannalta itse olemassa olevat aineistot ovat vain osin hyödynnettävissä, luo tuo jo olemassa oleva kulttuuri mahdollisuuksia yrityksille liittyä osaksi pitkittäistutkimuksia ja päästä tutkimus- ja testaustoimintaan sairaalaympäristössä, ainakin periaatteessa.

Käytännössä toimissa on kuitenkin merkittävää tehostamisen varaa - kliniseen 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, klinikot ja yritysten henkilöstö voivat kohdata ja yhdessä työstää ratkaisuja hoidon ja terveydenhuollon käyttöön. Riittävästi resursoituna tällaiset keskuksat kannustaisivat myös tämän tyyppiseen toimintaan - klinikot voisivat ottaa tutkimusvapaata, toimia yhdessä yliopistotutkijoiden ja yritysten kanssa ja keskittyä uusien innovaatioiden testaukseen ja esikaupallistamiseen. Käytännössä toimivien uusien klinisten sovellusten ja tuotteiden kehittämistä pitäisi päästä tekemään mahdollisimman aidossa ympäristössä ja klinikoiden 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 klinikoiden 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 kierätys jo suunnittelu- ja valmistusvaiheessa. Optiset mittaustekniikat, kuten konenäkö ja spektroskopia, ovat tässä olennaisia mittausten menetelmiä, 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 ”spektrisorumenjälki”. Spektroskopiaan ja spektrometreihin liittyvää tutkimusta ja tuotekehitystä ovat tehneet muun muassa VTT Oy, Tampereen teknillinen yliopisto ja Itä-Suomen yliopisto. Erityisesti VTT:ssä 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 ovat osa tuotannon laatua. Kaikkiin näihin liittyen Suomessa on korkealaatuista soveltavaa tutkimusta sekä optisia mittalaitte- 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 (<https://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. Kierrätysmassa on haastavampaa, mutta sen käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä, koska sen valmistamiseen 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 konvertterista valssausvaiheeseen asti. Tyypillisesti optisesti valvotaan senkan eli sulaa rautaa sisältävän astian tyhjenystä 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 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 (tunnistuskky) sekä kyky mitata erittäin pieniä pitoisuuksia. Yrityksen viimeisin merkittävä keksintö on ainutlaatuinen fotoakustinen ilmaisin, jonka ansiosta tuote on erityisen herkkä ja mittaa aikaisempaa pienempiä pitoisuuksia.

VTT:n tutkimustulosten pohjalta on syntynyt yrityksiä, joista esimerkiksi Spectral Engines Oy on palkittu 800 000 euron pääpalkinnolla Euroopan komission kilpailussa vuonna 2017. Yrityksen valmistama äärimmäisen kompakti spektroskopiaan perustuva ruokaskanneri soveltuu käytettäväksi koko ruoan tuotantoketjussa pellolta vähittäisliikkeisiin. Vastavalla tekniikalla sovellusmahdollisuuksia on kuitenkin myös muualla kuin ruokaketjussa pienen koon, käytettävyyden ja hinnan ansiosta. Teknologia on ensimmäinen, joka voisi soveltaa kuluttajatasen 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, lasin ja keramiikan kierrätyksessä. Arvioiden mukaan kotitalouden kierrätettävistä jätteistä 40 % on lasia, alumiinia tai muovia. Taloudellisesti tämä kannattaa vain automatisoituna, sillä käsin suoritettu lajittelu ei ole mielekäästä. 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 kaatopajoille. Muovin uusiokäytön kannalta olisi eri muovilaadut tyypillisesti pystyttävä erottele-

maan 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***

Rakennusallalla syntyvät jätteet ovat yksi merkittävin jäte-erä heti kaivosteollisuuden jälkeen. Jätteitä syntyy uustuotannossa, korjausrakentamisessa ja rakennusten purkuvaiheessa. Jätteiden 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 laittelijäksi. 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 14: ZenRobotics Recycler jätteiden robottilajittelukone (Lähde: ZenRobotics Oy)**

## ***Merkitys Suomen yhteiskunnalle ja kilpailukyvyille***

Kiertotaloudelle ei ole kestäviä vaihtoehtoja ja optiset mittaussuomenetelmät ovat merkittävä tekijä tuotannon ja kierrätyksen tehostamisessa. Siten suurin yhteiskunnallinen merkitys tulee keskeisen tavoitteen eli mahdollisimman täydellisen kierrätyksen ja uusiokäytön toteutumisesta. Suomalainen fotonikan 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 rahoituskierron yhteydessä osin päätenyt ulkomaisille sijoittajille. Alalla toimivien yritysten mahdollisuudet kansainväliseen menestykseen ovat kuitenkin huomattavan hyvät ja kasvun rajat kaukana tulevaisuudessa.

Toissijainen yhteiskunnallinen merkitys tulee korkeasti koulutettujen työllistymisestä sekä tutkimukseen että tuotekehitykseen. Alalla on jo nyt puute muun muassa data-analyytiikoista, optiikkasuunnittelijoista ja mekaniikkasuunnittelijoista. Tavoiteltaessa kiertotaloudessa nollahukkaa eli kaikkien materiaalien uudelleen hyödyntämistä on mittalaitte- ja sovelluskehitys edelleen tarpeen. Julkisen ja yksityisen tutkimuksen ja tuotekehityksen merkitys kasvaa.

## ***Tulevaisuus***

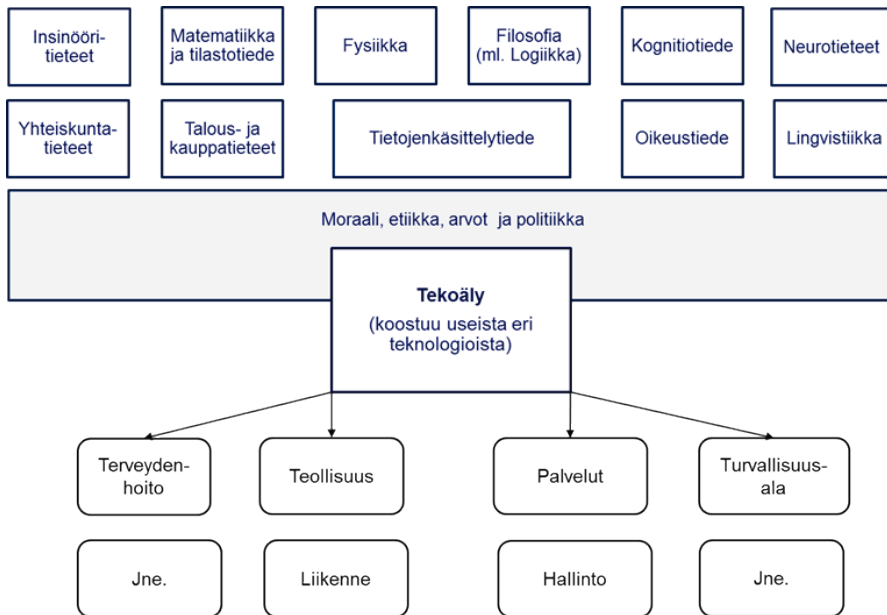
Robottien ja autonomisten kulkuneuvojen käyttö tavaroiden siirrossa, tuotannossa ja lajitelussa on välttämätöntä kilpailukykyisen ja laadukkaan työn takaamiseksi. Ympäristöä havainnoivan 2D ja 3D konenäön, optisen etäisyysmittauksen sekä materiaaleja tunnistavien spektroskopiamenetelmien käyttö yleistyy 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 *Teollisuus 4.0* -vallankumousta. Teollisuus 4.0:lla tarkoitetaan teollisuuden uutta aikakautta, johon liittyvät muun muassa ohjelmistot, virtuaalimaailman hyödyntäminen, integraatio eri laitteiden ja järjestelmien välillä sekä dataan perustuvat uudet palvelut ja liiketoimintamallit.

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.

## ***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).



**Kuva 15: Tekoälyyn liittyvät tieteenalat ja sitä hyödyntävät sektorit. (Lähde: Ailisto, et al, 2018, s. 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 kasvojen tunnistuksen 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 neuroverkkolas-kennan 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 (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 kehittymisestä. 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.

On syytä muistaa, että immersiiivisen 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 ryh-

missä, joissa jokaisella oppijalle tarvitaan oma näyttölaite ilman suuria kustannuksia. Liiallinen turvautuminen liian halpoihin ja heikotasoisiin 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 Itä-Suomen yliopistossa 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 ihmisen kehon reaalikokoisella 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 valaistamisen. 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 näköisillä 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 Itä-Suomen yliopistossa tehdään tutkimusta valaistuksen vaikutuksesta oppimiseen. Tutkimuksessa tarkastellaan myös valaistuksen värin vaikutusta oppilaiden 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.

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 fysiikkaaliset ominaisuudet, sen lääketieteelliset vaikutukset ja vaikutukset oppimiseen.

Maailmalla on otettu myös 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.

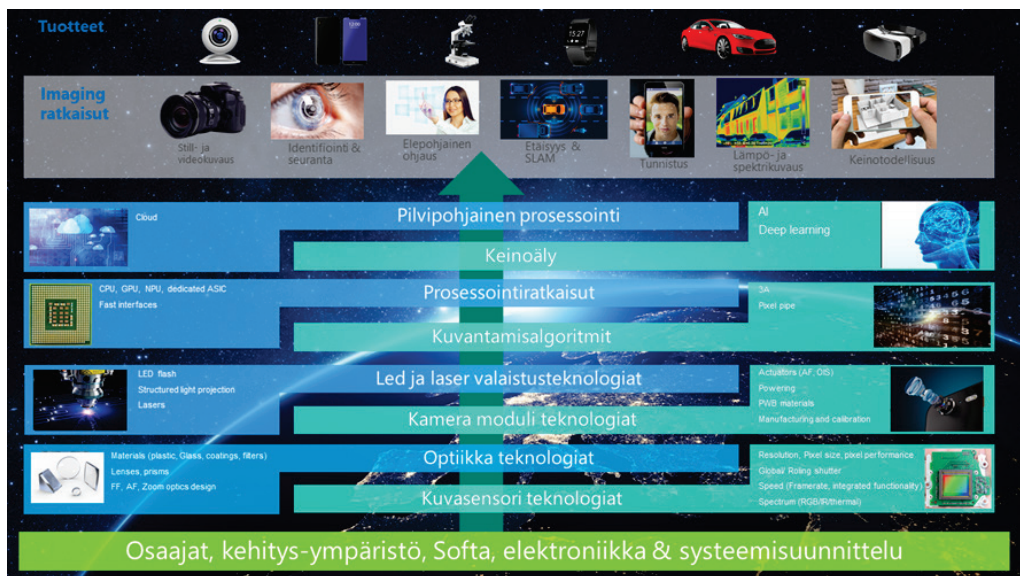
Fotoniikan uusien laitteiden ja menetelmien hyödyntämistä kouluissa on suhteellisen helppo testata. Yliopistojen yhteydessä toimivien normaalikoulujen rooli on toimia myös uusien opetusmenetelmien testipaikkana. Näissä tehtävillä testauksilla voidaan helposti testata laitteiden ja menetelmien toimintaa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

## 3 Fotoniikan sovellukset muihin globaalisti tärkeisiin teemoihin

### 3.1 Kamerateknologiat

Nokian tuotekehityksen sivutuotteena Suomeen, lähinnä Tampereen alueelle, kehittyi erittäin vahva kuvantamisen osaamiskeskittymä. Termillä kuvantaminen tarkoitetaan laajasti kaikkea digitaalisen kuvan luomiseen tarvittavaa teknologiaa. Kuva voi olla tarkoitettu ihmisen silmille tai tietokoneen analysoitavaksi. Kameran integroiminen matkapuhelimeen oli erittäin haastava ja erittäin nopeasti kehittyvä teknologia-ala, johon Nokia investoi merkittävästi Suomessa yli 15 vuoden ajan. Tällöin Suomeen kehittyi valtavasti osaamista kaikille kuvantamisen osa-alueille.

Kuvantamisen kokonaisratkaisujen suunnittelu vaatii erityisosaamista kameramoduliteknologioissa (optiikka, sensorit, optomekaniikka, nopea analogia- ja digitaalelektroniikka, liitäntäteknologiat), valaistusteknologioissa, kuvanprosessointialgoritmeissa (mukaan lukien keinoälyratkaisut), kuvantamisjärjestelmien systeemisuunnittelussa, testaus- ja verifiointijärjestelmissä ja toimitusketjun hallinnassa.



Kuva 16: Kuvantamiseen liittyvät osa-alueet. (Lähde: Eero Salmelin)

Osaamista kertyi sekä Nokian omaan tuotekehitykseen että Tampereen teknillisen yliopiston tiimeihin, joiden tutkimus auttoi Nokiaa ratkaisemaan kriittisiä kuvantamishaasteita. Nokian ja myöhemmin saman ryhmän jatkaessa Microsoftin palveluksessa kuvantaminen oli kovassa globaalissa kilpailussa yksi selkeitä vahvuusalueita tuotteissa ja tulokset olivat maailman huippua.

Microsoftin ajettua alas tuotekehitystoiminnot matkapuhelimien osalta Suomessa kuvantamisen osaajat löysivät nopeasti uudet työnantajat sekä globaaleista yrityksistä (Huawei, Intel, Axon, Polight, AAC ja Powervision) että perustivat omia 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 leikkilistä termiä "Imaging Silicon Valley", joka kuvaa hyvin tätä merkittävää osaamiskeskittymää.

Matkapuhelinkentän muutoksen seurauksena suomalainen kuvantamisaosaaminen ja -liiketoiminta on monipuolistunut 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 volyymien ansiosta on ajanut kameroiden ja niihin liittyvien komponenttien hinnat erittäin edullisiksi, jolloin kameroiden integrointi uusille sovellutusalueille on mahdollista.

Kuvantaminen 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), lääketieteessä kuvantaminen 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 keinoälyn 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 kuvantamisen 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 mittaaminen 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. Etäisyysien kasvaessa, esimerkiksi itseohjautuvissa ajoneuvoissa, kilpaileva tai enemmän täydentävä teknologia on LiDAR.

Uusista kuvantamisen 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. Kulluttaja voi kokea vaikka konsertin tai tehdä vierailun tehtaaseen lähtemättä ollenkaan ko- toa.

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> ).

Kuvantamiseen liittyvillä yrityksillä on myös erinomainen mahdollisuus 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 kuvantamisosaauskeskittymää ja siten mahdollistaa työpaikkojen luomisen tälle korkean lisäarvon kasvualueelle. Osaaminen on jo olemassa, minkä todistaa globaalien yritysten valtava kiinnostus Tampereen alueen kuvantamisosaa- jia kohtaan. Alueella on merkittävä keskittymä kansainvälisiä yrityksiä ja erittäin korkeatasoinen yliopisto, jota Tampere 3 -hanke entisestään vahvistaa.

Järjestelmien kehittyessä entistä monimutkaisemmiksi kuvantamisteknologioiden osaami- nen ja osaamiskeskittymät korostuvat, koska ne voivat tarjota yrityksille nopeita ratkaisuja monimutkaisiin ongelmiin. Yritykset haluavat erottua erilaisilla kuvantamisen ominaisuuksilla ja oma tuotekehitys on tässä äärimmäisen tärkeää. Osaamiskeskittymillä on kyky suunnitella ja rakentaa prototyyppi uudesta innovaatiosta nopeasti. Tämä on avainasemassa globaalissa kilpailussa. Nopea prototyyppien rakentaminen mahdollistaa myös nopean op- pimissyklin, mikä tulee korostumaan yritysten ja tuotekehityskeskusten välisessä kilpai- lussa. Nopea prototyyppien rakentaminen ja siitä seuraava nopea oppiminen tulee ehkä jat- kossa olemaan jopa tärkeämpää kuin massatuotannon hallinta.

Nopeaan prototyyppien rakentamiseen liittyy oleellisesti 3D-tulostus, jossa virtuaalinen malli kirjaimellisesti muutetaan fyysiseksi esineeksi 3D-tulostimen avulla. Menetelmä on jo käytössä pikamallien valmistamisessa muun muassa arkkitehtuurissa sekä tuotemuotoilu- ja konesuunnittelussa, mutta myös tuotannossa koruteollisuudessa ja hammastekniikassa. Laserien kehityksellä on merkittävä rooli metallien 3D-tulostuksessa, jossa niin sanotulla lasersintrauksella metallipulveri muutetaan metallikappaleeksi. Kameroiden nopeaan pro- totyyppien rakentamiseen liittyy puolestaan alun perin Hollannissa yrityksen Luxexcel ke- hittämä Printoptical® Technology, joka on ainutlaatuinen uusi menetelmä optisten kom-

ponenttien, kuten linssien, valmistukseen 3D-tulostuksella. Luxexcelin keskittyessä silmälasiteollisuuden murrokseen, Itä-Suomen yliopisto kehittää kyseistä teknologiaa erilaisiin teollisuuden optiikan tarpeisiin.

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

Kuvantamisen osaajat ovat erittäin vahvasti verkottuneita sekä alueen sisällä että globaalisti ja tämä mahdollistaa kasvun jatkumisen, mikäli Suomessa riittää osaajia, joilla on kuvantamisen perusosaaminen hallussa. Suurin osa kuvantamisen osaajista ovat "itseoppiineita". 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 Kuvantamiseen tarvittavan end-to-end osaamisen selkeään opetuskokonaisuuteen, olisi erittäin tervetullut. Tällöin yrityksille olisi tarjolla valmiimpia osaajia ja nopeampi kasvu olisi mahdollista. Lisäksi osaajien kouluttaminen kuvantamiseen mahdollistaisi uusien yritysten syntyminen, sillä kysyntä innovaatioille tällä alueella on erittäin suurta ja innovaatioiden tekeminen on mahdollista olemassa olevan osaamiskeskittymän ansiosta. Kuvantaminen 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 sillä 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. Lisäksi Suomeen on saatu osaajia ulkomailta tänne tuotekehitysyksikön perustavien yritysten mukana. Osaajien houkuttelevuus Suomen ulkopuolelta onkin jatkossa erittäin tärkeää. Vahva osaamiskeskittymä lisää alueen houkuttelevuutta kansainvälisten osaajien silmissä.

Yritykset ja toimijat:

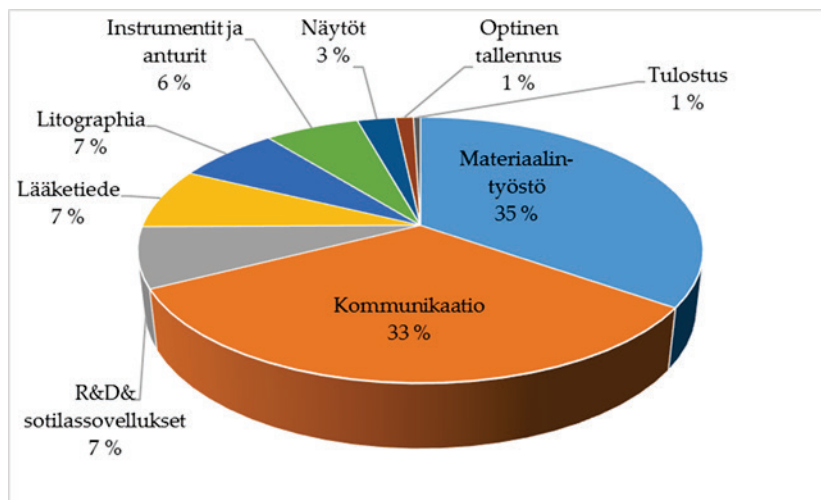
- Tampereen teknillinen yliopisto/Tampere3, VTT Oy
- Globaalit yritykset: Huawei, Intel, AAC, Axon, Polight, Powervision, Procemex Oy
- Suomalaiset yritykset: Nomicam Oy, Grundium Oy, Noisless imaging Oy, Helmee imaging Oy

Sovellusalueet:

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

### 3.2 Teollisuus 4.0

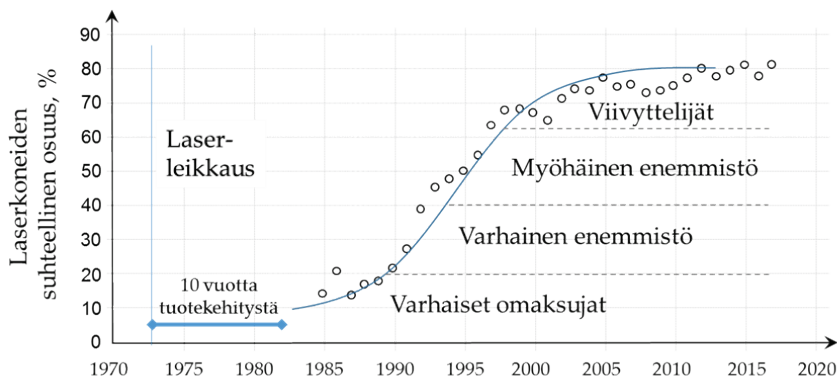
Lasertyöstössä lasersädettä käytetään materiaalin työstämiseen. Materiaalin työstömenetelmiä on useita: erottavat, liittävät, muokkaavat, poistavat ja lisäävät menetelmät. Laser on siinä mielessä erikoinen valmistuksen työkalu, että sitä käytetään näissä kaikissa työstötaivoissa. Sädettä käytetään eri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



**Kuva 17: Laserin eri käyttökohteiden suhteelliset osuudet vuoden 2017 laserien kokonaismarkkinasta 10,5 miljoonaa euroa (Lähde: Antti Salminen, lähdemateriaali Kincade et al, 2018)**

Lasersäteen käyttöön perustuvia työstöprosesseja on kymmeniä. 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 laserhitausta 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 laivanhitaukseen. Teknologia mahdollistaa uudet paremmat tuotteet, ja kaikki tärkeimmät kilpailijat 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. Hyvänä käytännön esimerkkinä laitemarkkinoiden muutoksesta on ohutlevyjen leikkaus, jossa yhtenä teknologiana hyödynnetään vuonna 1976 keksittyä la-

serleikkausta. Tutkimus- ja kehitystyön ansiosta laserleikkaus-teknologia yleistyi levyntyöstökoneissa voimakkaasti. Vuonna 2017 laserkoneiden osuus kaikista levyntyöstäkoneista oli yli 80 %. Tämä johtuu suurelta osin siitä, että lasertyöstö tarjoaa selkeitä etuja tuotesuunnittelussa perinteisiin menetelmiin verrattuna. Työstölaser teknologian kehitys on huomattavasti nopeampaa kuin muiden tekniikoiden. Lähinnä sitä voi verrata tietotekniikan kehitykseen. Tämä kehitys tuottaa yhä parempia ja edullisempia lasereita markkinoille kiihdyttämällä kehitystä.



**Kuva 18: Laserleikkaus on vienyt koko ohutlevymarkkinan 15 vuoden aikana (Lähde: Antti Salminen, lähdemateriaali Leibinger, 2018)**

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 kuluva työkalua ei ole, jolloin saavutetaan parempi tarkkuus ja tasainen laatu. Kaikki prosessiparametrit ovat digitaalisesti hallinnassa, jolloin prosessin laaduntuohtokyky on tyypillisesti erittäin hyvä. Tämä toimintaperiaate mahdollistaa erittäin hyvän joustavuuden ja valmistussarjako-noon 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 interdisziplinääriset tutkimusryhmät työskentelevät yhdessä teollisuuden kanssa. Teollisuus on panostanut keskukseseen myös huomattavasti sijoittamalla sinne omaa T&K&I yksiköitään ja tarjoamalla oma tutkimuslaitteikantaansa 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. 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 merkkäus. 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 kilpailukykyämme. Esimerkiksi hitsauksessa ja metallien 3D-tulostuksessa olimme selvästi Ruotsia edellä, mutta nyt tilanne on kääntynyt päinvastaiseksi Ruotsissa tehtyjen investointien ansiota.

Työstölaserien 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 älypuhelimien äärimmäisen kovaa näyttölasiä sekä monikerroksista päällystettyä ikkunalasia. Primoceler Oy on puolestaan kehittänyt laserteknologian lasilevyjen hitsaamiseen. Tyypillisesti työstössä käytetään lasertyöstösystemiä, jossa laser on ydinkomponentti, jota niin sanotut systemi-integraattorit hyödyntävät tehdessään tuotantoon sopivia työstökoneita.

Lasersysteemien markkina on huomattavasti suurempi kuin lasermarkkina. Nämä yritykset ovat keskittyneet Saksaan, Kiinaan, Italiaan, Ranskaan ja 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 vain 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.

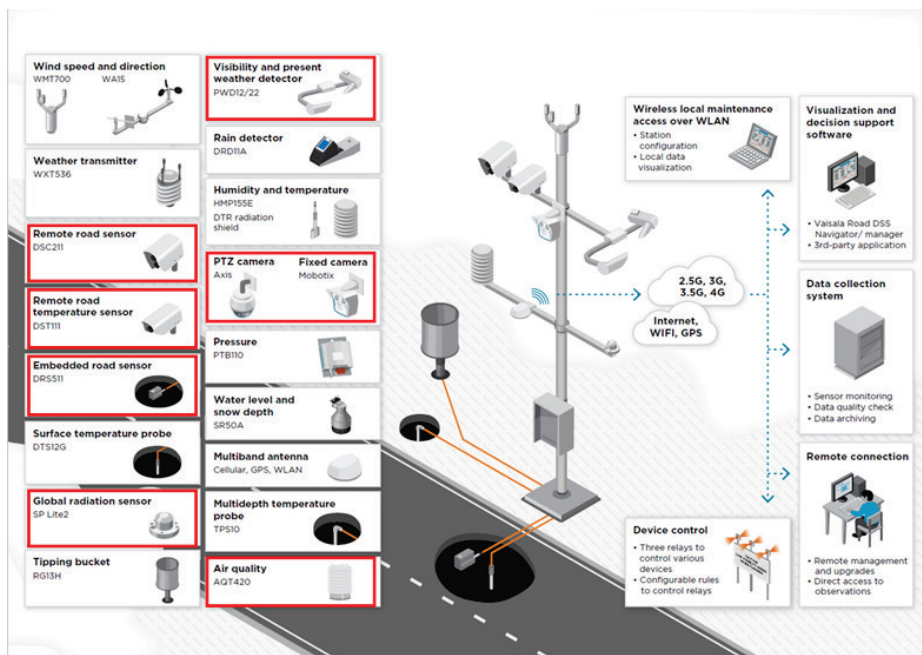
Työstölaserien valmistuksessa Suomessa on kohtuullinen liiketoiminta. Lasereita valmistetaan paljon ja suurin osa niistä menee vientiin. Valmistus tapahtuu maailman suurimman laservalmistajan, yhdysvaltalaisen Coherent Inc.in suomalaisessa tytäryhtiössä.

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 keskuksat vähensivät toimintaansa niin, että tällä hetkellä aktiivisia T&K&I ryhmiä on enää kolme. Suomessa olisi osaamista niin työstölaserien kuin työstösystemien 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 mitaustekniikka on tärkeässä roolissa myös liikennesäättä koskevista havainnoista: tiesääasemien tärkeimpiin mittaustekniikoihin kuuluvat näkyvyys ja tien pinnan tila (kuiva/märkä/jäinen/luminen), joita molempia mitataan optisesti (Kuva 18).



**Kuva 19: Liikennesään mittauksissa hyödynnetään laajasti fotoniikkaa. Vaisala Oyj:n tiesääaseman antureista lähes puolet perustuu fotoniikkaan (merkitty kuvassa punaisin kehysin). (Lähde: Vaisala Oyj)**

Autojen kuljettajan tukijärjestelmien anturointi koostuu radiopohjaisista tutka-järjestelmistä, ultraääniantureista sekä auton sisäisistä kinematiikkaa mittaavista kiihtyvyyssantureista ja gyroista. Painopiste ympäristönhavainnoinnissa on siirtymässä optisiin järjestelmiin (Kuva 19). Kaistavahdit ja kuolleiden kulmien anturointi pohjautuvat kamerapohjaiseen kaistaviivojen tunnistamiseen. Adaptiiviset vakionopeussäätit 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 ultraäänipohjaisiin ratkaisuihin, mutta niiden levinneisyyttä rajoittaa hinta ja erilaisten ympäristöolosuhteiden sietoisuus (lumi, sumu, ja niin edelleen).



**Kuva 20: Automaattiautojen kehitys vaatii niin kamera- ja 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-tekniikka mahdollistaa autojen valojen adaptiivisen kohdistamisen oikeaan kohteeseen ajon aikana.

Fotoniikan sovellukset liikenteessä eivät rajoitu tieliikenteeseen. Myös lentoliikenteen ohjaus ja valvonta ovat riippuvaisia säätilasta ja lentokenttien meteorologisista mittauksista. Erityisesti on syytä mainita kaksi tärkeää mittaussparametria – 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 optisissa tiesää- kuin lentokenttämittauksissakin.

### ***Tulevaisuus***

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

Korkean resoluution antureiden lisäksi autoihin ollaan lisäämässä kuulo- ja puhekykyä verkottamalla kulkuneuvoja keskenään sekä hyödyntämällä tieinfrassa valmiina olevaa anturointia. Tällä pyritään paitsi ennakoimaan toisien ajoneuvojen käyttäytymistä ja jakamaan anturitietoa, jolloin tilannetietoisuuden etäisyyttä voidaan kasvattaa oman auton anturoinnin ulkopuolelle (>250 m). Osana tilannetietoisuuden kehitystä autot oppivat myös hyödyntämään ennakoivasti liikenneinfran tarjoamaa informaatiota, kuten tiesääsasiemien 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 kilpailukyvyille***

Anturointi ajoneuvoissa on yksi avainteknologioista automaatiokehityksen edistysessä. Siinä siirtymää tapahtuu radiopohjaisista järjestelmistä optisiin niiden resoluution vuoksi, koska niiden resoluutio mahdollistaa tarkemman hahmontunnistuksen. Optisten ja fotonikkakomponenttien suunnittelu ja valmistaminen vaativat 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 on jo tapahtunut. Veoneer (entinen Autoliv) on laajentamassa optisten antureiden sarjavalmistusta pienessä 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 kilpailukyvyyn 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, mikä avaa markkinoita ketterille toimijoille.

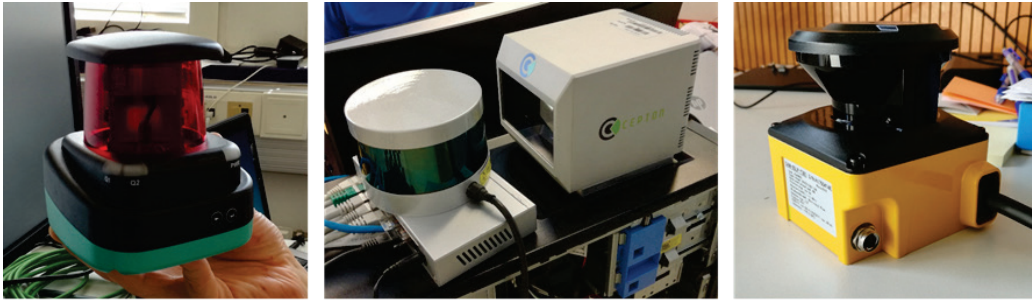
Tieinfrastruktuurin puolella optista tunnistamista on käytetty liiketeenhallinnassa ja tietuliin ja tiesään valvonnassa pitkään. Siirtymä digitaalisen infrastruktuurin hyödyntämiseen autojen anturoinnissa pakottaa myös perinteiset valvontajärjestelmien toimittajat kehittämään tuotteita entistä tarkemmiksi, mutta mahdollistaa myös 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.

Autoteollisuuden alihankkijaketjut jaotellaan eri tasoihin, joista käytetään termiä Tier. Tier 1 -tason alihankkijat toimittavat komponentteja suoraan auton valmistajille ja Tier 2 ja Tier

3 toimivat alihankkijoiden alihankkijoina. Suomalaisille mielenkiintoiset alihankintaketjut muodostavat uusia liittoumia (esimerkiksi Bosch-Daimler, Velodyne-Renovo, VW-Bosch-Continental-NVIDIA) erilaisten tekniikoiden ristiin kehittämiseksi. Erityisesti uusia mahdollisuuksia on Tier 2 ja Tier 3 tasoilla. Perinteisesti Tier 1 ja Tier 2 pelikenttä on ollut hyvin vakiintunut, mutta nyt ICT tekniikan soveltaminen mahdollistaa uusien toimijoiden pääsyn alihankintaketjuun, joka on avautuva mahdollisuus kotimaisille fotonikka teollisuudelle. Autoteollisuuden toimijat, kuten BMW ja Audi, ovat perustaneet omia lupaaviin pienyrityksiin sijoittavia osastoja. Alan perinteinen alihankintaketju on murtumassa ja se avaa väyliä uusille radikaaleille teknologioille, 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 Yhdysvaltojen dollaria ja kasvavat vuoteen 2030 noin 60 miljardiin dollariin. Automotive LiDAR -markkinoiden koko (EPIC, 2017) on tänään noin 215 miljoonaa dollaria ja sen ennustetaan kasvavan vuoteen 2022 mennessä 1,2 miljardiin dollariin automaatiokehityksen ansiota. Tästä pienikin siivu merkitsee aina miljoonien liikevaihtoa sekä tuhansia työpaikkoja erikoisosaamista vaativien komponenttien kehittämiseen.



**Kuva 21: Markkinoilla olevia auto- ja työkoneliDAReita. (Lähde: VTT)**

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

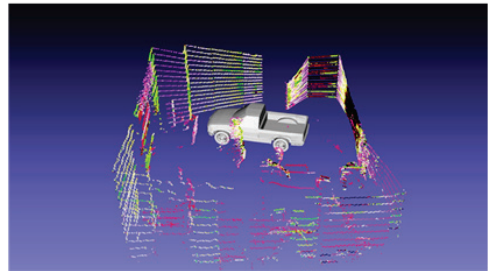
### ***Suomen vahvuudet ja mahdollisuudet***

LiDAR ja koko automaatiokehityksen merkittävin voima tulee Yhdysvalloista. Tämän Euroopan autoteollisuus kokee uhkana ja haluaisivat myös 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 kulutuselektronikan puolella fotonikan ja optiikan osaaminen on Suomessa hyvällä tasolla, ja valmiuksia soveltaa ICT-teollisuuden kautta uusia komponentteja on olemassa.

Haasteena ovat pienien yritysten tunnettavuus isoissa organisaatioissa ja valmiiden integroitujen anturiratkaisujen tarjoaminen. Autotehtaat tai edes Tier 1 -tason alihankkijat eivät osta linsejä, lasereita tai yksittäisiä komponentteja, vaan haluavat valmiita paketteja, jotka

toimivat 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 tehtäväkenttää. Komponenttien yhdistäminen luo lisää jalostusarvoa, joka on kansallisesti toivottavaa ja samalla avaa isompia markkinoita myös Euroopan ulkopuolelta.

Suomessa on jo vahvaa teknologiaosaamista LiDAR-tekniikan alueella, joka tukeutuu vahvasti puolijohde- ja laser-tekniikkaan, optiikkaan ja sensoridatan käsittelyyn. Suomalaiset toimijat kuten Vaisala Oy, Modulight Oy, Oplatek Group Oy ja VTT Oy ovat olleet mukana jo vuosia eurooppalaisissa tutkimushankkeissa yhdessä autoteollisuuden kärkeä toimijoiden (muun muassa Daimler, Renault, Fiat, Autoliv, Ibeo, SICK ja Bosch) kanssa. Suomeen on myös perusteilla kansallinen LiDAR-ekosysteemi Business Finlandin tuella. Siihen pyritään keräämään kaikki teknologiatoimittajat 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 kärkeä tekniikoiden yhdistämistä monimutkaisiksi älykkäiksi lopputuotteiksi (kuva 22).



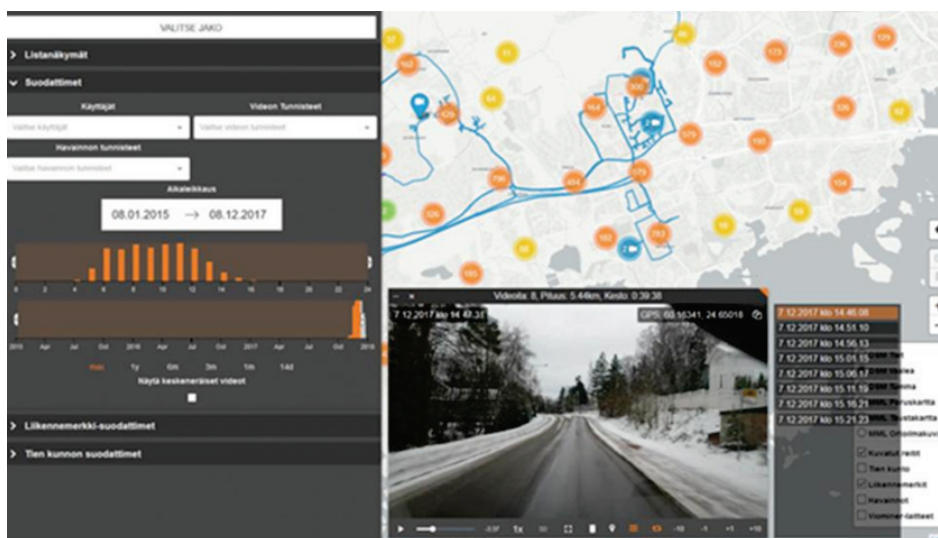
**Kuva 22: Anturit, mittauskortit ja ohjelmistot ovat antureiden tärkeimpiä komponentteja. (Lähteet: vas. Vaisala Oy, oik. VTT).**

Onnistuminen LiDAR-tekniikoiden 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 sääntelyllä, esimerkiksi tukemalla toimenpiteitä, joilla Suomesta voisi tulla maailmanlaajuisesti merkittävä testausympäristö itseohjautuville verkottuneille ajoneuvoteknologioille. Suomi on tunnettu autoteollisuudessa talviolosuhdetestauksesta. Pohjois-Suomessa erityisesti Ivalossa ja Muoniossa on paljon nykyisiin autoihin liittyvää arktista testausta, jossa varmistetaan materiaalien ja järjestelmien toiminta pakkasessa sekä lumessa. Itseohjautuvuus vaativat kuitenkin autoilta enemmän elektroniikkaan ja ohjelmistotekniikkaan liittyviä fasilitetteja sekä asiantuntemusta. Potentiaalisia alueita on jo muodostumassa niin Lapissa (Aurora E8 älytie/Muonio ja StarGate/Sodankylän lentokenttä) kuin Etelä-Suomessakin (KymiRing/Iitti, Otaniemi/Espoo, Hervanta/Tampere) sekä Ruot-

sisä. Automaattiauton tekniikan testausfasilitteetit vaativat päivitystä siten, että Suomi säilyy tekniikan muuttuessa kilpailukykyisenä verrattuna Ruotsiin, Norjaan, Japaniin ja Kanadaan.

Suomessa on merkittävää työkon- ja ajoneuvoteollisuutta, jotka kannattaa huomioida myös markkinana. Alan tuotantomäärät ovat pieniä verrattuna autojen massavalmistukseen, mutta toisaalta ne eivät ole niin hintakriittisiä ja toisaalta autoteollisuuden perinteiset antureiden massavalmistajat eivät ole valmiita myymään työkoneteollisuuden vaatimia piensarjoja. Tämä on hyvä mahdollisuus räätälöidä ja vahvistaa samalla sekä kansallista fotonikaan että työkoneteollisuuden kilpailukykyä.

Yksi tulevaisuuden trendi on se, että koko liikenneympäristö verkottuu IoT-pilveksi, joka on yhdistetty erilaisten kommunikaatoratkaisujen (ITS G5, 5G, jne) avulla toisiinsa. On todennäköistä, että eri autojen anturit vaihtavat anturitietoa (raakadataa) niin toisten autojen kuin liikenneinfran kanssa. Tällöin puhutaan yhteistoiminnallisesta anturoinnista, jonka tiedonvälityskapasiteetin kasvaminen mahdollistaa. Tässä suomalaisella telekommunikaatio- ja anturiosaisella olisi mahdollisuus olla etulyöntiasemassa. Tätä edesauttaa myös edellä mainittu vahva osaaminen liikenneinfran optisissa mittauksissa (kuva 23).



**Kuva 23: 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.



**Kuva 24: Unescon päämaja Pariisissa Valon vuoden avajaisissa vuonna 2015. Valotaide-teoksen toteutti Kari Kola, Valoparta Oy:stä. (Lähde: Kari Kola, Valoparta Oy)**

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 yleisötapah tapahtuma kautta aikojen. Se sopii kaikille ikäryhmille taustoista ja iästä riippumatta. Käyttäjakohtainen kustannus 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 vuoden 2008 tasoon, mikä merkitsee noin miljoonan euron kustannussäästöä vuosittain. Pysyviä valotaide teoksia on saatu jo noin 100, ja ongelma-alueita on saatu siistittyä paljon. Kaupungin vetovoima 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 päivässä. Kaupungin vuotuisista tuloista noin 20 % tulee tästä yhdestä viikosta ja tapahtumasta tehdään tuhansia artikkeleja vuosittain.

Seuraavassa on toisenlaisia esimerkkejä, joissa lyhytaikaisella teoksella on pitkäaikaiset vaikutukset:

### **Luminous Projekti / Saana vuonna 2017**

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



**Kuva 25: Saana-tunturi valotaideteoksena Suomi100-juhlavuonna. Teoksen toteutti Kari Kola Valoparta Oy:stä. (Lähde: Kari Kola 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:n 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 projektin näkyvyys oli uniikkia koko juhluvuonna. Kaikista Suomi100-tapahtumista Saana nousi eniten esille kansainvälisessä mediassa ja erottui myös edukseen Suomen viestinnässä juhluvuodesta.

Tämän tyyillisillä ratkaisuilla ja teoilla on merkittävä mahdollisuus parantaa kilpailukykyä, saada matkailijoita tulemaan Suomeen. Pimeää vuoden aikaa olisi mahdollista hyödyntää ja tuotteistaa enemmän Suomessa.

### ***Suomen mahdollisuudet***

Korkean teknologian osaamista, fotonikan 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 resursoida enemmän mahdollisuuksia ja kokeiluja.

Fotoniikasta voi tulla uusi Suomen viennin kärki niin teknologian kuin osaamisen osalta. Myös tutkimuksen kautta löydettävät uudet innovaatiot sekä taiteen ja tieteen yhdistäminen luovat 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 laboratorioanalyysiin 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.

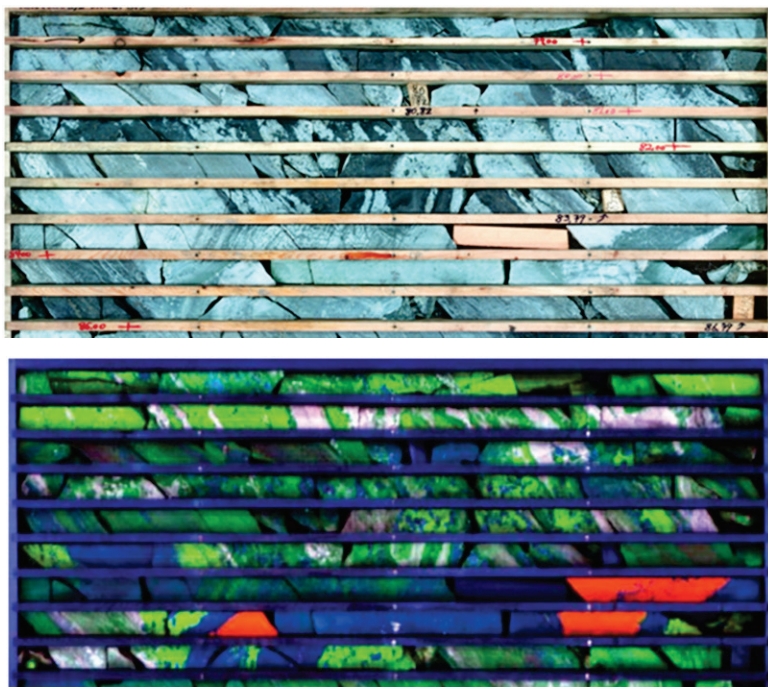
Suomessa VTT on tutkinut hyperspektrikuvausta jo vuodesta 1993, ja tämä spektroskopian ja kuvauksen yhdistävä menetelmä soveltuu hyvin myös mineraalien analysointiin. Teknologiaa ovat kaupallistaneet sekä Specim Oy ja Senop Oy. Hyperspektrikuvaus mahdollistaa ensimmäisen kerran koko poratun kairasydännäytteen tarkan, alle 1 mm paikkaerotuskyvyllä tapahtuvan analysoinnin. Tällä on radikaali merkitys päätöksenteolle ja suunnittelulle, sillä kivityyppien ja siirroskohtien tarkka erottelu tapahtuu entistä luotettavammin ja malmion kolmiulotteinen mallinnus ja kaivostoiminnan suunnittelu tarkentuvat.

Saavutetut edut tulevat suoraan vähentämään ympäristöön väistämättä kohdistuvia haittoja. Tämä johtuu paremman suunnittelun vähentämästä sivukiven määrästä, joka puolestaan vähentää muun muassa malminerotuksen tarvitsemää 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. Malä:ssä 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:n (<http://terraco-regeo.com>) kehittämällä 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, jotta Ruotsista aikojen saatossa kerätystä arvokkaasta kairasydänaineistosta saadaan mahdollisimman suuri hyöty. Sittenmin myös Norjan Geologinen Tutkimuskeskus (NGU) on aloittamassa vastaavaa projektia ja on julkaissut laitetoimittajille tarjouskierroksen.



**Kuva 26: Värikuva ja mineraaliluokiteltu hyperspektrikuva kairasydänlaatikosta. (Lähde: Specim Oy)**

Kaivosteollisuudessa on myös tarve valvoa rikastamolle tulevaa raaka-ainetta sekä arvomineraalin että mahdollisten haitta-aineiden pitoisuuksien mittaamiseksi. VTT:llä on kehitetty Raman spektrometri, jonka TimeGate Instruments Oy <https://www.timegate.com/mining>) on tuotteistanut. Tuote 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***

Kaivosteollisuutta tarvitaan, vaikka kiertotalouden kehittyessä materiaalien uusiokäyttö lisääntyisikin. Suomi on kansainvälisestikin 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 laitesuunnittelussa ja valmistamisessa maailman kärkeä. Myös osaamista käytännön mittaus toiminnasta erityisesti kaivosteollisuuteen on olemassa.

Suomessa on lähes sadan vuoden ajan kerätty kairasydännäytteitä kallioperästä kaikkiaan yli 3 000 km noin 36 000 kairauksesta (<http://www.gtk.fi/tutkimus/infrastrukturi/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 kaupan hyllyltä VR-tuotteita, 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, mikä 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 insinöritieteissä 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 älypuhelimien 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. Näissä tapauksissa näyttölaite vaatii tuekseen kameran, jonka tallentama ympäristön kuva siirretään reaaliaikaisesti näyttölaitteelle. VR-AR laitteen yhdistelmän valmistamiseksi työskentelee esimerkiksi suomalainen yritys Varjo Technologies Oy.

Läpinäkyvissä AR-näytöissä käyttöympäristön kuvainformaatio 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 tai käytettäessä 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 kuvainformaatio kytketään ulos käyttäjän katseltavaksi käyttäen samoja periaatteita kuin sisään kytkennässä.

Viime aikoina useat yritykset ovat julkaisseet läpinäkyviä AR-näyttöjä, jotka eivät vaadi kamerayksiköjä 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 ympäristön saumattoman vuorovaikutuksen. Kyseisenlaisten tuotekehitysohjelmien kustannukset lasketaan yleisesti miljardeissa dollareissa ja ovat 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 ydinosaaminen 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. Näitä 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 Itä-Suomen yliopiston Joensuun kampuksen fysiikan ja matematiikan

laitos. Näillä kyseisillä laitoksilla yhdistyvät laadukas opetus (teoreettinen sekä kokeellinen), hyvät puhdistilat 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 rekrytointina. Julkisten Suomeen sijoittuneiden tiimien lisäksi nano-optiikan osaajia rekrytoivat muutkin suuret kansainväliset yritykset Suomessa ja maailmalla. Korkean tason osaajien rekrytoiminen on vaikeuksissa, koska alaa suoraan hyödyttävää teollista osaamista ei ole. Lisäksi oppilaitokset eivät pysty tarjoamaan uutta osaavaa työvoimaa riittävällä tahdilla. Huipputiimien ydinosaaminen on peräisin valtaosin yliopistoista. Merkittävän suuri osa ydintiimien henkilöstöstä on lähtöisin Itä-Suomen yliopiston 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 on ollut 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 koulutustasossa ja yritysten tuotekehitykseen sijoittamisissa suurissa summissa. Näyttöjen suunnittelussa tarvittavia nano-optiikan suunnitteluohjelmia ei ole kaupallisesti saatavilla. 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 Yhdysvaltojen dollaria, ei suuri yleisö ole päässyt tutustumaan teknologiaan. Kuluttajamarkkinat ovatkin vielä käynnistymättä ja kuluttajille suunnatun sisällön määrä on hyvin rajallinen. Tämän hetken markkina- ja teknologiatilannetta voidaan hyvinkin verrata esimerkiksi matkapuhelinteollisuuden alkuaikaan, jonka jälkeen käyttäjätarpeet 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 massavalmistuskyyvykkään 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 koulutamalla alalle osaavaa insinööri- ja tuotantohenkilöstöä. Joensuun alueella ollaankin kartoittamassa mahdollisuutta perustaa koulutuspolku (ammattiaste-ammattikorkeakoulu-yliopistoaste), joka vastaa tulevaisuuden henkilöstökysyntään osaavasta työvoimasta fotoniikan alalla.

Suomella on mahdollista olla uuden teknologian eturintamassa, sillä todistettua ydinosamista 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. Automatisaatiovaatimus avaa mahdollisuuksia myös Suomelle massatuotannon ylösajoon, jossa olemassa olevaa alan osaamista, korkeaa koulutusastetta ja automaatio-osaamista voidaan hyödyntää ja näin saavuttaa globaalia kilpailuetua. Osaavaa henkilöstöä on mahdollista kouluttaa kasvavan kysynnän tarpeisiin mukauttamalla koulutusjärjestelmiä. Kehitystoimintaa tukeva infrastruktuuri (tilat, laitteet ja liikenne) vaatii kehitystä, jos nykyisen tasoista toimintaa halutaan laajentaa ja tukea.

### ***Esimerkkejä mahdollisista sovelluskohteista – 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 käyttäjää halutussa ympäristössä.

- Terveydentilan ja urheilusuorituksen monitorointi
- Urheilupelien, virkistyspaikkojen opastus

#### Lääketiede

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

#### Hoito- ja hoivapalvelut

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

#### Pelit

- 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 energiatarpeen 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 fotonikan 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 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 energiateknologioiden 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 mitoitettut tuulivoima- ja 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](https://energia.fi/energiateollisuus_jarjestona/visio/asiakkaan_aika)). Murros tulee näkymään yksittäiselle kuluttajalle lisääntyvinä valinnan mahdollisuuksina. Hänestä tulee osa energiantuotantojärjestelmää. Hajautettu energiateknologia tulee hyödyntämään fotonikan tarjoamia mahdollisuuksia esimerkiksi tuotantovälineiden valmistusprosesseissa, laitteistojen kunnon ja sääolosuhteiden reaaliaikaisessa seurannassa.

Maailmanlaajuiset investoinnit uusiutuviin energialähteisiin ylittivät vuonna 2016 jo 300 miljardia Yhdysvaltojen dollaria. Nopeimmin, 40 %:n vuosivahdilla kasvavan aurinkosähkö 50 miljardin dollarin vuotuiset investoinnit ovat tuottaneet vuoteen 2016 mennessä 310 GW<sub>p</sub> huippukapasiteetin, minkä ennustetaan kasvavan yli 1000 GW<sub>p</sub>:iin vuoteen 2030 mennessä. Tuulivoiman kasvuvauhti on jonkin verran alhaisempi, 15–20 %. Sitä on rakennettu lähes 500 GW<sub>p</sub> verran. Tuuli- ja aurinkosähkö tuotannot tukevat toisiaan ja tuottavat jo nyt noin 150 ydinvoimalan verran sähköä maailmanlaajuisesti. Niiden erona on se, että tuulivoiman teho perustuu suuriin yksiköihin, kun taas aurinkosähkö 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<sub>p</sub>:n edestä aktiivisesti hallittavaa aurinkolämpöä, pääosin käyttöveden lämmittämiseen.

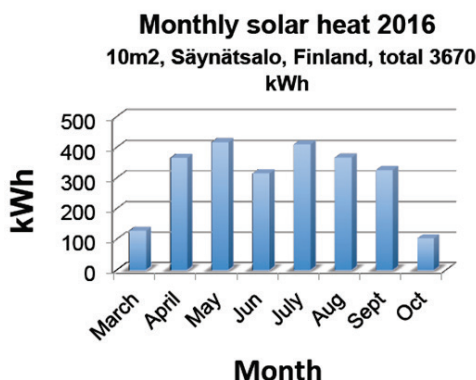
Mainitut kehitysnäkymät ovat Suomessa jääneet vaille niille kuuluvaa huomiota.

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 tuulivoimapotentialin hyödyntäminen, aurinkosähkön ja -lämmön paikallinen tuottaminen sekä kiinteistöjen (kodit, julkiset rakennukset, liikeyritykset) laitteiden ja valaistuksen energiankäytön optimointi osana hajautettua ja älykästä kokonaisratkaisua. Muutoksessa fotoniiikka 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, fotonikan 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 etelälapteen aurinkolämpökeräin tuottaa Suomen kesässä 3500–4000 kWh lämpöenergiaa ”(ks. Kuva 26)” Kuva 26: Aurinkolämmön kuukausituotanto vuonna 2016 Keski-Suomessa 10 m<sup>2</sup>:n etelälapteen keräimestä. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola). Kuluttajalle toimitetun keskimääräisen sähkön hinnalla 17 snt/kWh laskettuna vuosisäästöksi saadaan 595–680 euroa. Keräinten käyttöikä on noin 30 vuotta. Teknologiaa on mahdollista hyödyntää öljy- ja sähkölämmitteisissä kiinteistöissä käyttöveden ja osittaiseen lämmön tuottamiseen. Valtakunnan tasolla käyttöveden tuottamiseen kuluu noin 7 TWh – yhden ydinvoimalan tuotannon verran.

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 asukas sektorin uusitut energianinvestoinnit nyt vain yrityksille avoimen energiatuen piiriin. Kyse on kansantaloudellisesti kannattavasta teknologiasta, jolla toteutuessaan on merkittävä vaikutus hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä.

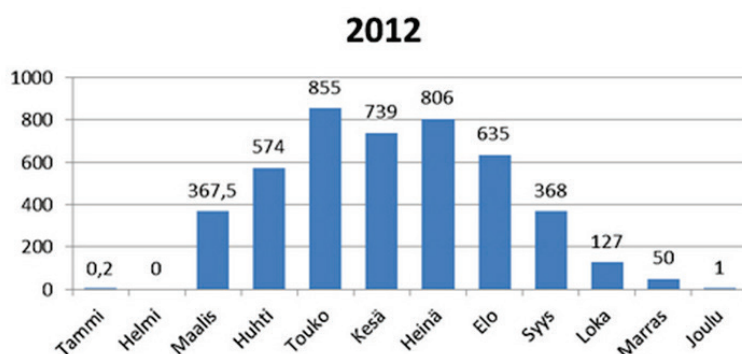


**Kuva 27: Aurinkolämmön kuukausituotanto vuonna 2016 Keski-Suomessa 10 m2:n etelälappeen keräimestä. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola).**

### **Aurinkosähkö**

Toinen merkittävä fotoneja hyödyntävä teknologia on aurinkosähkö. Kymmeneltä neliömetriltä Suomessa on saatavissa noin 1 500 kWh aurinkosähköä (Kuva 27). Maassa on meneillään orastava aurinkosähköbuumi. Vuonna 2015 tuotantoteho oli 70 MW<sub>p</sub> 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. Myös yksityishenkilöiden mahdollisuuksia tuottaa sähköä verkkoon ja tuottamansa sähkön hyödyntämistä muualla kuin tuotantopaikalla tulee selkeyttää.

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



**Kuva 28: 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 maailmanluokan tutkimusta: professori Hele Savinin ryhmä Aalto-yliopistossa ja professori Mircea Guinan ryhmä Tampereen teknillisessä yliopistossa. Edellinen ryhmä on saavuttanut kansainvälisesti merkittäviä tuloksia piimustapäälysteisten piikennojen kehittäjänä, jälkimmäinen lähinnä avaruussovelluksiin soveltuvien suuren hyötysuhteen monikerroskennojen kehittämistyössä. Tutkimustoiminta on kansainvälisesti verkottunut sekä tutkimusyhteisöihin (muun muassa Fraunhofer Insti-tuutti) 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 liikekeskuk-sissa jäähdytyksen energiatarve ja aurinkosähkön maksimaalinen tuotto kohtaavat.

Yksityisten talouksien aurinkosähkön tuotto usein jää käyttöveden lämmittämiseen kesä-ajan pienen peruskuorman vuoksi eikä aurinkosähkön myynti ole kannattavaa. Merkittävä kannustin aurinkosähkön edistämiseksi olisi niin kutsuttu nettolaskutuksen periaate: säh-kön tuottaja voisi vähentää tuottamansa sähkön määrän kulutuksestaan ja maksaa vain tuottamansa ylimääräsähkön siirtomaksun ja arvonnäköveron. 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 täy-sin 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 100 M kiin-tokuutiota. Tähän on tarvittu karkeasti arvioiden  $1 \cdot 10^{38}$  fotonia, joiden avustamana bio-massan energiasisällöksi saadaan noin 200 TWh. Maan primäärienergian kulutus on vajaat 400 TWh. Jotta puumassaa voidaan hyödyntää teollisessa tuotannossa, on selvää, että bio-massaa riittää vain osaksi energiapalettia. Erityisen huonosti se soveltuu lauhdesähkön tuotantoon. Metsien kunnon arvioinnissa, kasvun seurannassa sekä paperi- ja sahateolli-suuden tuotannon optimoinnissa fotoniikalla on merkittävä rooli, kuten tässä raportissa toisaalla tuodaan yksityiskohtaisemmin esille.

Uuden energialiiketoiminnan edistäminen on ollut tärkeä osa muun muassa Saksan, Ruot-sin, Tanskan, Itävallan, Hollannin ja Sveitsin energiapolitiikkaa. Liikkeellepanevana voi-mana aurinkoenergian investointeihin sisältyy merkittävä myynnin, suunnittelun ja asen-nustyön 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 energiamurrok-sen talkoisiin. Ministeriöiden rooli talkootyössä tulee selvittää ja selkeyttää. Työhön tarvi-taan yksi vastuullinen taho valtionhallinnon taholta.

## Valaistus

Valaistus on yksi keskeinen fotonikan 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. Sinisen LED-valon keksijöiden, 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). Edullinen LED-valaistus vaikuttaa myös siihen, että valaistuksen absoluuttinen määrä kasvaa, erityisesti ei-OECD maiden johdolla. On kuitenkin arvioitu, että globaalisti valaistukseen kuluva energia alenee alle puoleen hehkulamppuaikakauteen verrattuna. Vaikeammin ennustettava kehitys kohdataan markkinatalouden vaatimuksista lisätä yhä tehokkaampia mainostamiseen tarkoitettuja valaisuratkaisuja. Ennustettavissa on, että jatkossa tarvitaan säätelyä valaisun rajoittamisesta mm. suurkaupungeissa.

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.

Tarkoitukseensa optimoitu LED-valaisu tunnistaa ympäristönsä sekä tuottaa kohteeseen oikeanlaisen aikaan ja paikkaan sopivan valaistuksen. 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 säättyväksi ja sammuvaksi liikkeeseen sidottuna. Toiminnot ovat fotonikan 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 valaistusoloissa luonnon valoa maksimaalisella tavalla. Julkisen LED-valaistuksen pioneerina Suomessa on toiminut Jyväskylän kaupunki ([valonkaupunki.jyvaskyla.fi](http://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 29: Jyväskylän Ylistön sillan valoinstallaatio. (Lähde: Jouko Korppi-Tommola)**

LED-valaisimet syrjäyttävät perinteiset lamput väri- ja tehosäädettävyyden, pienen virran kulutuksen ja pitkän eliniän voimalla. LED-valaistuksen tuotekirjo on, valaisuteholtaan, väreiltään, kooltaan, muodoltaan ja optiikaltaan valtaisa. 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-lampuissa tarvittavan elektroniikan (jokaisessa verkkoon kytketyssä LED-lamput 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 (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 kehittänyt uudenlaisen UV-laserin bakteerien ja ho-

meen tappamiseen), Joensuu; AIRAM ELECTRIC Oy (sisätilat, LED lamput), Kerava; Valta-  
valo Oy (LED-valoputkien valmistaja), Oulu; Nanocomp Oy (taipuisat kalvot näyttöihin ja  
LED-valaistukseen), Joensuu.

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 erikoistu-  
neille toimijoille on tarjolla mahdollisuuksia aina ventiiniin asti.

Poliittisen tahon tehtävä on myötävaikuttaa osaltaan ympäristöystävälliseen LED-  
valaistukseen helpottaen siirtymistä. Ei ole pelkästään kyse energiatalouksista ja hiilidioksi-  
di- ja päästöjen vähentämisestä, vaan ihmisten elämänlaadun ja elinympäristön parantamisesta.  
Oikealla valistuksella on myönteisiä vaikutuksia työ- ja oppimisympäristöissä, kuten myös  
myönteisiä terveysvaikutuksia. Yhteiskunnan on opittava hyödyntämään auringon foto-  
nien sisältämä ja välillisesti tuottama loppumaton energia sekä hyödyntämään tuotta-  
miensa fotonien ominaisuudet, joilla voidaan parantaa elämän laatua. Miten hieno tulevien  
sukupolvien työkenttä.

### 3.8 Turvallisuus

#### ***Terahertsiteknikka (fotoniikkaa ja elektroniikkaa) – Sovellukset tänään***

Fotoniikkaa ja sen lähisukulaista terahertsiteknikkaa (THz-teknikka) hyödynnetään mo-  
nissa turvallisuuteen liittyvissä sovelluksissa: turvatarkastukset lentokentillä ynnä muissa  
sellaisissa, turvakamerat ja varashälyttimet, liikenteenvalvonta, päästöjen valvonta, lääke-  
väärennösten selvittäminen, taideväärennösten selvittäminen ja niin edelleen.

Koska juuri terahertsiteknikka, joka on sekä fotoniikkaa että elektroniikkaa, on tärkeä tek-  
niikka tulevaisuuden turvallisuusteknologioissa, sallittakoon sille tässä hieman pidempi  
yleiskuvaus:

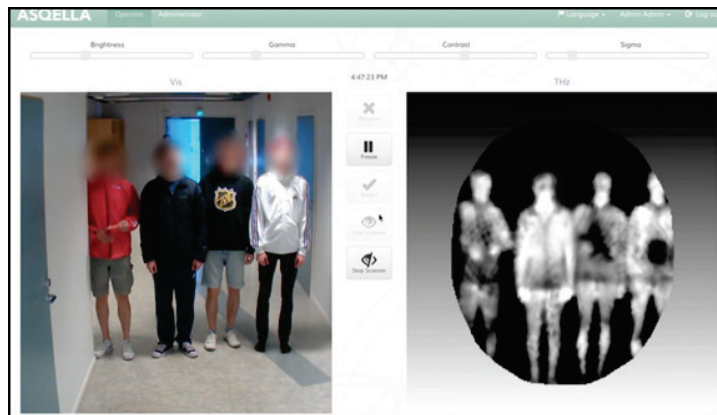
Mikroaalto- ja infrapuna-aaltosäteilyn väliselle spektrikaistalle jäävä terahertsiaaltoa-  
alue (aallonpituus 30  $\mu\text{m}$  – 3 mm), josta käytetään myös nimityksiä millimetriaalto-, alimillimet-  
riaalto- ja kaukoinfrapuna-alue) on sähkömagneettisen spektrin hyödyntämisen suhteen  
"viimeinen lähes käymätön korpimaa".

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

Kaikki materiaali säteilee luonnostaan sähkömagneettisia aaltoja: aurinko on kirkkaimmillaan näkyvän valon aallonpituuksilla, koska sen pintalämpötila on noin 6000 K (kelvinaastetta), 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 molekyyliden 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 fotonikan 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 materiaaliin niin sanottuun 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 tutkimuksesta lähtöisin oleva yritys, Asqella Oy (<https://asqella.com/>), on kaupallistanut passiivisen THz-kamerateknologian nopeisiin turvatarkastussovelluksiin ruuhkaisuissa kaupunkiympäristöissä. Kameran avulla on mahdollista havaita vaatteiden alle kätkeytyt aseet ja räjähteet useamman metrin etäisyydeltä. Asqella Oy:n tuote, ARGON – passiivinen terahertsikamera, havaitsee aseet, räjähteet ja muut uhat nopeasti ihmisvirtaa häiritsemättä. Laite kykenee analysoimaan yli kymmenkertaisen ihmisvirran 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 Ruisrockissa. 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 30: Vasemmalla Asqella Oy:n passiivinen terahertsikamera ARGON. Oikealla kuva kameran käyttöliittymästä, jossa videokameran kuva keskellä, ja oikealla THz kameran kuva samasta näkymästä. Kahden oikeanpuoleisimman henkilön vaatteiden alta erottuu tummina alueina 9 mm konepistooli sekä pussi amfetamiinitabletteja Vasemmalla. (Lähde: Asqella Oy)**

THz-kameraa hyödynnetään nyt jo joissakin taidemuseoissa taidevääreännösten tunnistamiseen ja vanhojen taideteosten muuhun tutkimiseen. THz-säteily, jolla

– toisin kuin röntgensäteilyllä – 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, tuotevääreännökset, 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 ohiajajien 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 kilpailukyvyille 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 fotonikan ja THz-tekniikan opetukseen ja tutkimukseen sekä olosuhteiden kehittämiseen otollisiksi alan uusien 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. Fotonikan ja terahertsitekniikan koulutus ja tutkimus ovat jo hyvällä tasolla Suomessa. Integroidussa fotonikassa on hiljattain saavutettu kansainvälisesti merkittäviä läpimurtoja. Tältä pohjalta Suomella on mahdollisuus tulla johtavaksi maaksi myös fotonikkaan ja THz-tekniikkaan perustuvassa turvallisuusteknologiassa. Edellä mainittu poikkitieteellinen osaaminen on Suomessa vahvaa ja yksi tärkeimmistä kilpailukykyedustamme. 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 kokemuseräisen tiedon arvoa ei pidä väheksyä, vaan se on avainasemassa uusien teknologioiden vientiä silmällä pitäen.

## **3.9 Perustutkimus**

Fotoniikka on yksi parhaista tavoista tutkia tieteen peruskysymyksiä koskien sekä optista fysiikkaa itseään että sen sovelluksia muilla tieteen aloilla. Esimerkiksi kvanttifysiikassa fotonikka on tällä hetkellä todennäköisesti keskeisin tutkimusmenetelmä. Fotonikan merkitys tutkimuksessa käy hyvin ilmi alan säännöllisesti saamista Nobel-palkinnoista. Pelkästään vuodesta 2000 lähtien fotonikasta 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 edistysaskeleet 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 arvoinnit (Academy of Finland, 2012) ja yliopistojen sisäiset arvoinnit (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 strategiaan alueisiin. Soveltavaa fotoniikan tutkimusta tehdään Oulun yliopistossa (OY), Turun yliopistossa (TY) ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT).

**Tampereen teknillinen yliopisto (TTY).** 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, mikä suuntaa 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 korkeellista 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 suomalaisten yritysten yhteistyöprojekteissa.

**Aalto-yliopisto.** Aallossa fotonikan 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 mittaussuomenetelmät. Myös auringonvaloa hyödyntävät uudet energiatekniikat ovat tutkimuksessa tärkeällä sijalla. Valtaosa fotonikan tutkimuksesta tehdään Aallon ja VTT:n yhteisessä kansallisessa mikro- ja nanotekniikan tutkimuskeskuksessa Micronovassa hyödyntäen synergiaa VTT:n soveltavan fotonikkatutkimuksen kanssa. Aallossa fotonikan alueella toimii tällä hetkellä 10 professoria ja toiset 10-15 soveltavat fotonikan tuomia mahdollisuuksia omissa, muiden alueiden tutkimuksissaan.

**Jyväskylän yliopisto (JY).** JY:ssä fotonikassa ja sitä sivuavilla aloilla toimii kuusi eritasoisia 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 fotonikkaan liittyvän osaamisen ja liiketoiminnan kehittämiseksi Suomessa

---

Fotoniikan koulutus, tutkimus ja liiketoiminta ovat jakaantuneet Suomessa maantieteellisesti eri alueille. Tämä ei kuitenkaan tarkoita kilpailevaa päällekkäistä toimintaa, vaan fokuksitua toisiaan täydentävää toimintaa hyödyntäen koko maan vahvuuksia. Hajautunut toiminta on toisaalta myös haaste. Photonics Finland on perustettu tuomaan kaikki fotonikan 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 fotonikka itsessään ei ole oma teollisuus tai tuote, vaan se mahdollistaa muuta teollisuutta ja parempia tuotteita. Esimerkiksi tekoäly ja robotiikka olisivat sokeita ilman fotonikan kameroita, sensoreita ja muita tuotteita, joilla kerätään tietoa ja vuorovaikutetaan ympäröivän maailman kanssa. Käytännössä mikään teollinen automaatio ei toimi ilman fotonikan komponentteja ja algoritmeja. Vuoteen 2020 mennessä on arvioitu joka kymmenennen työpaikan Euroopassa riippuvan fotonikasta. Koko maailman fotonikan valmistuksesta 75 % on pk-yritysten hallinnassa eli fotonikalta 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 fotonikasta.

Suomalaisen akateemisen maailman ja teollisuuden yhdistävä Photonics Finland on tehnyt esimerkillistä työtä fotonikan 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, fotonikka 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 desinfioidaan 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 fotonikkaan perustuvilla tuotantoprosesseilla ja anturoinnilla, esimerkiksi 3D-tulostus, jotka muuntavat digitaalisen data suoraan fyysisiksi tuotteiksi ja laitteiksi
- digitalisaatiossa, *big data*ssa, pilvipalveluissa ja 5/6G:ssä turvataan kasvu optisen tietoliikenteen, tietojenkäsittelyn ja laskennan avulla;
- kyberturvallisuudessa varaudutaan tietoliikenneyhteyksien häiriöihin esimerkiksi sotilaallisten konfliktien tai auringon voimakkaiden energiapurkausten takia
- liikenteen ja työkonoiden turvallisuudessa ja automatisointikehityksessä, jolloin toimitaan fotonikalle haasteellisissa ulko-olosuhteissa
- mahdollistetaan omakohtainen terveydentilan ja sairauksien seuranta sekä uudenlaiset hoitomenetelmät.

Ehdotetut ratkaisut:

### **Lippulaiva-tyyppinen tunnustus fotonikalle**

### **Kansalliset fotonikan 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 fotonikan 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 fotonikan tohtoreita ja maistereita, jotka pääsevät hetimiten hyödyntämään yliopistossa tekemäänsä tutkimusta ja hankkimaansa osaamista.

Suomalainen fotonikan osaaminen on huomattu myös ulkomailla. Yhä useammat ulkomaiset yritykset, jopa sellaisista fotonikan vahvoista maista kuin Saksasta ja Hollannista, haavevat osaamista ja partnereita Suomesta sekä sijoittavat Suomeen uutta yritystoimintaa.

taansa, 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 referenssipaiikkamahdollisuudet teknologiatestaajille (metrologia ja laatu, standardisointityö).

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

Ehdotetut ratkaisut:

### **Kansalliset fotoniiikan tutkimus- ja tuotekehitysohjelmat**

**Investoinnit teollisuuden tukemiseen uusien fotonikkaa hyödyntävien laitteiden käyttöönottoon**

**Fotoniiikan *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**

### ***Fotoniiikan koulutus ja infra***

Fotoniiikan 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 fotoniiikan kansainvälistä verkostoitumista. Taloudellinen hyöty tuskin tulee kansainvälisten opiskelijoiden lukukausimaksuista vaan moninkertaisena heidän työstään

suomalaisen elinkeinoelämän hyväksi koulutuksen jälkeen. Miten jatkossa houkutella kansainvälisiä fotonikan opiskelijoita Suomeen, kun esimerkiksi fotonikan johtava maa Euroopassa, Saksa, tarjoaa edelleen ilmaisen yliopistokoulutuksen?

Fotonikan koulutus Suomessa on toistaiseksi keskittynyt yliopistoihin. Mallia lähdetään hakemaan johtavista fotonikan maista, kuten USA:sta ja Saksasta, jotta koulutusta saataisiin laajennettua ammattikorkeakouluihin ja toisen asteen ammattikoulutukseen. Pilottina on Joensuun Fotonikan Koulutuspolku ohjelma, jossa koulutusyhteistyötä kehitetään Itä-Suomen yliopiston, 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.

Fotonikan 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 infrastruktuurin uudistaminen ja ylläpito vaativat rahoitusta. Monet nykyiset rahoitustyökalut eivät hyväksy laitteisto-investointeja eli tutkimusrahoitusta saa työhön, muttei laitteisiin. Fotonikan tuotekehitys vaatii kuitenkin kokeellista tutkimusta ja sen mukana laitteita.

Ehdotetut ratkaisut:

**Fotonikan koulutukseen rahoitusta ja resursseja (jatkuvan oppimisen toimintamallien kehittäminen)**

**Korjaukset lainsäädäntöön helpottamaan kansainvälisten opiskelijoiden rekrytointia yliopistoihin**

**Kansallinen fotonikan infra-rekisteri ja rahoitus infrastruktuurin 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 vuosirytmeyttä. Toisaalta paremmat optiset komponentit ohjaavat valon sinne, minne sitä tarvitaan. Sinisiin LEDeihin perustuvien valkoisten LEDien yhteyksiä silmäsairauksiin ja unettomuuteen tutkitaan.

Entistä tehokkaammat ja halvemmat laserit tuottavat haasteita silmäturvallisuudelle ja esimerkiksi lentokoneiden häirinnästä laserosoittimilla saadaan lukea kuukausittain lehdistä. Sama ongelma on odotettavissa autoissa, kun niiden automaattitaso 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](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 (s. 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-Uudella maalla. 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 Recycles Europe. Noudettu osoitteesta [https://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/PRE\\_blueprint%20packaging%20waste\\_Final%20report%202017.pdf](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). Trends 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](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 (s. 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-200002884484.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 metsäkone-nosturin mallipredktiivinen säätö. Espoo: Aalto University. Noudettu osoitteesta <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/17669/isbn9789526063256.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kincade, K., Noguee, A., Overton, G., Belforte, D. & Holton, C. (2018). Annual Laser Market Re-view & Forecast: Lasers enabling lasers, Laser Focus World, Issue 1.
- 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](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), (s. 436-444).
- Leibinger, P (2018). Laser the New Business Machine. AKL- International Laser Technology Congress, May 2-4, 2018 Aachen. Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT.
- 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), (s. 238-243.).
- Mohammad, et al. (2016). Optics in Our Time. Springer Open.
- Photonics Finland, Tekes ja Finpro. (2016). Kansallinen fotonikkatoimialan 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 Cultural 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](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), Itä-Suomen yliopisto  
Esko Herrala, FM, Specim Oy, Spectral Imaging Oy  
Henrik Heräjärvä, 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), Itä-Suomen yliopisto  
Kari Kola, toimitusjohtaja, Valoparta Oy  
Jouko Korppi-Tommola, professori (emeritus), Jyväskylän yliopisto  
Matti Kutila, erikoistutkija, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
Reijo Lappalainen, professori (biomateriaalitekniikka), Itä-Suomen yliopisto Toni Laurila, teknologiajohtaja, Sensmet Oy  
Arttu Luukanen, toimitusjohtaja, Asqella Oy  
Martti Kauranen, professori (fysiikka), Tampereen teknillinen yliopisto  
Elina Oksanen, professori (kasvifysiologia ja bioteknologia), Itä-Suomen yliopisto  
Juha Purmonen, toiminnanjohtaja, Photonics Finland  
Antti Räisänen, professori, Aalto-yliopisto  
Jyrki Saarinen, puheenjohtaja, Photonics Finland; professori (fotoniikan sovellukset ja kaupallistaminen) ja Fotoniikan instituutin johtaja, Itä-Suomen yliopisto  
Eero Salmelin, johtaja, Imaging and Video Technology, Huawei  
Antti Salminen, professori (lasertyöstö), Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Petri Stenberg, tuotantojohtaja, Dispelix Oy  
Timo Tokola, professori (metsätietojärjestelmät), Itä-Suomen yliopisto  
Heikki Turtiainen, senior scientist, Vaisala Oy  
Petteri Uusimaa, toimitusjohtaja, Modulight Oy  
Pasi Vahimaa, professori, Itä-Suomen yliopisto  
Mikko Vastaranta, apulaisprofessori (kaukokartoitus), Itä-Suomen yliopisto  
Arto Visala, professori, Aalto-yliopisto

## **Photonics Finlandin hallitus**

Puheenjohtaja Jyrki Saarinen, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu  
Varapuheenjohtaja Niklas Saxen, Edmund Optics Oy, Helsinki  
Veli-Pekka Leppänen, Nanocomp Oy, Joensuu  
Varalla: Samuli Siitonen, Nanocomp Oy, Joensuu  
Timo Vuorenperä, 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, Itä-Suomen yliopisto, 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, Itä-Suomen yliopisto

Juha Purmonen, toiminnanjohtaja, Photonics Finland



# EDUSKUNTA RIKSDAGEN

ISBN 978-951-53-3720-7 (NID.) • ISBN 978-951-53-3721-4 (PDF)  
ISSN 2342-6594 (PAINETTU) • ISSN 2342-6608 (VERKKOJULKAISU)