



# Bittejä ja biomassaa

Tiekartta digitalisaation  
vauhdittamaan biotaloutteen

RESEARCH HIGHLIGHTS • VISIONS • SCIENCE • TECHNOLOGY

11

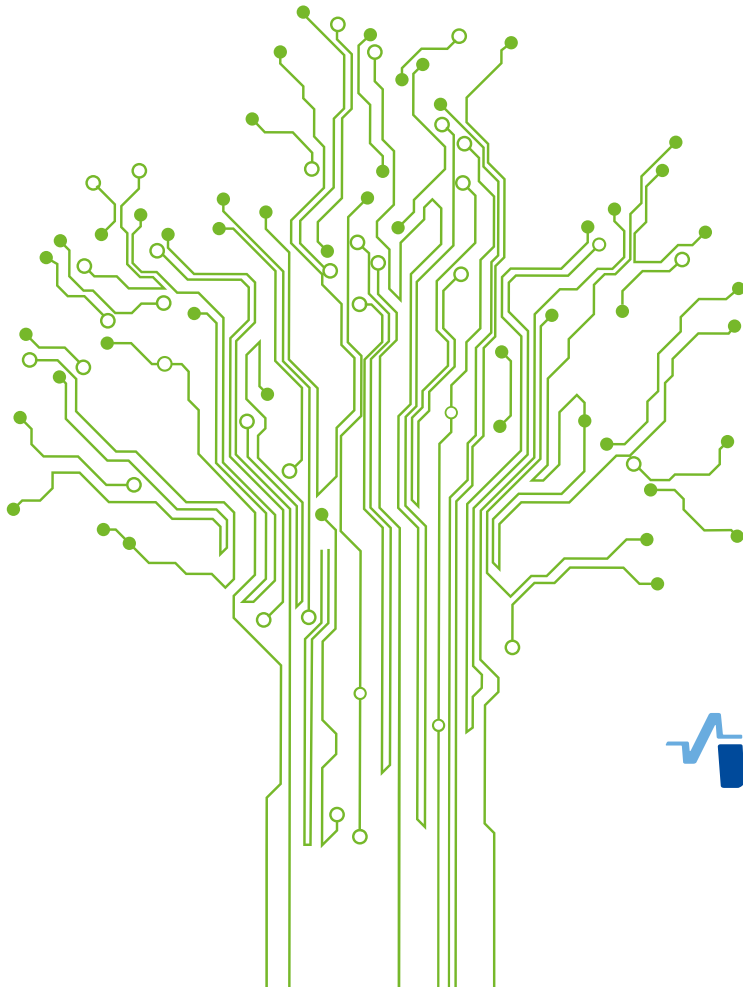
**Luke**  
LUONNONVARAKESKUS

**VTT**



# Bittejä ja biomassaa

## Tiekartta digitalisaation vauhdittamaan biotalouteen



ISBN 978-951-38-8604-2 (painettu)  
ISBN 978-951-38-8605-9 (sähköinen)

VTT Visions 11

ISSN-L 2242-1157  
ISSN 2242-1157 (painettu)  
ISSN 2242-1165 (sähköinen)  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8605-9>

Copyright © VTT 2017

### **JULKAISIJA**

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
PL 1000, FI-02044 VTT  
Puh. +358 20 722 111

**TOIMITUSKUNTA:** Anna Leinonen (VTT), Maria Åkerman (VTT), Kristiina Kruus (VTT),  
Antti Asikainen (Luke), Timo Muhonen (Luke), Johanna Kohl (VTT)

**KIRJOITTAJAT:** Jari Ala-Illomäki (Luke), Mikko Arvas (VTT), Juha Backman (Luke),  
Jarkko Hantula (Luke), Katja Holmala (Luke), Tuomas Häme (VTT), Pekka Isto (VTT),  
Annika Kangas (Luke), Raija Lantto (VTT), Kaisa Nieminen (Luke), Emilia Nordlund (VTT),  
Matti Pastell (Luke), Rainer Peltola (Luke), Liisa Pesonen (Luke), Juha-Pekka Pitkänen (VTT),  
Tuula Piri (Luke), Jyrki Pusenius (Luke), Anu Seisto (VTT), Pasi Suomi (Luke),  
Mikko Utriainen (VTT), Heli Viiri (Luke), Kari Väättäinen (Luke)

**TAITTO:** ID BBN

**PAINO:** Juvenes Print, Helsinki 2017

## SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE	4
1. KOHTI ÄLYKÄSTÄ BIOTALOUTTA	7
2. DIGITALISAATIO UUSIEN POLKUJEN AVAAJANA	11
3. MUUTOSPOLUT JA TIEKARTTA	25
Muutospolku 1: Älykäs biomassavirtojen hallinta	26
Muutospolku 2: Datavetoinen biotalous	32
Muutospolku 3: Verkottunut ja yhteistoiminnallinen luonnonvaratalous	38
4. SEURAAVAT ASKELEET KOHTI ÄLYKÄSTÄ BIOTALOUTTA	43
Toimijoiden yhteistyöllä kohti digitalisoitua biotaloutta	46
Lähteet	50
Tiivistelmä	52

# Esipuhe



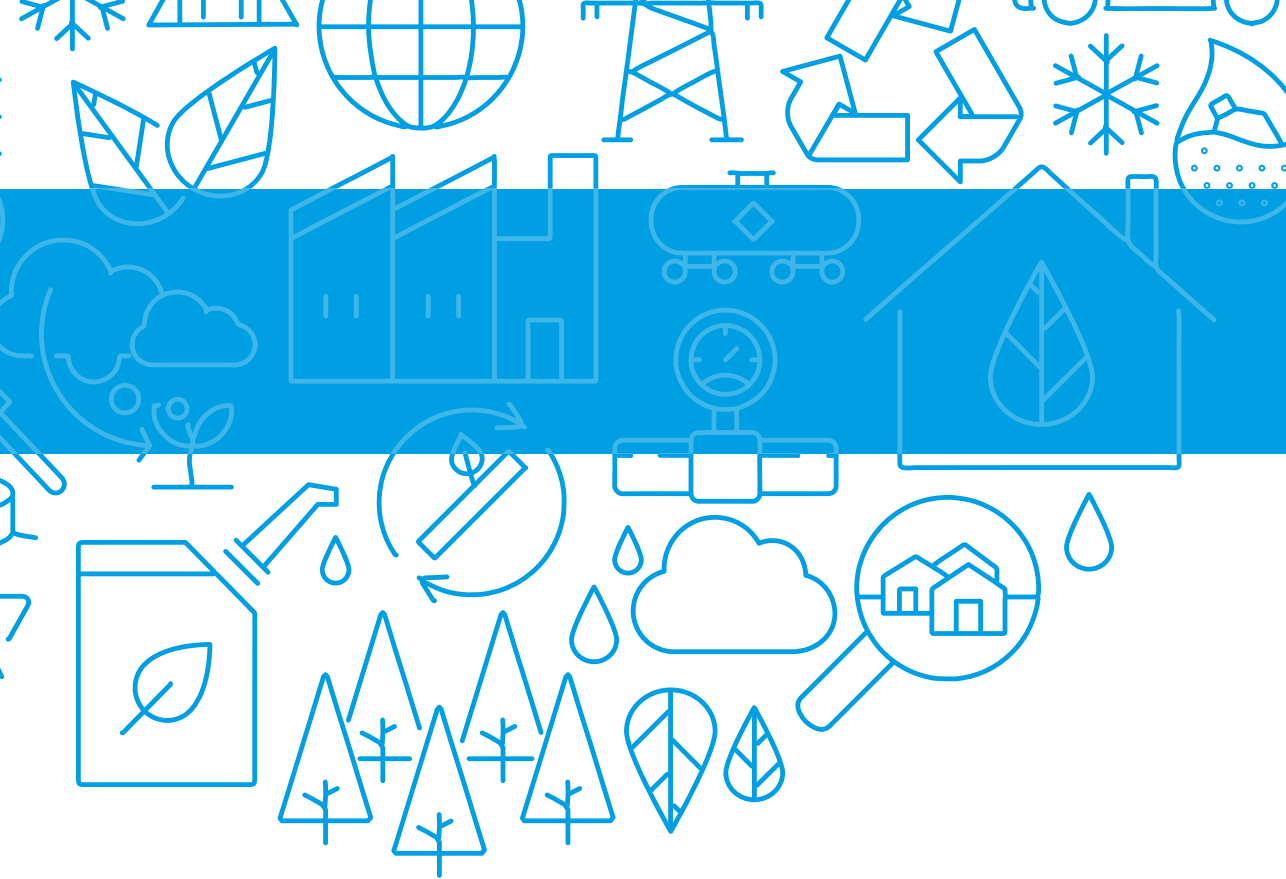
Digitaalinen murros ja siirtymä fossiilitaloudesta biotalouteen muuttavat parhaillaan talouden toimintaympäristöä perustavanlaatuisesti. Digitalisaatiosta vauhtia biotalouteen -tiekarttatyö tarkastelee, kuinka siirtymä älykkääseen biomassavirtojen ja aineettomien ekosysteemipalvelujen hyödyntämiseen voi tapahtua niin, että se samalla edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä luo uusia elinkeinomahdollisuuksia maa- ja metsätalouden alkutuotantoon ja jatkojalostukseen.

Digitalisaatiolla vauhtia biotalouteen -tiekartta on tehty Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n (VTT) ja Luonnonvarakeskuksen (Luke) yhteistyönä. Luonnonvarakeskus ja VTT ovat biotalouteen liittyvän osaamisen kärkitoimijoita Suomessa. Luonnonvarakeskuksella on vahvaa osaamista biotalouden perustan muodostavassa alkutuotannossa, ja VTT:llä on erityisosaamista

luonnonvarojen jatkojalostuksessa sekä digitaalisten ratkaisujen tuottamisessa.

Käsillä oleva tiekartta jatkaa molemmissa organisaatioissa tehtyä työtä uusien, biopohjaisiin hyödykkeisiin ja ekosysteemipalveluihin perustuvien visioiden rakentamisessa. Esimerkkejä tehdyistä töistä ovat muun muassa VTT:n vuonna 2017 julkaisema Elintarviketalous 4.0 -tiekartta, vuonna 2016 julkaistu Policy Brief kiertotaloudesta, Luonnonvarakeskuksessa vuonna 2016 laadittu katsaus biotalouden nykytilasta ja kehitystrendeistä, vuonna 2015 julkaistu Kasvintuotantojärjestelmien digitalisaation tiekartta sekä samana vuonna VTT:n ja Luonnonvarakeskuksen yhteistyönä tuotettu Tiekartta Suomen proteiiniomavaraisuuden tukemiseksi.

Digitalisaatiosta vauhtia biotalouteen -tiekartta tehtiin osana VTT:n Tie biotalouteen



-kärki-ohjelmaa ja Luonnonvarakeskuksen Pohjoinen Vihreä Biotalous -ohjelmaa. Tiekartan pohjana on ollut VTT:n ja Luonnonvarakeskuksen ansaintuntijoiden yhteistyö kahdessa eri työpajassa (5.4.2016 ja 28.10.2016) sekä temaattisten työryhmien itsenäinen työskentely työpajojen välisenä aikana. Työskentely keskittyi maa- ja metsätalouden biomassavirtoihin, minkä vuoksi tiekartassa ei käsitellä sinistä biotaloutta. Esitetyt muutospolut ja sovellusesimerkit on rakennettu aineistolähtöisesti työryhmien tuotamasta materiaalista.

Painettua julkaisua täydentää verkosta löytyvä liiteaineisto, joka sisältää sovellusesimerkkejä biotalouden digitalisaatiosta (ks. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2017/V11.pdf>). Liiteraportin ovat kirjoittaneet VTT:n tutkijat Mikko Arvas, Tuomas Häme, Pekka Isto, Kristiina Kruus, Raija Lantto,

Anna Leinonen, Emilia Nordlund, Juha-Pekka Pitkänen, Anu Seisto ja Mikko Utrainen sekä Luonnonvarakeskuksen tutkijat Jari Ala-Illomäki, Antti Asikainen, Juha Backman, Jarkko Hantula, Katja Holmala, Annika Kangas, Timo Muhonen, Kaisa Nieminen, Matti Pastell, Rainer Peltola, Liisa Pesonen, Tuula Piri, Jyrki Pusenius, Pasi Suomi, Heli Viiri ja Kari Väättäinen.

Kiitämme kaikkia tiekartan valmisteluun osallistuneita asiantuntijoita työpanoksesta sekä uusista, innovatiivisista avauksista.

Espoossa, Tampereella ja Joensuussa 1.3.2017

Toimituskunta

Anna Leinonen (toim.), VTT; Maria Åkerman (toim.), VTT; Kristiina Kruus, VTT; Antti Asikainen, Luke; Timo Muhonen, Luke ja Johanna Kohl, VTT





# 1. Kohti älykästä biotaloutta

Suomen kansallisen biotalousstrategian<sup>1</sup> tavoitteena on nostaa Suomi biotalouden kansainväliseksi edelläkävijäksi, joka pystyy tarjoamaan ratkaisuja ehtyvien luonnonvarojen, ilmastonmuutoksen ja väestönkasvun aiheuttamiin globaalin talousjärjestelmän muutospainaisiin. Biotalous ytimessä on siirtymä fossiilitaloudesta uusiutuvan energian ja uusiutuviin luonnonvaroihin nojaavien materiaalien ja kemikaalien hyödyntämiseen.

Väestönkasvuennusteiden mukaan ruuan-tuotannon tarve kasvaa 60 % vuoteen 2050 mennessä. Tähän tarpeeseen vastaaminen edellyttää muutoksia ruokajärjestelmissä sekä ruokavalioiden muuntamista kasvispainotteisemmaksi. Olennainen osa biotalouden edistymistä ovat myös uusien biopohjaisten tuotteiden ja palvelujen kehittäminen sekä aineettomien ekosysteempipalvelujen monipuolinen hyödyntäminen.

*Biotalous ytimessä on siirtymä fossiilitaloudesta uusiutuvan energian ja uusiutuviin luonnonvaroihin nojaavien materiaalien ja kemikaalien hyödyntämiseen.*

Vuonna 2014 Suomen biotalouden tuotos oli 63 miljardia euroa ja alalla toimivien työllisten määrä yli 330 000 henkilöä<sup>2</sup>. Suomen bruttokansantuotteesta biotalouden toiminnot kattoivat

12 % ja viennin arvosta alan tuotteet ja palvelut reilun viidenneksen. Biotalous osuu kansantaloutemme tuotoksesta oli 16 % (kuva 1). Pääosa tuotoksesta muodostuu puupohjaisten jalosteiden ja energian tuotannosta. Eri toimialoista biotalous työllisti merkittävimmin maataloudessa, rakentamisessa sekä metsä- ja elintarviketeollisuudessa.

Biotalous toimintoilla on siis jo nyt Suomessa vahva perusta. Siirtymä talousjärjestelmään, joka nojaisi fossiilisten polttoaineiden ja uusiutumattomien luonnonvarojen hyödyntämisen sijaan uusiutuviin raaka-aineisiin, on kuitenkin radikaalimpi kuin olemassa olevan biotaloussektorin laajeneminen. Kyseessä ei ole yksinomaan biomassavirtoihin ja ekosysteemi-palveluihin perustuvan tuotannon tehostaminen vaan perustavanlaatuisen talouden uudelleen järjestäminen, joka edellyttää toimialojen välistä yhteistyötä ja uusien arvonluontimahdollisuuksien ennakkoluulotonta etsimistä. Toistaiseksi toimialojen välisiä silloja ei Suomessa vielä ole biotalouden alalla juuri onnistuttu ylittämään<sup>3</sup>.

Siirtymä biotalouteen ei tapahdu hetkessä. Uudenlaisen osaamisen ja yhteistyöverkostojen rakentaminen ja niiden pohjalta nousevien innovaatioiden kehittäminen edellyttävät pitkäjänteistä strategista työtä.

Biotalous toivotaan paljon uusia liiketoimintamahdollisuuksia erityisesti nykyistä laajemman ja monipuolisemman tuote- ja palvelutarjonnan sekä jalostavan teollisuuden sivuvirtoja hyödyntävän kiertotalouden parissa.

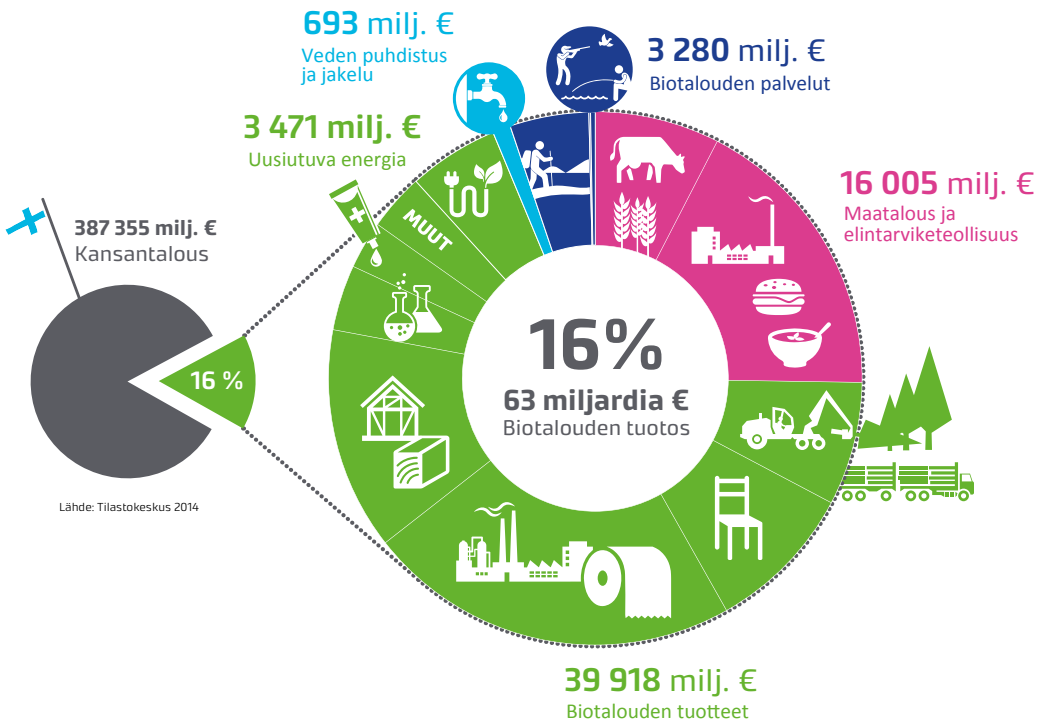
Suomeen onkin syntymässä uudenlaista biotalouden liiketoimintaa:

- ST1 rakentaa parhaillaan Kajaaniin bioetanolinlaitosta, joka hyödyntää teollisuuden jätevirtoja eli sahanpurua ja lietteitä.
- Metsä Fibre rakentaa Äänekoskelle monituotebiojalostamo, joka tuottaa sellun ohella monipuolisesti myös muita biotuotteita, kuten mäntyöljyä, tärpähtiä, biokomposiittia ja biokaasua, tuotekaasua ja rikkihappoa.
- UPM jalostaa mäntyöljyä liikenteen polttoaineeksi.
- Stora Enso on ottanut Sunilan tehtailla käyttöön LignoBoost-tekniikan, jolla puhdistetaan kraft-ligniiniä.
- Lumene käyttää suomalaisista marjoista saatavia uutteita ja komponentteja kosmetiikkaan.

Alalle on syntynyt myös start-up-yrityksiä, kuten VTT:n spin-of-yritys Paptic, joka valmistaa seluloosasta muovikassien korvaajaa.

*Biotalous alan teollinen murros ja asiakaslähtöiseen liiketoimintaan nojaava palvelullistuminen ovat vasta alkamassa ja hakevat muotoaan.*

Biotalousalan kehitystä on pyritty edistämään erilaisilla politiikkatoimilla, kuten uudistamalla jätelainsäädäntöä, tukemalla tuote- ja palvelukehitystä investointituilla sekä panostamalla alan tutkimukseen. Tärkeitä välineitä ovat olleet myös hallituksen kärkihjelmat: Hiilettömään,



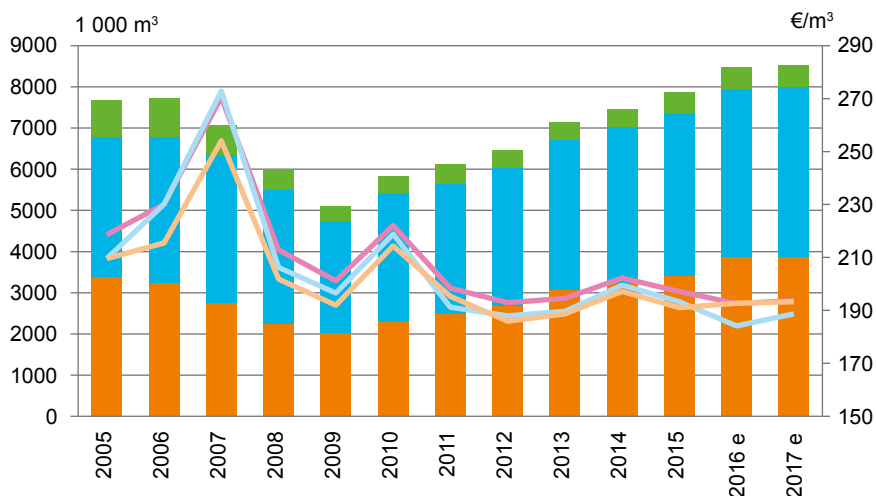
Kuva 1. Biotalousalan toimintojen ja palvelujen osuus Suomen kansantalouden tuotoksesta vuonna 2014<sup>4</sup>.

puhtaaseen, uusiutuvaan energiaan kustannustehokkaasti, Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä, Suomalainen ruoantuotanto kannattavaksi, Kauppatase ja sininen biotalous nouseen sekä Luontopolitiikkaa luottamuksella ja reiluin keinoin<sup>5</sup>. Lisäksi työ- ja elinkeinoministeriö järjesti vuonna 2014 kansainvälisen biojalostamokilpailun tukemaan ja vauhdittamaan lupaavia biotalousyrityksiä<sup>6</sup>.

Samaan aikaan biotalouden edistämistoimien ja uusien, lupaavien biotalouden liiketoimintamallien kehittämisen rinnalla biotalouden perustan muodostavat maa- ja metsätalous sekä raaka-aineita jalostava teollisuus kärsivät kuitenkin kannattavuusongelmista. Tämä vaikuttaa myös tuottajien investointihalukkuuteen ja alan houkuttelevuuteen tulevaisuuden työympäristönä.

Metsäteollisuudessa on tosin käynnissä voimakas investointitrendi, minkä seurauksena puun käytön arvioidaan kasvavan maassamme 10–15 miljoonalla kuutiometrillä vuodessa. Myös sahateollisuus on elpynyt, ja sen tuotannon vienti nousi ennätykseen v. 2016 (kuva 2). Siten esimerkiksi puunjalostuksen sivuvirtoja on jatkossa saatavilla nykyistä enemmän biotalouden raaka-aineiksi.

Vaikka biotalouden yhteydessä puhutaan paljon alan uusista kehitysmahdollisuuksista, biojalostamoista, clean tech -viennistä ja uusista luonnonvarapalveluista, keskittyy biotalouden toiminta edelleen paljolti perinteiseen maa- ja metsätalouden raaka-ainetuotantoon ja metsä- ja elintarviketeollisuuden prosesseihin. Biotalouden alan teollinen murros ja asiakaslähtöiseen liiketoimintaan nojaava palvelullistuminen ovat vasta alkamassa ja hakevat muotoaan.




**Kuva 2. Havusahatavaran viennin määrä ja vientihinta 2005–2017 (ennuste) vuoden 2015 hinnoin (tukkuhintaaindeksi).**

Lähde: Asikainen, A., Ylitalo, E., & Jaakkonen, A.-K. 2016. *Metsiin perustuva biotalous – Suomen talouden keskeinen moottori. Infokortti. Luonnonvarakeskus. 2 s.*  
[http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537476/luke-luobio\\_59\\_2016\\_infokortti.pdf?sequence=4](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537476/luke-luobio_59_2016_infokortti.pdf?sequence=4)

- Höyläsahatavaran vienti
- Mäntysahatavaran vienti
- Kuusisahatavaran vienti
- Havusahatavaran keskimääräinen vientihinta
- Mäntysahatavaran vientihinta
- Kuusisahatavaran vientihinta



## 2. Digitalisaatio uusien polkujen avaajana



Samaan aikaan kun Suomessa etsitään keinoja edistää siirtymää biotalouteen, myös digitalisaatio muuttaa monin tavoin talouden toimintaympäristöä. Digitalisaatio tarkoittaa tietotekniikan hyödyntämistä niin, että tieto- ja viestintätekniikka sulautuu yhä useampaan arkiseen asiaan sekä yksilöiden että yritysten arjessa<sup>7</sup>. Digitaalinen murros muuttaa perustavanlaatuisesti ihmisten, yritysten, julkisten organisaatioiden ja kansalaisyhteiskunnan toimintaa. Elämme parhaillaan murroskautta, jossa uusia toimintamalleja haetaan ja muovataan.

Digitalisaation taustalla on yhtäaikainen kehitys usealla tieto- ja viestintäteknologian alueella. Käytettävissä oleva laskentateho on kasvanut, ja samanaikaisesti anturi- ja radiotekniikan fyysinen koko on pienentynyt ja hinta halventunut. Globaalit tietoverkot ovat entistä nopeampia ja vakaampia, ja mobiiliverkot ja langattomat lähiverkot ovat kehittyneet. Datakeskukset ja niiden tarjoamat pilvipalvelut ovat mahdollistaneet palveluiden nopean ja helpon skaalattavuuden, ja ohjelmistojen kehityksen tuottavuus on parantunut. Tämän teknologisen kehityksen perustalle voidaan rakentaa uusia toimintamalleja liiketoiminnassa, julkisessa hallinnossa ja kansalaistoiminnassa.

*Digitaalinen murros muuttaa perustavanlaatuisesti ihmisten, yritysten, julkisten organisaatioiden ja kansalaisyhteiskunnan toimintaa.*

## Digitalisaation keskeistä sanastoa<sup>8</sup>

- **Big data ja data-analyysi:** Big data viittaa digitalisaation peruspilariin eli valtavaan tietomäärään, jota on mahdollista kerätä kehittyneiden sensoreiden ja verkottuneiden laitteiden avulla. Olemassa olevan datan hyödyntämiseen tarvitaan data-analyysiä, jonka mahdollistavat mm. lisääntynyt laskentateho ja ohjelmointitaitojen kehittyminen.
- **Mobiliteetti:** Kannettavien, laskentatehoisten ja verkkovalmiiden älylaitteiden yleistymisen luo uudenlaisen toimintaympäristön, jota voidaan luonnehtia mobiliteetin, liikkuvuuden, kautta. Aika ja paikka menettävät merkitystään, kun palvelut tavoittavat ihmiset älylaitteiden kautta. Mobiliteetti auttaa myös omaksumaan uudenlaisia työn organisoinnin ja tiedonvälityksen toimintatapoja.
- **Pilvipalvelut ja tietoverkot:** Pilvipalvelut liittyvät digitaalisen maailman infrastruktuuriratkaisuihin. Pilvipalvelut siirtävät tietojen varastoinnin ja hallinnan paikallisilta palvelimilta isoihin datakeskuksiin. Pilvipalveluiden tuoma hyöty syntyy palvelun nopean käyttöönoton ja skaalautuvuuden seurauksena: toiminnan laajentaminen ei edellytä organisaatiolta enää hitaita ja kalliita IT-investointeja.
- **Esineiden internet** (Internet of Things, IoT): Tiedonhallinnan kokonaiskustannusten vähentyminen mahdollistaa sen, että arkipäiväisiäkin esineitä voidaan liittää tietoverkkoon. Esineiden internetillä viitataan tilanteeseen, jossa entistä useammat laitteet on kytketty tietoverkkoon ja laitteet voivat kommunikoida myös keskenään. Jälkimmäistä tilannetta voidaan kuvata myös ilmaisulla M2M (machine to machine) erotuksena ihmisten välisestä tai välittämästä kommunikaatiosta.
- **Avoin data ja My Data:** Koska datasta muodostuu digitalisaatiossa keskeinen hyödyke, sillä on myös taloudellista arvoa. Avoimen datan ajatuksena on avata yhteiskunnan varoilla kerättyä tietoa yleiseen käyttöön, jotta voi syntyä uusia, yhteiskuntaa ja kansalaisia hyödyttäviä kaupallisia ehdoin toimivia palveluita. My Data taas viittaa periaatteeseen, että jokaisella yksilöllä pitäisi olla omistusoikeus häntä itseään ja omaa käyttäytymistään käsittelevään tietoon.
- **Digitaaliset ekosysteemit:** Digitaalisilla ekosysteemeillä viitataan verkostoihin, joissa yritykset toimivat yhdessä eri rooleissa ja voivat sitä kautta kehittyä paremmaksi omassa erityisosaamisessaan. Digitaaliset ekosysteemit voivat muuttua ja kehittyä hyvinkin nopeasti, ja toimijoiden roolit voivat vaihdella ajan kuluessa. Globaali ulottuvuus on olennainen osa niiden toimintaa. Samankaltaisiin ilmiöihin on viitattu aiemmin myös arvoverkosto- ja klusteri-käsitteillä.

- **Digitaaliset alustat ja alustatalous<sup>9</sup>:** Digitaaliset alustat ovat tietoteknisiä järjestelmiä, joiden avulla eri toimijat (käyttäjät, tarjoajat ja muut sidosryhmät yli organisaatorajojen) toteuttavat lisäarvoa tuottavaa toimintaa. Alustoihin liittyvät teknisen ratkaisun lisäksi myös yhteiset toimintaperiaatteet, joiden perusteella eri toimijat luovat, tarjoavat ja ylläpitävät toisiaan täydentäviä tuotteita ja palveluita. Alustataloudessa digitaalisiin alustoihin nojaava liiketoiminta on saavuttanut merkittävän tai määräävän markkina-aseman.
- **Joukkoistaminen:** Joukkoistamisella viitataan internetin ja mobiililaitteiden mahdollistamaan toimintatapaan, jossa työtehtävä, tiedonkeruu tai rahoituksen kerääminen voidaan jakaa laajalle joukolle ihmisiä. Joukkoistamisessa tehdystä työstä ei tarjota perinteistä rahapalkkaa, vaan osallistujia motivoi joko yhteisössä saatu arvostus tai mahdollisuus saada myöhemmin vastineeksi hyötyä esimerkiksi parempien palveluiden muodossa.
- **Digitaalinen kuilu:** Digitalisaation kääntöpuoleksi voi muodostua digitaalinen kuilu, joka erottaa ihmisryhmiä sen mukaan, millaiset digitaaliset taidot ja teknologiat heillä on käytössään. Digitaalinen kuilu voi toimia myös digitalisaatiota hidastavana tekijänä, jos uusia toimintamalleja ei oteta käyttöön sen vuoksi, että vanhoista rakenteista ei voida luopua kansalaisten tasavertaisuuden takia.
- **Kyberturvallisuus, tietoturvallisuus<sup>10</sup>:** Digitalisoituneeseen maailmaan liittyy myös haavoittuvuuksia ja uhkakuvia. Kun yhteiskunnan toiminnan kannalta keskeiset järjestelmät, kuten sähkön ja veden jakelu tai rahaliikenne, ovat riippuvaisia tietoverkoista, on niiden toiminta helppo lamauttaa hyökkäämällä tietoverkkoihin. Kyberturvallisuudella viitataan yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisten järjestelmien turvaamiseen. Tietoturvallisuus viittaa rajatun tiedon säilyttämisen ja siirtämisen turvaamiseen.

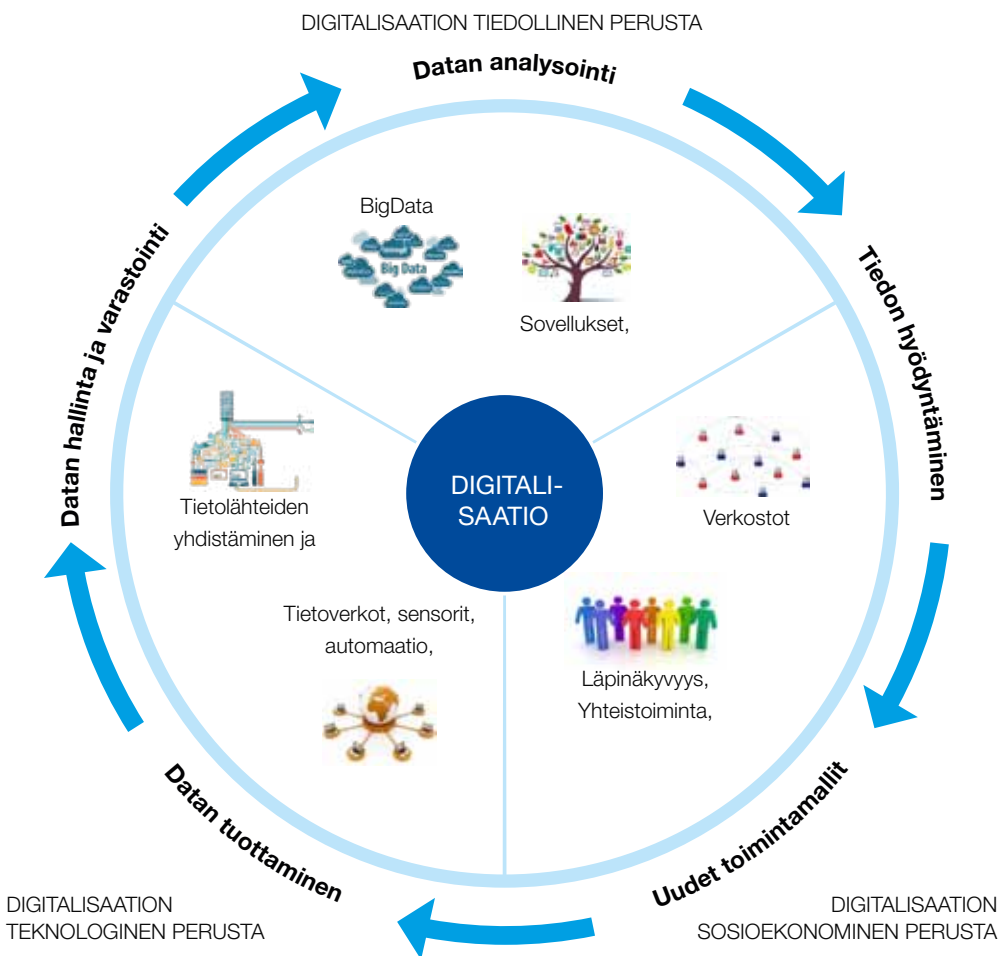
Avoin data  
Tietoverkot  
Digitaalinen kuilu  
Digitaaliset alustat  
Esineiden internet  
Tietoturvallisuus  
Big data  
Digitaalinen kuilu  
Digitaaliset ekosysteemit  
Pilvipalvelut  
Alustatalous  
Mobiiliteetti  
Kyberturvallisuust  
My Data  
Joukkoistaminen  
Data-analyysi  
Tietoverkot  
Esineiden internet

Digitalisaatosta puhuttaessa ei voida rajoittua pelkästään teknologiseen muutokseen. Digitalisaatio muuttaa tiedon roolia taloudellisen toiminnan mahdollistajana. Siihen liittyy perustavanlaatuisen toimintatapojen muutos, jossa digitaalisia ratkaisuja hyödynnetään laajamittaisesti yksilön, organisaation ja yhteiskunnan toiminnassa<sup>11</sup>. Lähestymme tässä tiekarattyössä digitalisaation mahdollisuuksia edistää bionaloutta kuvan 3 digitalisaatiopyörän avulla.

Digitalisaation teknologinen perusta liittyy kuvassa 3 esitetyn kaltaisesti sensori- ja mittausteknologioiden, tietoverkkojen ja

laskentakapasiteetin paranemisen kaltaisiin kehityssakeleisiin. Ne mahdollistavat mittausdatan keräämisen sellaisistakin kohteista, joita ei aiemmin pystytty teknologisesti tarkkailemaan. Datan hyödyntämisen kannalta on olennaista myös se, että kehitetään pilvipalveluita, jotka mahdollistavat datan varastoinnin ja datalähteiden yhdistämisen.

Data sellaisenaan ei kuitenkaan vielä tuota uutta lisäarvoa. Data muuttuu uudenlaista toimintaa mahdollistavaksi tiedoksi analyysin avulla, ja sen vuoksi digitalisaatiokehitys riippuu myös analysointiratkaisujen ja sovelluskehityksen



**Kuva 3. Digitalisaatiopyörä: teknologian kehitys mahdollistaa uusia toimintamalleja, jotka edellyttävät uusia teknologisia ja organisatorisia ratkaisuja.**



edistymisestä. Data-analyysin tehokas hyödyntäminen edellyttää, että saatavilla olevan datan laatu ja tarkkuus on riittävää. Viittaamme näihin erityisosaamista vaativiin asioihin digitalisaation tiedollisena perustana.

## *Biotalousdigitalisoituminen edellyttää datavetoisen biotalouden eettisten pelisääntöjen täsmennystä ja niitä koskevaa avointa yhteiskunnallista keskustelua.*

Lopulta siirrytään tiedon hyödyntämisen kenttään, joka edellyttää – tai mahdollistaa – uudenlaisten toimintamallien kehittämistä ja omaksumista. Esimerkkejä tällaisista toimintamallien muutoksista voivat olla erilaiset verkostot tai yhteistoiminnalliset toimintamallit sekä läpinäkyvyyden ja avoimuuden lisääntyminen tai kokeilukulttuurin edistäminen. Nämä toimintamalleihin liittyvät muutokset ovat osa digitalisaation sosioekonomista perustaa.

### **Digitalisaatio biotalouden vauhdittajana**

Miten digitalisaatio sitten liittyy biotalouteen, kun se ymmärretään edellä kuvatulla tavalla teknologian kehityksen ja uusien toimintamallien alati pyörivänä kehänä? Digitalisaation hyödyntäminen parhaalla mahdollisella tavalla biotaloudessa ei tarkoita ainoastaan nykyisten prosessien tehostamista ja manuaalisten askelten vähentämistä digitaalisten työkalujen avulla, vaan uudenlaisten biotalouden palvelujen asiakaslähtöistä suunnittelua sekä liiketoiminnassa että julkisessa hallinnossa.

Lisäksi verkottuneet toimintamallit saattavat muuttaa totuttuja rooleja tuottajien ja kuluttajien välillä, kun kuluttajat voivat uusien teknologioiden avulla osallistua myös tuotteiden tuottamiseen tai räätälöintiin. Tällaiseen kuluttajan ja tuottajan yhdistyneeseen rooliin viitataan toisinaan käsitteellä *prosumeri* (englanniksi *prosumer*).

Esittelemme esimerkkejä uusista toimintatavoista muutospolkujen yhteydessä luvussa 3.

Asiakas- ja kansalaiskeskeisten toimintamallien lisäksi biotalouden digitaaliseen murrokseen liittyy vakiintuneiden arvoketjujen murros. Halpevat sensorit, pilvipalvelut, koneiden internet, kehittyneet analyysitekniikat ja koneoppiminen tarjoavat mahdollisuuden kattavampien tietovirtojen täsmähyödyntämiseen. Lisäksi erilaiset innovaatio- ja palvelualustat luovat edellytyksiä uudelaistulle, toimialarajat ylittävälle kumppanuukselle ja verkottuneille liiketoimintamalleille. Nämä mallit murtavat totuttuja tuotannon arvoketjuja, sillä ne vähentävät esimerkiksi tuotteita markkinoille välittävien välikäsien tarvetta.

Biotalousdigitalisaatiosta puhuttaessa on olennaista ymmärtää, että digitaalinen murros ja siirtyminen kohti biotaloutta ovat yhtä aikaa käynnissä olevia systeemisiä muutosprosesseja, jotka saattavat muuttaa hyvinkin radikaalisti talouden rakenteita ja yhteiskunnallisia toimijasuhteita. Systeemisille muutoksille ominaiseen tapaan murroksessa on sekä voittajia että häviäjiä.

Teknologisten ratkaisujen lisäksi digitalisaatio tuottaa uudenlaisia odotuksia biotalouden toimijoille. Yritysten on entistä paremmin valmistauduttava vastaamaan tuotannon eettisyyttä, ympäristöystävällisyyttä ja hyvinvointivaikutuksia koskeviin asiakkaiden odotuksiin. Tiedon määrän lisääntyminen ja seurantateknologioiden arkipäiväistyminen lisäävät paineita tuotantoprosessien läpinäkyvyydelle. Kasvava informaation määrä lisää myös riskiä tiedon väärinkäyttöön ja tuo mukanaan yksityisyydensuojan sekä tiedon omistusoikeuksiin liittyviä huolia. Biotalousdigitalisoituminen edellyttää näin datavetoisen biotalouden eettisten pelisääntöjen täsmennystä ja niitä koskevaa avointa yhteiskunnallista keskustelua.

Kuvassa 3 esitetyn digitalisaatiopyörän perusajatus on, että muutos kohti digitalisaatiota voi saada alkunsa mistä tahansa kohdasta pyörän kehällä. Tiekarttatyöskentelyn aikana tunnistimme tällaisia muutoksen mahdollisuuksia ja digitalisaatiokehityksen ajureita. Seuraavaksi esittelemme kolme esimerkkiä, joissa kehityksen taustalla voidaan nähdä digitalisaation eri peruspilarit: teknologinen, tiedollinen ja sosioekonominen.

## **Teknologinen kehitys muutoksen ajurina: Digitalisoitu viljely**

Maataloudessa on meneillään muutosvaihe, jonka ajurina toimii digitalisointikehitys<sup>12</sup>. Koneissa olevien antureiden määrä lisääntyy koko ajan, maanviljelyn tietojärjestelmät kehittyvät, ja eri järjestelmät integroituvat keskenään. Tämä kehitys mahdollistaa uusia ratkaisuja, joiden avulla osa viljelijän päätöksenteosta – ja tulevaisuudessa myös työtehtävistä – voidaan siirtää koneille.

## **Tiedollinen edistyminen muutoksen ajurina: Genominen big data**

Geeniteknologian kehittyminen 1980-luvulta alkaen ja samanaikainen laskentatehon huomattava parantuminen avasivat huimia mahdollisuuksia geenitiedon digitalisoimiselle ja geneettisen tietomäärän kasvattamiselle. Tietämyksen lisääntyminen ja laitekehitys siirtävät geenidatan muodostamisen tulevaisuudessa laboratorioista tavallisten ihmisten ulottuville. Kehityksen seurauksena syntyy genomista big dataa ja elävien asioiden internet<sup>14</sup>.

## **Sosioekonomiset muutokset kehityksen ajurina: Joukkoistaminen luonnonvaratiedon hallinnassa**

Valtion organisaatioissa, kuten Elintarviketurvallisuusvirastossa, Luonnonvarakeskuksessa, Suomen ympäristökeskuksessa ja ELY-keskuksissa, on tehty resurssileikkauksia käytännön seurantoihin, kenttätutkimukseen ja henkilöstön määrään. Leikkaukset ovat johtaneet siihen, että esimerkiksi vieras- ja tulokaslajien sekä metsätuhojen havainnointia ei voida enää tehdä tarpeeksi tehokkaasti organisaatioiden omin voimin. Siksi on syntynyt tarve kehittää digitaalisia järjestelmiä, jotka mahdollistavat kansalaisten osallistumisen havaintoaineistojen tuottamiseen.

Digitalisaatio ja joukkoistaminen luovat uusia mahdollisuuksia toteuttaa luonnonvarojen hallintaan ja aktiiviseen seurantaan liittyviä palveluita. Joukkoistamisesta syntyvä arvo ja siihen soveltuvat palvelut täytyy kuitenkin analysoida tapauskohtaisesti ennen kuin niitä voidaan hyödyntää täysimittaisesti. Tällainen muutos edellyttää koko järjestelmän uudelleen virittämistä uudenlaiseen toimintatapaan<sup>20</sup>.

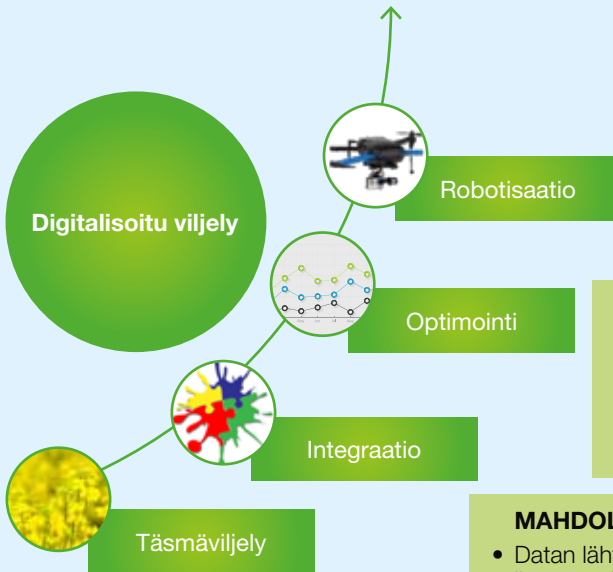
## Case: Digitalisoitu viljely

Tulevaisuuden maataloudessa osa pellolla tapahtuvista toimista voidaan tehdä jopa ilman ihmisen fyysistä läsnäoloa. Tulevaisuudessa robottitraktori saa tietojärjestelmistä työtehtävänsä ja maanviljelijä tarkkailee robotin toimintaa, joko toisesta traktorista tai esimerkiksi tabletiltaan tehdessään samalla muita töitä. Tällaisista puoliautonomisista tiloista on jo olemassa konseptitason tutkielmia eri valmistajilta.

Digitalisaatio ei saa kuitenkaan olla itsetarkoituksellista. Tärkeä tavoite on kehittää viljelyprosessista entistä ympäristöystävällisempi ja kestävämpi eikä ainoastaan tehostaa nykyistä tuotantotapaa käytettävissä olevalla teknologialla. Lisääntynyt data mahdollistaa erilaisten ilmiöiden ja prosessien

mallintamisen ja sitä kautta saatavan lisääntyneen tietämyksen. Lopulta uuden tietämyksen avulla voidaan ohjata ja automatisoida toimintaa<sup>13</sup>.

Teknologian ja prosessien kehittyminen ei ole lineaarista toimintaa, vaan kehittyminen tapahtuu verkostomaisesti ja askeleittain eri aloilla. Seuraavassa esitetään tarvittavat askeleet digitalisoidun viljelyn kehittämiseen. Kaikissa esitettävissä kehitysvaiheissa teknologian standardointi on suuressa roolissa, koska eri valmistajien järjestelmien ja koneiden on toimittava yhdessä niiden valmistajasta riippumatta. Tulevaisuus näyttääkin lupaavalta, sillä standardointikehitys on lähtenyt jo käyntiin.



### MAHDOLLISTAJAT:

- Paikalliset sekä työkoneiden tuottamat mittaukset
- Kaukokartoitus
- Työkoneiden automaation kehitys
- Standardointi

### MAHDOLLISTAJAT:

- Ympäristön havainnointi ja turvajärjestelmien kehittyminen
- Tietojärjestelmien kehittyminen poikkeustilanteiden päätöksenteon tueksi
- Automaattisen päätöksentekokyvyn kehittyminen

### MAHDOLLISTAJAT:

- Ihmisten tietämys koneiden ymmärtämään muotoon muuttamisen keinoin
- Itseoppivien ja ympäristöön mukautuvien menetelmien käyttö

### MAHDOLLISTAJAT:

- Datan lähteiden lisääntyminen
- Tiedon siirtyminen eri järjestelmien välillä
- Dataan perustuvat palvelut
- Palveluiden tuleminen osaksi koneiden toimintaa

### **Vaihe 1: Täsmäviljely**

Ensimmäinen vaihe on täsmäviljely, jossa esimerkiksi lannoitteiden tai torjunta-aineiden käyttöä voidaan säätää tarpeen mukaiseksi. Tällainen toimintatapa on jo nykyisin mahdollista paikkakohtaisten viljelysuunnitelmien avulla. Suunnitelmat perustuvat työkoneiden tuottamiin mittauksiin, kaukokartoitustietoon sekä käsin tehtäviin mittauksiin ja analyysiin. Myös työkoneiden automaatio on kehittynyt niin pitkälle, että suunnitelmat voidaan toteuttaa ilman ihmisen tekemää käsiasäätöä.

Tällä hetkellä täsmäkarttojen tekeminen on kuitenkin vielä suurimmaksi osaksi käsityötä. Mittaustiedosta ei voida suoraan luoda karttoja toteutettavaksi, vaan ihmisten tietämystä on vietävä vielä koneiden ymmärtämään muotoon sekä opittava erilaisista viljelystrategioista erilaisilla kasvuolosuhteilla.

### **Vaihe 2: Integraatio**

Eri järjestelmien välinen integraatio mahdollistaa täsmäviljelyn kehittymisen automaattisempaan suuntaan ja laajemman eri toimintojen välisen tuotannon ohjauksen. Suunnitelma-, laatu- ja mittaustiedot siirtyvät järjestelmien välillä ennen kuin varsinainen materiaalien siirtyminen tapahtuu. Samoin tieto siirtyy tilalta ulospäin materiaalivirtojen mukana ja mahdollistaa entistä tarkemman jäljitettävyyden sekä jatkojalostuksen ohjauksen. Toisaalta myös kuluttajalta tuleva tieto kulkee viljelijälle ja ohjaa viljelijää kehittämään toimintaansa oikeaan suuntaan.

Sensoreiden kehittyminen ja halpeneminen mahdollistaa niiden laajemman käytön viljelyssä. Kasvuston eri osista, kasvun vaiheesta ja kasvuston hyvinvoinnista saadaan enemmän ja täsmällisempää tietoa, jolloin mallinnus ja ennustus tarkentuvat ja automaattinen päätöksenteko helpottuu edelleen. Pilvipalvelut tulevat osaksi työkoneiden toimintaa, ja työkone voi käyttää reaaliaikaisesti hyödyksi ympärillä olevien tietolähteiden tietoa.

### **Vaihe 3: Optimointi**

Seuraava askel laajentuneen tiedon ja tietämyksen hyödyntämisessä on optimointi. Optimointi on parhaimman vaihtoehdon etsimistä ja tapahtuu aina suhteessa johonkin haluttuun kriteeriin. Viljelyssä tämä tarkoittaa koneiden tehokkaamman ohjaamisen lisäksi myös koko viljelyprosessin optimointia. Työkoneiden kehityksessä optimointi tukee itseoppivien ja ympäristöön mukautuvien menetelmien hyödyntämistä. Työkonejärjestelmän toimintaa voidaan optimoida säätämällä työkoneen parametreja kulloisiinkin olosuhteisiin sopiviksi. Samalla myös osa rutiinomaisista tehtävistä siirtyy kuljettajan vastuulta koneen tehtäväksi.

### **Vaihe 4: Robotisaatio**

Viimeinen vaihe viljelyn digitalisaatiokehityksessä on robotisaatio. Ero automaatin ja robotin välillä on, että automaatti suorittaa samaa tehtävää, mutta robotin suorittamat toimenpiteet ovat vaihdettavissa. Teknologiaa, joka mahdollistaa robotisoidun toiminnan, on jo olemassa ja käytössä maanviljelyssä. Esimerkiksi nykyisissä automaattiohjatuissa traktoreissa ihmistä tarvitaan vielä ajoreitin suunnitteluun ja törmäystilanteiden estämiseen. Tulevaisuudessa automaattiohjausjärjestelmä kykenee optimoimaan ajolinjat etukäteen ja huomioimaan peltolohkon muodot, kasvustot ja edelliset ajolinjat, jolloin voidaan puhua robottitraktorista. Poikkeustilanteista selviytyäkseen robotti tarvitsee tukea erilaisista tietojärjestelmistä, jotka mahdollistavat joko robotin itsenäisen päätöksenteon tai ihmisen puuttumisen robotin toimintaan.

## Case: Genominen big data

Eläiden, kuten mikrobien, kasvien tai eläinten, genomien lukeminen tietokoneella käsiteltävään muotoon, eli digitalisoiminen massiivisessa mittakaavassa, mahdollistaa genomien tietokoneavusteisen suunnittelun. Sen avulla voidaan parantaa tuotantoeläiden ominaisuuksia ja kehittää aivan uudenlaisia biologisia tuotteita. Jotta digitaalisesti suunnitellut ja tallennetut genomien muutokset saadaan käyttöön, pitää genomi osata kirjoittaa takaisin kemialliseen muotoon ja viedä elävään soluun.

Kun geeniteknologiset menetelmät kehittyivät 1980-luvulla, mahdollistui esimerkiksi

ihmisen insuliinin tuotto hiivalla ja tehokkaiden teollisuusentsyymejä tuottavien mikrobikantojen rakentaminen lisäämällä tuotto-organismeihin uusia geenejä tai muuttamalla tai poistamalla nykyisiä. Samankaltaista geneettistä muokkausta on tehty myös kasvi- ja eläinpuolella esimerkiksi kasvien säilyvyyden ja eläinten tuottavuuden parantamiseksi.

Ruoantuotannossa geneettisesti muokatut kasvit ovat käytössä etenkin Yhdysvalloissa ja Brasiliassa<sup>15</sup>. Geneettisesti muokatut eläimet eivät ole vielä ruoantuotannossa missään päin maailmaa, vaikkakin Yhdysvalloissa kehitetty,



geneettisesti muokattu ja nopeammin kasvava lohi on saanut FDA:n (US Food and Drug Administration) hyväksynnän ja tuotanto olisi täysin mahdollista<sup>16</sup>. Tuotantoeliöiden kehittäminen perustuu kuitenkin vielä yleisesti perinteisiin risteytysmenetelmiin, jotka vievät enemmän aikaa ja ovat kalliimpia. Tästä syystä työssä on edetty pitkälti yrityksen ja erehdyksen kautta.

Massiivinen koko genomisen DNA:n lukeminen ja kymmenien geenien kirjoittaminen sekä synteettinen biologia tehostavat geneettistä muokkausta. Tämä mahdollistaa aivan uudentyyppisen genomien muuntelun: maapallon biodiversiteetin kattavista digitaalisista DNA-tietopankeista voidaan tietokoneohjautusti suunnitella suuria synteettisiä DNA-kirjastoja, joiden avulla muunnellaan tai tuodaan uusia ominaisuuksia tuotantoeliöihin ennennäkemättömässä mitataavassa. Samalla synteettisen biologian kehitys nopeuttaa ja parantaa genomien muuntelun tekniikoita eli muokattujen geenien vieminen tuotanto-organismeihin nopeutuu ja helpottuu.

Näkymänä on, että koko planeetan keskeinen genomitieto tulee olemaan digitalisoitu ja käytettävissä uusien ja paranneltujen tuotantoeliöiden digitaaliseen suunnitteluun. Digitaalinen tuotantoeliöiden ja tuotteiden suunnittelu ja tuotantoeliöiden rakentaminen tulevat olemaan niin halpaa ja nopeaa, että ne ovat myös pienten ja keskusuurten yritysten käytettävissä.

Mikrobien geneettinen muokkaus on tällä hetkellä maailmanlaajuisesti käytössä mm. teollisten organismien kehityksessä. Synteettisen biologian kehitys mahdollistaa mikrobien entistä monipuolisemman ja tehokkaamman muokkauksen esimerkiksi biokemikaalien tuottoon. Tämä tulee mahdollistamaan öljyn kanssa kilpailukyisten tuotteiden valmistamisen uusiutuvista raaka-aineista. Kunhan prosessissa on huolehdittu, että muokattujen mikrobien päätyminen luontoon on estetty, on tällainen tuotantotapa yleisesti hyväksytty ympäri maailman.

Geneettisesti muokattujen kasvien ja eläinten tuotantokäytössä, etenkin ruuantuotannossa,

tilanne on kokonaan toinen. Euroopassa vahva yleinen mielipide vastustaa geneettisesti muokattujen kasvien käyttöä tuotannossa, kun taas Pohjois- ja Etelä-Amerikassa mielipide on suopeampi. Myös Kiinassa ja Intiassa etenkin geneettisesti muokattua puuvillaa on tällä hetkellä tuotannossa. On hankala ennustaa, mihin suuntaan mielipide kehittyy.

Eläinten geneettiseen muokkaukseen suhtaudutaan ymmärrettävästi hyvin kriittisesti. Laboratoriossa on osoitettu, että suuriakin muokkauksia genotyypin muuntamiseksi on mahdollista tehdä esimerkiksi sioille<sup>17</sup>. Geneettisesti muokattu lohi on saanut Yhdysvaltain viranomaisten hyväksynnän yli kaksi vuosikymmentä jatkuneiden kokeiden jälkeen, joissa on osoitettu, että kyseiset lohet eivät aiheuta vaikutuksia ympäristöönsä ja että niiden käyttö on yhtä turvallista kuin perinteisesti jalostetun lohena<sup>16</sup>.

Geneettisesti muokatun lohena tuotanto kuitenkin odottaa, että laki geneettisesti muokattujen ruokien merkitsemisestä etenis. Käytännössä kauppiat ja lainsäätäjät tunnustelevat yleisen mielipiteen kehitystä. Liberaaleinta suhtautuminen eläinten muokkaukseen tuntuu olevan Koreassa ja Kiinassa. Koreassa on esimerkiksi markkinoilla geneettisesti muokattu minisika, joka on tarkoitettu lemmikiksi<sup>18</sup>. Näin ilmeisesti myös testataan ihmisten suhtautumista aiheeseen.

Genomisen big datan hyödyntämisessä voidaan tunnistaa seuraavat neljä kehitysvaihetta:

### **Vaihe 1: DNA:n lukemisen ja kirjoittamisen kustannukset pienenevät**

On arvioitu, että tuotantoeliöiden kehitystyö täsmentyy ja nopeutuu kymmenkertaisesti vuoteen 2020 mennessä. Muutoksen taustalla ovat synteettisen biologian kehittyminen ja DNA:n lukemisen ja kirjoittamisen nopeutuminen. Uusien bioteknisesti valmistettujen teollisten tuotteiden, kuten erilaisten kemikaalien, määrä tulee kasvamaan nopeasti, koska yritysten kehitystyöhön tarvittavat investoinnit vähenevät ja riskit pienenevät.

## **Vaihe 2: Uusien geenieditointimenetelmien vastuullinen käyttö tuotantoeliöiden muokkaamiseksi**

Uudet geenieditointimenetelmät, kuten CRISPR-Cas9, antavat mahdollisuuden tuottaa geneettisesti muokattuja tuotantoeliöitä, joiden genomiin ei jää siirtogeenistä materiaalia. Kyseinen teknologia mahdollistaa myös kehitysnopeuden kasvattamisen yli kymmenkertaiseksi. Geneettisesti muokattujen tuotantokasvien ja etenkin -eläinten laajamittainen hyödyntäminen edellyttää vastuullisia toimintatapoja ja yleisen mielipiteen huomioimista.

Yksi mahdollinen kehityspolku voisi olla, että digitalisaatio mahdollistaa ruoka-aineiden taustan ylläpidon julkisesti suoraan ruokapakkauksessa, jolloin jokainen kuluttaja voi halutessaan nähdä, mistä kyseiset ruoka-aineet ovat peräisin ja millaisella organismilla ne on tuotettu; on organismi sitten muokattu perinteisin menetelmin tai geneettisesti. Vastavuoroisesti tällaisen avoimen datan ylläpidosta valmistajilla olisi mahdollisuus tuoda markkinoille myös geneettisesti muokatuilla eliöillä tuotettuja ruoka-aineita. Tällöin niiden testauksista ja ympäristövaikutusten arviointi olisi avoimesti saatavilla suoraan ruokapakkaukseen liitettyinä. Tässä tapauksessa avoin data pitäisi yllä ”jälkiä” tuotteen kehityspolusta, vaikka uudet geenieditointimenetelmät eivät enää jättäkään jälkiä itse tuotteeseen.

Ihmiskuntaa uhkaavat suuret haasteet, kuten elintarvikkeiden riittävyys ja tarve luopua fossiilista raaka-aineista, saavat mahdollisesti aikaan muutoksia geenitekniikan käyttöön liittyvässä ilmapiirissä. Se puolestaan saattaa johtaa lainsäädännön muuttumiseen.

## **Vaihe 3: Automaatio datan käsittelyssä ja tuotantoeliöiden rakentamisessa**

Genomien sekvensoinnissa syntyvät datamäärät ovat valtavat. Massiivisia määriä genomi- ja ilmi-asutietoa on suuritöistä säilyttää ja prosessoida; se vaatii suuren laskentatehon ja tallennuskapasiteetin. Hallinta vaatii erityisosaamista, kuten

bioinformatikkojen työpanosta, datasiirron nopeuttamista entisestään ja datan käsittelyn automatisointia.

Keskeinen haaste biotaloudelle on automatisoida tai robotisoida tuotantoeliöiden genomien muuntelu, analysoida ja ymmärtää organismeissa tehtyjen muutosten vaikutukset ja kehittää kerätyn datan pohjalta niin hyvät suunnittelualgoritmit, että tuotantoeliöiden kehityksen hinta romahtaa. Tämä tuo merkittäviä parannuksia olemassa olevaan yritystoimintaan ja synnyttää myös täysin uutta liiketoimintaa.

## **Vaihe 4: Genomitiedon lukemisen joukkoistaminen**

Uudet genomien lukemis- eli digitalisointitekniikat voivat siirtää genomien lukemisen laboratorion kantaan. Jo nyt Oxford Nanopore Technologies on esitellyt prototyypin, jolla voidaan lukea osa eliön genomia kentällä tai vaikka kotona<sup>19</sup>. Uusien perimän lukemisteknologioiden ympärille kehitetään DNA:n eristystekniikoita, jotka mahdollistavat perimän lukemisen ja välittömän analysoinnin esim. älypuhelimien lisälaitteella. Visiona voisi taten olla, että syntyy uusi käsite: elävien asioiden internet (Internet of living things), joka tarkoittaa elävän ympäristömme digitalisointia.

Kun kansalaiset pystyvät digitalisoimaan perimiä itsestään ja ympäristöstään reaaliajassa ja tallentamaan ne paikka- ja ympäristötietojen kanssa tietoverkkoon, avautuu ennennäkemättömiä mahdollisuuksia ekosysteemin mallintamiseen ja sen toiminnan ennustamiseen, ympäristön ja tautien valvontaan sekä henkilökohtaisen terveyden seurantaan. Biodiversiteettiä voidaan myös hyödyntää entistä tehokkaammin teollisten kantojen tai muokattujen kasvien ja eläinten kehittämisessä.

## **Case: Joukkoistaminen luonnonvaratiedon hallinnassa**

Luonnonvarojen hallinnan alueelta voidaan tunnistaa useita palveluesimerkkejä, joissa kansalaisten aktiivinen osallistaminen voisi täydentää ja osittain korvata vähentyneitä ammattilaishavaintoja. Tällaisia ovat esimerkiksi Sähköinen hirvitietojärjestelmä (Oma Riista), Vieras- ja tulokaslajien digitaalinen havainnointipalvelu, Metsätuhojen seurantapalvelu ja Marja- ja sienisatojen kartoitus.

Yksittäisen palvelun ansaintalogiikan rakenne täytyy tutkia ja tunnistaa ennen palvelun kehittämistä. Asiakkaalle täytyy olla jotakin konkreettista hyötyä palvelun käyttämisestä, jotta sen käyttöön ja mahdollisesti myös kehittämiseen sitoudutaan. Joukkoistettuun tiedon tuotantoon osallistuvilla saattaa myös itsellään olla erilaisia motiiveja lähteä mukaan tiedon tuotantoon, kuten halu suojella arvokkaiksi koettuja luontokohteita. Parhaimmillaan joukkoistamisen avulla voidaankin tuottaa biotalouden kannalta arvokasta ja rikasta tietoa ihmisten ympäristösuhteesta ja arvostuksista.

Koska tiedon kerääjiä on paljon ja heidän osaamisensa vaihtelee, liittyy joukkoistamiseen riski laatuongelmista. Ne täytyy tunnistaa etukäteen, jotta niihin pystytään varautumaan. Laatuongelmaan varautuminen on erityisen tärkeä palveluissa, joissa joukkoistamalla kerättyä tietoa hyödynnetään toimenpiteiden suunnittelussa, kuten estettäessä vieraslajien tai metsätuhojen leviämistä.

Digitaalisen palvelutuotteen kehittämistä ei voida johtaa kuten perinteistä tuotantoprosessia, jos palvelun tuottaminen ja käyttö perustuvat joukkoistamiseen. Onkin syytä pohtia, miten joukkoistamisprosessia johdetaan:

- Miten tunnistetaan eri ihmisryhmät, joilla olisi kiinnostus ja motivaatio (lyhyt- tai pitkäkestoinen) joukkoistamiseen osallistumiseen ja niiden käyttämiseen?
- Minkälaisia motivaatiotekijöitä palvelun potentiaalisilla käyttäjillä voidaan tunnistaa, millä tavoin erilaisia motivaatiotekijöitä voidaan hyödyntää palvelun kehityksessä, ja millä tavoin ne vaikuttavat palvelun ansaintalogiikkaan?

- Miten tunnistetaan erilaisia tapauksia ja potentiaalisia palveluja, joissa joukkoistamisesta voisi olla hyötyä?
- Minkälaiset joukkoistamisen muodot, mukaan lukien joukkorahoitus, toimivat eri tapauksissa?

### **Vaihe 1: Tarvekartoitukset ja kokeilut**

Jotta eri palveluihin parhaiten soveltuva malli löytyisi, tulisi ensin kerätä tietoa palveluun liittyviltä eri tahoilta, kuten viranomaistahoilta, yrityksiltä, maanomistajilta, kerhoilta, yhdistyksiltä sekä kansalaisilta. Uusia palvelukonsepteja tulisi myös ensin testata eri käyttäjäryhmissä ennen kuin niitä aletaan kehittää. Palvelujen koekäyttö ennen niiden lanseerausta on myös huomioitava, jotta mahdolliset käyttöön liittyvät ongelmat tulevat ilmi.

Eri vaiheissa on mahdollisuus myös testata sekä kuluttajien että muiden osapuolten suhtautumista valittuun liiketoimintamalliin ja sen toimivuuteen. Avoin kokeilukulttuurin hyödyntäminen mahdollistaa hyvinkin innovatiivisten palvelumallien testaamisen ketterästi ilman suuria kustannuksia, kun palveluja kehitetään iteratiivisesti läheisessä yhteistyössä eri osapuolten kanssa.

### **Vaihe 2: Mobiilipalvelun toteuttaminen**

Olenainen lähtökohta luonnonvaratiedon keruun joukkoistamisessa on pohtia, minkä tyyppistä tietoa pitäisi kerätä (kuvat, mittaukset, laskeminen tai muut havainnot), miten kerätyn tiedon laatu voidaan varmentaa, missä kerättyä tietoa ylläpidetään ja miten tiedon tuottajat itse hyötyvät kerätystä tiedosta. Tärkeää on myös ymmärtää ja kehittää palvelun ansaintalogiikkaa. Kenen tahansa tuottamaa luonnonvaratietoa tulisi olla mahdollista kerätä ja tarvittaessa validoida.

Toimiakseen palvelun käyttämisen tulisi olla palkitsevaa. Joissain tapauksissa palkitsevuus voi olla oman toiminnan helpottumista (esim. metsästäjä tietää riistan liikkeen, marjastaja saa satoennusteen), toisissa se voisi tulla pelillisten



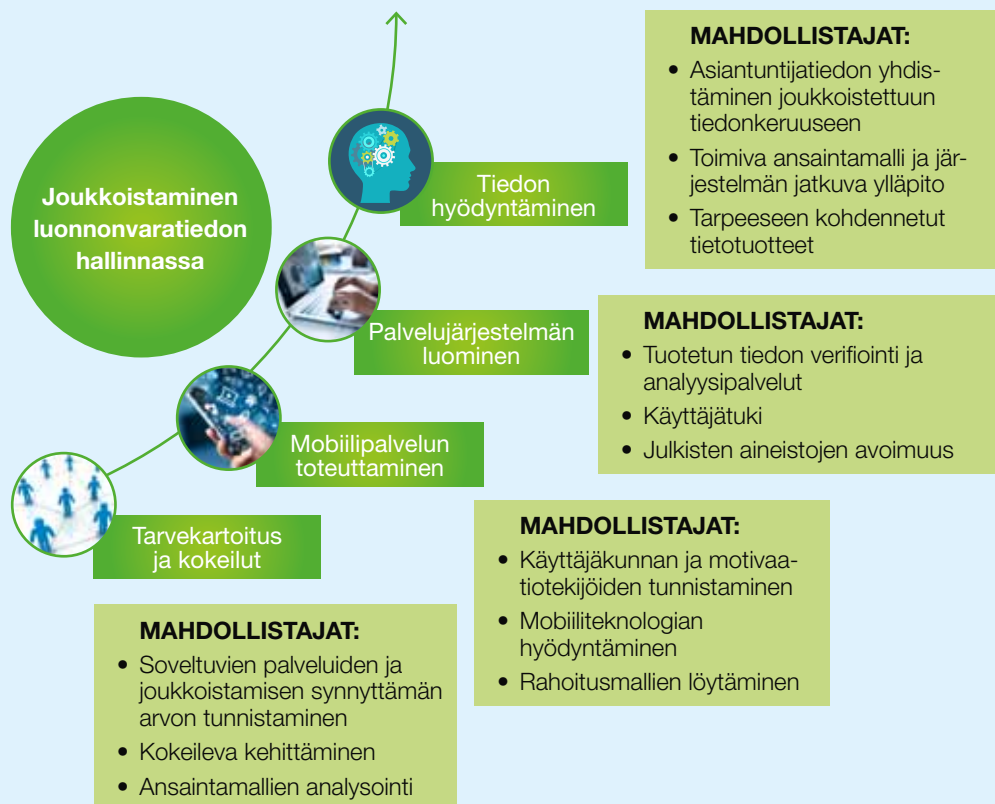
elementtien kautta (palkkio aktiivisuudesta, eteneminen virtuaalitasoilla tai pisteiden kerääminen), mutta osassa palveluja tulisi olla mahdollista saada rahallinen palkkio. Toisaalta osa palveluista voi olla käyttäjilleen maksullisia.

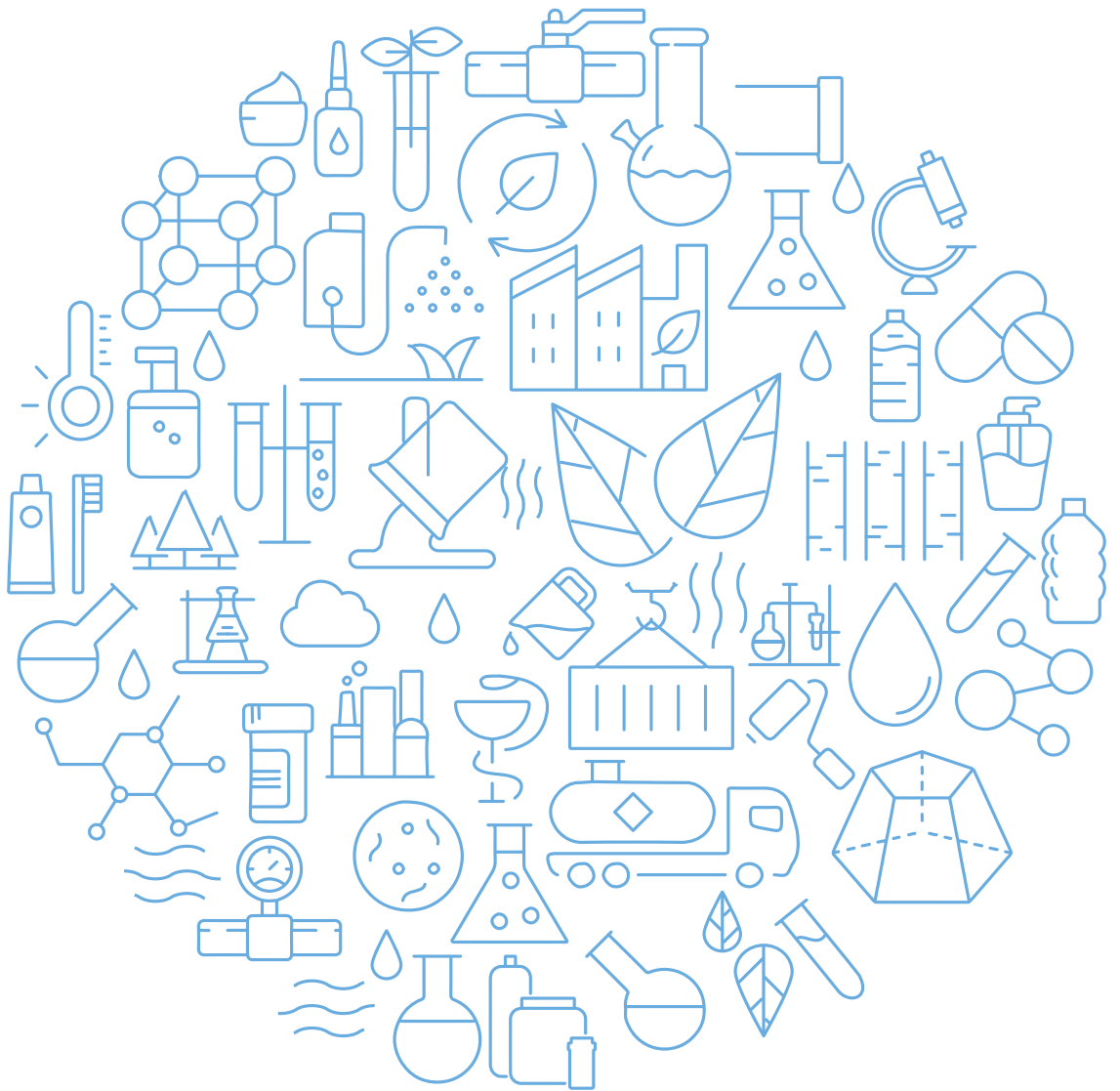
### Vaihe 3: Palvelujärjestelmän luominen

Palveluiden perusajatus on, että ne mahdollistavat kansalaisten osallistumisen tiedonkeruuseen tasapuolisesti eri puolilta Suomea. Tulosten analysointi ja mahdollisten toimenpiteiden käynnistäminen sekä tiedotteiden ja karttojen laatiminen vaatii kuitenkin aina asiantuntijaosaamista. Palveluiden kehittäminen on siksi nähtävä osana systeemistä muutosta. Uutta järjestelmää ei voida luoda päällekkäiseksi olemassa olevan vanhan toimintatavan kanssa, koska niukkenevat resurssit eivät riitä rinnakkaisten järjestelmien ylläpitoon.

### Vaihe 4: Tiedon hyödyntäminen

Luonnonvaratiedon joukkoistamisjärjestelmien kehityksen suurimmat yhteiset ongelmat liittyvät tapausten ansaintalogiikan tunnistamiseen, etenkin kun ollaan kehittämässä yleisluontoisia yhteiskunnallisia palveluja. Myös tiedon kerääjien omat intressit on tunnistettava, kun luodaan esimerkiksi peto- tai riistaeläinten kannanarviointijärjestelmiä. Toisaalta kehityksessä on syytä ottaa lähtökohdaksi viranomaistoiminnan ja yksityisen sektorin välisten synergioiden löytäminen. Joukkoistamalla tuotetun tiedon ja viranomaistoiminnan yhdistämisellä voidaan luoda uutta tietoa, joka voi lisätä yhteiskunnallista luottamusta sekä hyödyntää elinkeinotoimintaa.





# 3. Muutospolut ja tiekartta

## **Visio: Joustava, verkottunut ja yhteistoiminnallinen biotalous 2030**

Päätöksentekoa tukevat, oppivat ja ennakoivat digitaaliset järjestelmät ovat biotalouden arkea. Biotalouden liiketoiminta on asiakaslähtöistä, ja biopohjaisia tuotteita ja palveluita on laajasti teollisuuden ja kuluttajien saatavilla. Kansalaisten, tuottajien ja viranomaisten väliset verkostot lisäävät toimijoiden välistä yhteistyötä ja luottamusta sekä biotalouden yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä.

Fossilisia polttoaineita ja uusiutumattomiin luonnonvaroihin perustuvia raaka-aineita on korvattu uusiutuvista luonnonvaroista jalostetuilla tuotteilla. Maa- ja metsätalouden sivuvirrat hyödynnetään laajamittaisesti ja raaka-aineet ohjataan optimaaliseen käyttöön kehittyneiden seuranta- ja toiminnanohjausjärjestelmien avulla.

Digitalisaatio voi edistää vision toteutumista ja biotalouden kehitystä usealla eri tavalla. Olemme tiekartassa tunnistaneet biotalouden kehitystavoitteet, joihin tieto- ja viestintäteknologiat

tarjoavat ratkaisumahdollisuuksia (ks. kuva 4). Nämä ovat 1) älykäs biomassavirtojen hallinta, 2) datavetoinen biotalous ja 3) verkottunut ja yhteistoiminnallinen luonnonvaratalous.

### **ÄLYKÄS BIOMASSAVIRTOJEN HALLINTA**

**Tavoite:** Hajaantuneiden ja heterogeenisten raaka-ainevirtojen hallinta alkutuotannosta lopputuotteeksi, raaka-ainevirtojen ohjaus optimaaliseen käyttöön, laadun hallinta ja älykäs logistiikka

→ Enemmän arvoa raaka-aineista, oikeaa laatua oikeaan tarkoitukseen, markkinatilanteen mukaan joustavat ja ketterät ratkaisut



### **DATAPOHJAINEN BIOTALOUS**

**Tavoite:** Biotalousalan edistävän luonnonvaratiedon tuottaminen, analysointi ja muokkaaminen eri toimijoiden päätöksentekoa tukevaan muotoon

→ Enemmän arvoa olemassa olevasta datasta ja uusien tiedonhankintamenetelmien hyödyntäminen, läpinäkyvyyden lisääntyminen ja ennakoivan päätöksenteon mahdollistuminen



### **VERKOSTOITUNUT JA YHTEISTOIMINNALLINEN LUONNONVARATALOUS**

**Tavoite:** Digitaalisten alustojen kehittäminen, biotalousalan toimijoiden verkottumisen mahdollistaminen ja uudenlaisten yhteistoiminnallisten liiketoimintajen ja luonnonvarahallinnan toimintamallien kehittäminen

→ Enemmän arvoa yhteistoimintaverkostoista



Kuva 4. Älykkään biotalouden muutospolkujen tavoitteet.

## MUUTOSPOLKU 1: Älykäs biomassavirtojen hallinta

Biomassavirtojen hallinnan ongelmana ovat tällä hetkellä alkutuotannon hajautuneisuus, raaka-aineiden laatuero ja pilaantumisen johtuva hävikki. Käytännön prosesseja hoitavat mikro- tai pienet yritykset. Suomessa oli vuonna 2014 yhteensä 80 629 maa-, metsä- ja kalatalousyritystä, joka on 22 % kaikkien toimialojen yrityksistä. Alan yritykset työllistivät 57 000 henkilöä, ja yli 63 % niistä oli maatalousyrityksiä, joista puolestaan perheviljelmiä oli 86 %.

Metsäsektorilla urakoitsijat hoitavat suurelta osin metsänhoito- ja puunkorjuutyöt. Metsänomistajien oma työpanos pienenee jatkuvasti uusien metsänomistajakupolvien ja lisääntyvien kaupunkimetsänomistajien myötä. Myös luonnon uusiutuvia aineellisia ja aineettomia anteja hyödyntävät luonnonvarayrittäjät ovat suurimmaksi osaksi pieniä toimijoita.

Luonnonvaroja jalostavan teollisuuden tuottamat sivuvirrat ovat toisaalta hyvinkin keskittyneitä, mutta myös niiden jatkokäyttöä rajoittaa tällä hetkellä se, että tuotettujen virtojen määriä ja laatua koskeva tieto ei ole avointa. Tämä on yksi jarru sivutuotteiden markkinoiden kasvulle.

Kuvaan 5 olemme havainnollistaneet, kuinka toimintaympäristö, ratkaisut ja teknologiat sekä kyvykkyydet tulevat muuttumaan älykkäässä, biomassavirtojen tehokkaaseen optimointiin nojaavassa taloudessa. Kuvan keskiosassa olemme nostaneet esille siirtymää mahdollistavia kehitys- ja muutostarpeita.

Tulevaisuudessa tuottajat kykenevät tuottamaan biopohjaisia raaka-aineita tehokkaasti moninisiin tarkoituksiin. Erilaiset raaka-aineiden laatuero kyetään seurantateknologioiden avulla erottelemaan nykyistä paremmin sekä alkutuotannossa että teollisuudessa ja saattamaan ne jatkojalostukseen kannattavasti ja jäljitettävästi. Sivuvirtojen markkinat toimivat sujuvasti.

Kuvan 5 oikeassa reunassa maa- ja metsätalouden sivuvirtojen tehokas hyödyntäminen on nostettu keskeiseksi biotalouden toimintaympäristön määrittäjäksi. Sivuvirtoja monipuolisesti

hyödyntävien agroekologisten kompleksien ja teollisten symbioosien muotoutumisessa biomassavirtojen erottelun tarve korostuu entisestään. Nämä biotalouden uudet arvoverkot tuottavat maa- ja metsätalouteen lannoitteita ja maanparannusaineita sekä teollisuuteen korkeamman jalostusasteen kemikaaleja ja uusia biopohjaisia raaka-aineita<sup>21</sup>. Maa- ja metsätalouden raaka-ainevirtojen optimointi edistää myös uusien biopohjaisten polttoaineiden tuotantoa ja sitä kautta siirtymää fossiilivapaaseen energiantuotantoon.

Raaka-ainevirtojen optimoinnin kanssa käsi kädessä kulkee täsmäviljelymenetelmien kehitys. Tähän tuo painetta paitsi globaalista kilpailusta johtuva kustannustehokkuus myös tarve maatalouden ravinnekuormituksen hallintaan. Automatisoidun laadunvalvonnan ja seurannan tarve korostuu niin ikään kotieläintuotannossa, johon kohdistuu kasvavia kustannustehokkuuspaineita. Seurannan tarvetta lisää myös kuluttajien kiinnostus tuotantoeläinten hyvinvointiin ja huoli ruokaturvallisuudesta.

Tällä hetkellä maa- ja metsätalouden arvokkaat laatuero jäävät usein joko tunnistamatta tai niiden toimijakohtaiset määrät ovat niin pieniä, että erien erilliskäsittely ja markkinointi ei ole kannattavaa. Biomassavirtojen älykästä hallintaa tulevaisuudessa mahdollistaa kattava metsävarojen ja peltojen koskeva tiedonkeruujärjestelmä. Metsävaroista on olemassa runsaasti säännöllisesti päivittyvää inventointi- ja kaukokartoitusmateriaalia, kuten satelliitti- ja ilmakuvia<sup>22</sup>, ja metsätalouden työkonemat keräävät jo nyt kohdetietoa ympäristöstä työskentelyn aikana. Samoin maataloudessa ruokinta-automaatit ja sadonkorjuukonemat tuottavat dataa muun muassa ravinnevirroista. Seurannan tehostumista auttaa entisestään jatkuvasti halpeneva anturiteknologia, mukaan lukien painettava elektroniikka ja biohajoavat anturit.

Kehityksen pullonkaulana on eri tietolähteiden yhdistäminen ja tietoja hyödyntävien

tuotannonohjausjärjestelmien kehitys. Raaka-ainevirtojen automatisoitu erittely ja etähallinta edellyttävät myös seuranta- ja tunnisteinfran sekä älykkäiden opastavien järjestelmien kehittymistä. Menetelmiä laadunmittaukseen ja

seurantaan kehitetään parhaillaan sekä maataloudessa että metsätaloudessa, ja yhdistettynä IoT-teknologioihin ne mahdollistavat tulevaisuudessa raaka-ainevirtojen entistä tehokkaamman optimoinnin.

## Älykäs biomassavirtojen hallinta



Kuva 5. Tiekartta älykkääseen biomassavirtojen hallintaan.

## Case: Digitaaliset ratkaisut puun tehokkaampaan hyödyntämiseen<sup>23</sup>

Toimivan biotalouden edellytys on raaka-aineen toimitusketjujen saumaton ja tehokas toiminta. Kustannustehokkaat, oikea-aikaiset ja raaka-aineen laadun huomioivat puubiomassan toimitukset metsästä jalustuslaitoksiin ovat tärkeä osa sekä aines- että energiapuutoimitusketjua. Muun muassa jalustuslaitosten käyttönusteet, varastojen määrä- ja laatutieto ja niiden ennusteet yhdistettynä sijaintitietoon sekä tieverkon kulkukelpoisuustieto avaavat uusia näkymiä

digitaalisille ratkaisuille kuljetusten optimoinnissa ja koko puun toimitusketjun tehostamisessa.

Kuvassa havainnollistetaan, miten digitaalisilla ratkaisulla voidaan tehostaa puun toimitusketjua. Kaiken perusta on ajantasainen metsävaratieto, jonka muodostamisessa voidaan hyödyntää eri datalähteitä. Digitaalisilla ratkaisulla voidaan tukea oikea-aikaisia puun toimituksia ja biojalostamon tuotannonohjausta.

### Monilähteinen tutkittu ja päivittyvä metsävaratieto

Puun ja muiden metsän tuotteiden kestävä hyödyntäminen perustuu riittävän tarkkaan ja ajantasaiseen tietoon uusiutuvista luonnonvaroista.

Digitaaliset ratkaisut puun tehokkaampaan hyödyntämiseen



Monilähteinen, tutkittu ja päivittyvä metsävaratieto

#### TAVOITE:

Useista datalähteistä koottu monikerroksinen metsävaratieto multilayer -muodossa, jossa jo mukana tulkittuja aineistoja sekä



Jatkuvasti päivittyvä korjuuolosuhde-, tiestö- ja varastotieto

#### TAVOITE:

Tiedot korjuukohteen puustosta, maasto-olosuhteista ja tiestön kulkukelpoisuudesta päivittyvät jatkuvasti säädätään ja



Biojalostamon ennustava ohjausjärjestelmä

#### TAVOITE:

Tuoteportfolion markkina- ja kysyntätietoa hyödyntävä tuotannonohjaus keskustelee saumattomasti biomassan hankintaketjun kanssa mahdollistaan

### MAHDOLLISTAJAT

#### Digitaalisten teknologioiden kehittyminen

- Monilähteinen puusto- ja olosuhdetiedon tuotanto ja data-analytiikka ja jakelu käyttäjille
- Uudet sensorit korjuuolosuhteiden aistimiseen ja korjuujäljen mittaamiseen
- Pilviteknologiat aineistojen hallintaan
- Älykäs automaatio ja robotiikka

#### Innovaatiotoiminta

- Kokeilukulttuuri
- Multi-actor -projektit, yhteiskehittäminen

#### Toimitusketjun työkalujen kehitys

- Sähköiset yksilöivät erätunnisteet
- Tarkka paikannus ja koneiden välinen kommunikaatio

#### Biojalostamorajapinta

- Dynaamisesti päivittyvä tuotantoennuste
- Interaktiivinen kysyntäennuste ja kommunikaatio hankintaketjun kanssa
- Jatkuva laatuvalvonta ja laadun mittaaminen

Kaukokartoitusta, kuten satelliittikuvausta ja lentolaserkeilausta, on käytetty jo pidemmän aikaa laajojen metsäalojen metsävaratietojen kartoittamiseen. Pienemmille metsäalueille voidaan jo käyttää pienlennokkeja, jotka keräävät aineistoa puustosta joko pienellä laserkeilaimella tai digitaalikameralla.

Kaukokartoitusta täydentävät maanpinnalla tehtävät mittaukset. Uusimpia keinoja ovat matkapuhelinsovellukset puuston tilavuuden mittaukseen sekä kannettavat ja ajoneuvoissa toimivat laserkeilaimet. Digitaalikuvauskinta ja tehostuneet laskentamenetelmät parantavat merkittävästi tiedon tarkkuutta ja tiedonhankinnan kustannustehokkuutta. Metsistä saatavat tarkat ennusteet puulajikohtaisista läpimitta- ja pituusjakaumista ja entistä enemmän myös laadusta tuovat merkittävän lisätiedon puunhankintaan ja puukauppoihin.

### **Jatkuvasti päivittyvä korjuuolosuhde-, tietö- ja varastotieto**

Suomessa on päivittäin toiminnassa noin 2 000 hakkuukonetta. Niiden keräämä leimikkokokhtainen tieto tarjoaa valtavan tietovarannon, jota voidaan käyttää metsien tehokkaampaan hyödyntämiseen digitalisaation avulla.

Tulevaisuuden metsäkoneet ovat osittain automatisoituja ja mittaavat työskentelynsä aikana sekä omaa toimintaansa että metsäympäristöä, mikä tehostaa metsänhoitoa ja puunkorjuuta (esim. maaston kulkukelpoisuuden kartoittaminen ja mallintaminen, kuljettajaa opastavat järjestelmät, jäävän puuston mittausta ja puuston reaaliaikaisen lahotiedon kerääminen hakkuiden yhteydessä). Mitattua tietoa toimitetaan sekä opastukseksi kuljettajalle että koneiden käytön tehostamiseksi puunkorjuuryitykselle ja puunhankintaorganisaatiolle.

Kehitystä edistävät koulutustason kohentuminen, resurssien niukkuus, ympäristötietoisuuden lisääntyminen, halpeneva anturiteknologia ja langattoman tietoliikenteen kehittyminen. Täysin automatisoidut puunkorjuukoneet ovat kuitenkin nykykäsityksen mukaan kaukana tulevaisuudessa,

koska haastavat toimintaolot ja vaihtelevat maasto-olosuhteet vaikeuttavat ratkaisujen kehittämistä.

Kuten metsäkoneissa myös puutavara-autoissa on toiminnan ohjausta ja toteutusta helpottavia järjestelmiä. Puutavara-autoissa kuljettajan tukena on karttapohjainen navigointijärjestelmä, joka esittää kartan avulla tienvarsivarastojen sijainnit, puutavaralajien määrät ja kuljetettavaksi valittujen puutavaralajien sijainnit. Logistinen ohjaus lähtee tehtaiden tarpeista sekä tienvarsivarastojen tilasta, joiden perusteella luodaan kuljetussuunnitelma kullekin päivälle.

Järjestelmien adaptiivisuus on tärkeää. Puutavara-autot varaavat ajettavan puutavaralajin tai -lajit valituista varastoista. Myös kerätyt puutavaralajit päivitetään heti järjestelmään ja nähtäväksi muille ajoneuvoille. Joillakin suurimmilla tehtailla puutavaran vastaanotossa on saapumisaikaikkunat, jotka näkyvät myös ajoneuvojen tietojärjestelmissä.

### **Biojalostamon ennustava ohjausjärjestelmä**

Biojalostamot joutuvat tuotannossaan hallitsemaan heterogeenisiä ja hajautuneita raaka-ainevirtoja. Tulevaisuuden biojalostamot voivat myös tuottaa lukuisia tuotteita. Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta jalostamon voi olla tarpeen ohjata tuotantoaan joustavasti huomioiden raaka-aineiden saatavuus ja hinta sekä tuotteiden kysyntäennusteet ja niistä saatava hinta. Myös vuodenaikavaihtelu raaka-aineen saatavuudessa ja laadussa sekä ennakoiva huoltotarpeiden huomiointi ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat biojalostamon kannattavuuteen. Näiden syiden takia biojalostamon ohjaus on monimutkainen päätöksentekotilanne, jota tukemaan voitaisiin kehittää laaja-alaista dataa hyödyntäviä järjestelmiä.

Jotta biojalostamon ohjaukseen voitaisiin kehittää järjestelmä, joka hyödyntää isoja dataa ja ennustavia malleja, tarvittaisiin useiden datan hallintaan liittyvien kysymysten ratkaisua. Ensiksikin

eri tietolähteet pitää pystyä yhdistämään hyödyntäen esimerkiksi pilvipalvelua. Eri palveluiden ja tietolähteiden yhdistämistä varten tarvitaan yhteinen alusta (platform), joka puolestaan edellyttää toimivia tietoturvan ja käyttöoikeuksien hallinnan ratkaisuja. Jotta järjestelmän käytössä olisi riittävästi tarvittavaa dataa, myös toimintatapoihin tarvitaan muutoksia. Esimerkiksi sähköisten metsävaratietojen saatavuus pitäisi varmistaa ja puukaupan pitäisi tapahtua sähköisesti. Myös

kunnossapitopalveluita tuottavien tahojen pitäisi integroitua järjestelmän käyttöön.

Mahdollinen tulevaisuuden toimintamalli voisi olla esimerkiksi sellainen, että laitevalmistajat vastaavat tuotantoprosessien kunnonvalvonnasta ja ylläpidosta tuotantovaiheessa koneiden lähettämän käyntitiedon perusteella. Tuottajan ja operaattorin roolit voivat hämärtyä, mikäli laitevalmistajan rooli laajenee koneiden operoinnin puolelle. Laitevalmistajan pääsy käyntiaikaiseen

## **Case: Eläintuotannon digitalisaatio<sup>24</sup>**

On ennustettu, että eläinperäisten elintarvikkeiden kulutus kaksinkertaistuu maailmanlaajuisesti seuraavan vuosikymmenen aikana. Lihaa ja maitoa pitäisi pystyä tuottamaan tehokkaammin ja entistä ympäristöystävällisemmin. Eläinten hyvinvoinnista on myös tullut kuluttajille entistä tärkeämpää. Jatkossa eläimille tulee tarjota enemmän virikkeitä ja eläintä kohti tarvitaan enemmän tilaa. Eläinten terveyttä pitää pystyä seuraamaan nykyistä paremmin ja niiden terveysongelmia ehkäisemään tuotantotapojen muutoksilla.

Perinteinen eläintuotantoon perustuva maatalous, eli lihan, maidon, munien, kalojen ja turkisten tuotanto, voi optimoida tuottavuuttaan automaation ja uusien datalähtöisten toimintojen avulla. Kotieläinten automaattinen seuranta erilaisten antureiden ja muiden digitaalisten tietolähteiden avulla on jo osittain todellisuutta tilojen tuotannon ohjaamisessa.

Tulevaisuudessa seurantatiedon lisääntyessä datalähtöinen tilatuotannon optimointi voi perustua kokonaisvaltaiseen eläinten ravitsemuksen ja jalostuksen ohjaukseen sekä eläinten kasvun ja terveyden seurantaan, ongelmien ennakointiin ja ennaltaehkäisyyn, materiaalivirtojen tai tilan

prosessien hallintaan, automaattiseen raportointiin ja logististen toimintojen hallintaan.

Terveemmät eläimet antavat tuottajalle paremman taloudellisen tuloksen. Anturitiedon hyödyntäminen kotieläinten terveyden ja hyvinvoinnin seurannassa mahdollistaa myös entistä eettisemmän ja kuluttajille läpinäkyvän tuotannon. Eläinten hyvinvointia voidaan seurata automaattisesti uusien mittausmenetelmien avulla. Esimerkiksi sisätilapaikannukseen, makuuajan mittaukseen ja aktiivisuuden seurantaan on olemassa useita kaupallisia järjestelmiä. Tällainen tieto voisi luoda eläintiloille uutta asiakasarvoa, jos sitä käytettäisiin esimerkiksi tuotteiden hinnoitteluperusteena, ja jäljitettävästi hyviä elinolosuhteiden ylläpitävä tuottaja voisi saada tuotteistaan lisähintaa. Näin kuluttajien kasvanut tietoisuus eläinten oloista ja vaatimus eettisesti tuotetusta ruoasta voivat edistää uusien teknologioiden käyttöönottoa.

Kehittyneet sensorit, laitteet, tietoverkot sekä IoT-alustat ja datalähteet mahdollistavat uuden ja tarkemman tiedon tuottamisen pienin kustannuksin. Kvanttava teknologia sopii hyvin maataloustuotannossa tyypillisiin hallittuihin ympäristöihin. Eläinten hyvinvoinnin seurannassa voidaan hyödyntää myös ratkaisuja, joita on kehitetty alun perin ihmisen omatoimiseen



terveysmittaamiseen. Liikeanturin yhdistäminen langattomaan IoT-laitteeseen on esimerkki tällaisesta ratkaisusta. Joukkorahoitus ja sijoittajien kasvava kiinnostus maatalouteen lisäävät mahdollisuuksia kehittää ja tuotteistaa ratkaisuja.

Oheisessa kuvassa esitellään digitalisaation tuomia mahdollisuuksia eläintuotannossa, etenkin tietojärjestelmien, sensoriteknologian ja kuvantamisteknologian kehityksen kautta. Neljäntenä esimerkkinä tarkastellaan eläintuotannon sivuvirtojen, etenkin lannan, parempaa hyödyntämistä. Laajemmat kuvaukset esimerkeistä löytyvät raportin sähköisestä liitteestä.

### Eläintuotannon digitalisaatio



Sensoriteknologia eläinten hyvinvoinnin seurannassa

Kuvantamisteknologiat eläintuotannon prosesseissa

**TAVOITE:** Automaattinen järjestelmä eläinten hyvinvoinnin seurantaan korvaamaan tai täydentämään tarkastuskäyntejä

#### MAHDOLLISTAJAT:

- Mittalaitteiden kehitys
- Mittaustietoa hyödyntävien hyvinvointimallien kehitys
- Standardoitu tiedonsiirto

**TAVOITE:** Kuvantamisteknologian hyödyntäminen esimerkiksi teuraseläinten teuraspainon ja lihan laadun arvioinnissa

#### MAHDOLLISTAJAT:

- Laajan kehitysdatan kerääminen
- Kuvantamisteknologian yhdistäminen muihin mittauksiin, esim. pintarasvan ultraäänimittaus
- Mallin laatiminen ja testaus

Tietojärjestelmät



Eläintuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen

**TAVOITE:** Datan keruu ja jalostaminen keskitetysti kohti digitaaliseen alustaan perustuvaa palveluliiketoimintaa

#### MAHDOLLISTAJAT:

- Data-analytiikkaosaaminen (esim. kone- ja syväoppiminen)
- Datan keruun osaaminen (esim. kalibrointi, jäljitettävyyden, kontekstin hyödyntäminen)
- Tiedonsiirto-osaaminen (esim. langaton tiedonsiirto, 5G)

**TAVOITE:** Lannan tehokkaampi hyödyntäminen esimerkiksi lannoite- tai energiatuotannossa

#### MAHDOLLISTAJAT:

- Prosessikehitys (esim. biokaasutus, pyrolyysi, mikrobiologiset prosessit)
- Laitekehitys lannan esikäsittelyyn
- Karttapohjaiset saatavuustiedot (esim. Biomassa-atlas)
- Kaupallisen toiminnan pilotointi

## MUUTOSPOLKU 2: Datavetoinen biotalous

Digitalisoituneessa yhteiskunnassa tieto on yksi keskeisimmistä tuotantopanoksista. Biotalous ei tee tässä asiassa poikkeusta. Eri tahot tuottavat luonnonvaroja koskevaa tietoa yhä enenevässä määrin, ja sitä hyödyntävät kuluttajat, tuottajat ja luonnonvarojen käyttöä säätelevät ja valvovat viranomaiset.

Kuva 6 kokoaa datavetoisen biotalouden muotoutumiseen liittyviä tekijöitä. Tiedon tarvetta lisäävät tällä hetkellä sekä Suomessa että kansainvälisesti muun muassa ilmastonmuutoksen ja luonnon monimuotoisuuden seuranta sekä siihen liittyvät sopimusvelvoitteet. Muita keskeisiä tiedon tarvetta lisääviä muutostrendejä ovat kuluttajien lisääntyvä kiinnostus tuotteiden alkuperästä, tuotannon ympäristöstävällisyydestä, raaka-aineiden laadusta ja tuotannon eettisistä kysymyksistä.

Tiedon intensiivisempään hyödyntämiseen nojaavaa biotaloutta kohti ohjaa myös käynnissä oleva trendi, jossa siirrytään entistä enemmän tuotteista palveluihin. Luonnonvaroja koskeva tieto, kuten aineettomien virkistyspalvelujen tuottamat terveysvaikutukset tai ruuan ravintosisältö, tulee tulevaisuudessa olemaan yhä useammin olennainen osa biotuotteiden ympärille rakentuvaa palvelua. Näiden palvelujen yleistymistä auttaa kuluttajien lisääntynyt omaa hyvinvointia seuraavien sovellusten, kuten aktiivisuusrannekeiden ja erilaisten energiankulutusta seuraavien laskureiden, käyttö. Sitä, miten laajamittaisen elintarviketuotannon räätälöinnin mahdollistavat teknologiat vaikuttavat tulevaisuuden ruokatuotantoon, on käsitelty tarkemmin VTT:n julkaisemassa Elintarviketalous 4.0 -visiossa<sup>25</sup>.

Luonnonvaroista saatavia hyötyjä ja niihin liittyvää tietoa koskevien asiakastarpeiden tunnistaminen on edellytys muutoksessa tuotanto-orientoituneesta kohti kuluttajalähtöistä biotaloutta. Tähän liittyen tulevaisuudessa tullaan näkemään entistä enemmän virtuaalisia sekä pelillisyyttä hyödyntäviä ekosysteemipalveluja, joissa hyvinvointi tai virkistyspalvelu on irrotettu fyysisestä luonnonvaraperustasta.

Älykkään biotalouden keskeinen osa-alue ovat palvelut, jotka tuottavat ja jalostavat luonnonvaratietoa tuottajien ja viranomaisten strategisen suunnittelun, valvonnan ja ennakoivan päätöksenteon tarpeisiin sekä kuluttajien luonnonvarapalveluiksi. Ne mahdollistavat muun muassa entistä tehokkaamman metsänhoidon palvelutarjonnan metsänomistajille, läpinäkyvämmät ja tehokkaammat viranomaisprosessit, biologisten uhkien minimoinnin ja luonnonvaratietopalvelua tuottavan liiketoiminnan kehittämisen.

Luonnonvaroja koskevaan dataan perustuvan talouden kehitysmahdollisuudet ovat lupaavat, sillä metsävaroja ja maataloustuotantoa koskevaa dataa on jo tällä hetkellä runsaasti. Sama asia muodostuu tosin dataan perustuvan biotalouden kehittämishaasteeksi. Kuvan 6 keskiosaan on koottu askelia, joita saatavilla olevaan dataan perustuvan liiketoiminnan kehittäminen edellyttää. Tietoa on paljon eri lähteissä, mutta se on hyvin heterogeenista. Lisäksi eri tietovarantojen yhdisteleminen ja jatkojalostaminen erityisissä päätöksentekotilanteissa hyödynnettävään muotoon on tällä hetkellä vaikeaa, koska standardit ja analyysimenetelmät ovat puutteellisia.

Avainasia luonnonvaratietopalvelujen kehittämiseksi on tiedon nopea ja luotettava liikkuminen arvoverkossa. Standardoitujen ja sertifioitujen tiedonkeruu- ja siirtojärjestelmien kehitys on ensiarvoisen tärkeää, jotta voi muodostua luonnonvaratietoa hyödyntäviä palveluja. Valtavien datamäärien käsittely edellyttää myös halpaa ja nopeaa laskentainfraa. Avoimien ja yhtenäisten pilvipalvelujen kehitys mahdollistaa sen, että eri toimijat voivat hyödyntää laajoja tietovarantoja ja luoda parhaimmillaan maailmanlaajuiset markkinat luonnonvaroja koskevia tietotuotteita tarjoavalle liiketoiminnalle.

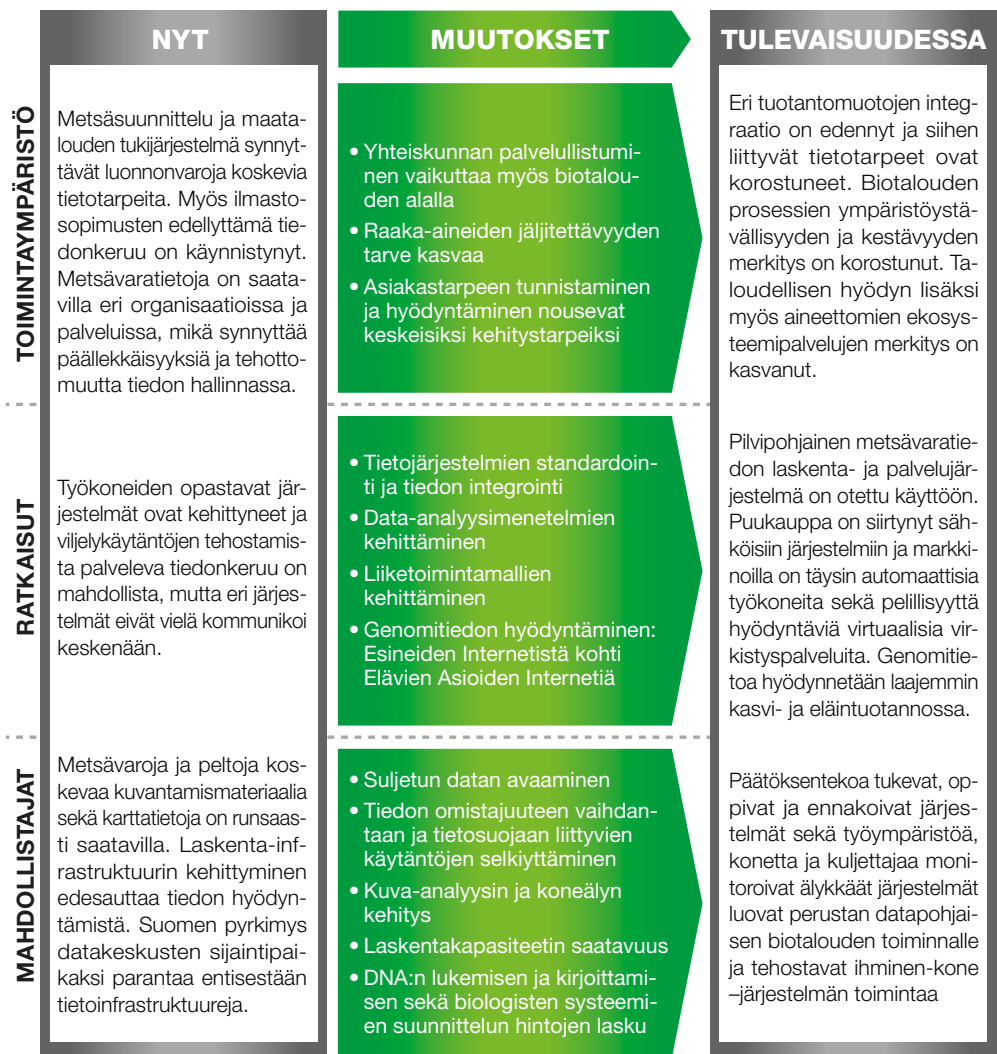
Pullonkaulaksi dataan pohjautuvalle biotaloudelle voivat muodostua tiedon omistajuuteen ja yksityisyysensuojaan liittyvät käytännöt. Jotta uutta palvelutoimintaa voisi syntyä, tulisi olla saatavilla mahdollisimman laajasti avointa tai edullisesti hyödynnettävää, laadukasta luonnonvaratietoa.

Edistääkseen tiedon hyödyntämistä metsävarojen käytössä maa- ja metsätalousministeriö on päättänyt avata metsävaratiedot julkiseen käyttöön. Metsävaratietoja koskeva Metsään.fi-palvelu onkin keskeinen uusien tietopalvelujen

kehittämisen resurssi. Samalla se vie pohjaa pois metsäkeskusten ja metsäpalveluyrittäjien suljettuun dataan perustuneelta liiketoiminnalta.

Ilmaisen, entistä tarkemman avoimen datan lisääntyminen pakottaa näin biotalousalan

## Datapohjainen biotalous



Kuva 6. Tiekartta datavetoiseen biotalouteen.



## **Case: Biotalous tietopalvelut**

Digitalisoituneessa biotaloudessa luonnonvaroja ja niiden käytön seurauksia koskevan datan analysointipalveluista tulee yhä merkittävämpi osa biotalouden tuotosta. Erittäin merkittävässä roolissa ovat sovellukset, jotka seuloivat, yhdistelevät ja analysoivat eri lähteistä koottua dataa ja tukevat kuluttajien, yrittäjien, julkisten toimijoiden ja kansalaisten tekemiä päätöksiä. Parhaimmillaan nämä sovellukset seuraavat toimijoiden aiempia valintoja ja seurauksia ja oppivat sen perusteella tarjoamaan koko ajan räätälöidymppää ja täsmällisempää päätöksenteon tukea.

Dataan perustuvan biotalouden kulmakivenä on näin kasvava tilannetietoisuus tuotanto- ja kulutus päätösten perusteisiin vaikuttavasta lähtötilanteesta, kuten metsävaroista, ravinnetaseista tai elintarvikkeiden ekologisesta jalanjäljestä ja ravinnesisällöstä. Tätä tilannetietoisuutta mahdollistavat eri toimijoiden yhteisiin pilvipalveluihin tuottama data, standardoidut tiedonsiirtokäytännöt ja järjestelmien väliset rajapinnat ja datan analysointiin kehitetyt sovellukset. Lisäksi tarjolla on uusia, virtuaalisia hyvinvointipalveluja.

Seuraavaksi esittelemme muutamia esimerkkejä siitä, millaisiin palveluihin tietovetoinen biotalous voi perustua.

### **Räätälöity ruokapalvelu**

Tulevaisuuden kuluttajalle ruoka ei ole pelkkää ravintoa vaan kokonaisvaltainen hyvinvointipalvelu ja samalla tapa osoittaa muille omaa arvopeustaa. Hyödyntämällä My Datan terveystietoja ja aktiivisuusrannekkeen energiankulutuslaskelmaa kuluttaja päättää, millaista ateriaa hän illaksi valmistaa. Valintaa helpottaa se, että mobiili reseptipalvelu muistaa, mistä mauista hän on aikaisemmin pitänyt ja mikä ei ole miellyttänyt. Reseptipalvelu tietää myös, että kuluttaja suosii lähituotantoa, ja osaa hakea ateriaehdotuksia, joissa voi hyödyntää juuri saatavilla olevia paikallisia tuote-eriä.

Palvelu tilaa tarvittavat raaka-aineet kuluttajan kotiovelle tai työmatkan varrella olevaan noutopisteeseen. Aterian jälkeen kuluttaja lähettää kiittävän palautteen tuottajan perustamaan verkkoyhteisöön, lukee samalla tuottajan sinne kirjaaman päivityksen tilan uutisista ja suosittelee palvelua sosiaalisessa mediassa ystävilleen. Hän myös päivittää aterian verkkopalveluun, jonka avulla hän seuraa energiankulutustaan ja sitä, että saa ruuasta tarvitsemansa ravintosisällön. Verkkopalvelussa hän voi seurata ja kommentoida muiden päivityksiä.

### **Sähköinen metsäpalvelu**

Tulevaisuuden metsänomistaja saa verkkopohjaisista palveluista omille metsilleen metsänhoito- ja hakkuusuunnitelmat. Ne perustuvat kaukokartoitusmateriaaleihin ja monilähteen valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) kaikille avoimeen karttamateriaaliin sekä kansainvälisten satelliittipalveluiden, kuten eurooppalaisen Copernicus-järjestelmän tai amerikkalaisen Landsat-satelliitin, tuottamaan aineistoon. Palvelu huomioi metsänomistajan kirjaamat omien metsiensä tuottoa ja hoitokäytäntöjä koskevat tavoitteet. Samaa materiaalia hyödyntävä mobiilisovellus pitää metsänomistajan ajan tasalla metsiensä arvosta ja auttaa harkitsemaan, tarttuako sähköisessä puun verkkokaupassa puusta tehtyyn ostotarjoukseen tai metsäpalveluyrittäjän esitykseen metsänhoitotoimista.

Halutessaan täsmätietoa esimerkiksi jonkin kuvion metsänhoitotarpeesta tai mahdollisista tuholaisvaurioista metsänomistaja voi lähettää käyttämäänsä metsäsuunnittelupalveluun kuvan kohteesta digikameralla ja saa arvion minuuteissa. Arvio perustuu automatiikkaan ja tarvittaessa asiantuntijakonsultaatioon. Palvelun tarjoaa suomalainen yritys, joka tuottaa vastaavaa palvelua kansainvälisille markkinoille ja hyödyntää työssään avointa metsävaradataa sekä kansainvälistä asiantuntijaverkostoa.

## Ravinnekierrätyksen alueellinen ekosysteemi

Alkutuotannon, teollisuuden sivuvirtojen sekä osin myös yhdyskuntajätteen sisältämien ravinteiden kierrätys joko teollisuuden käyttöön tai takaisin lannoitteiksi ja eläinten tai ihmisten ravintoaineiksi on tulevaisuuden biotalouden arkipäivää. Hajal- laan olevien virtojen kierrätys perustuu useiden

toimijoiden muodostamiin alueellisiin ekosys- teemeihin, jotka jakavat tietoa saatavilla olevista sivuvirroista, ravinnejakeista sekä tarpeista.

Tietoa jaetaan alueellisessa, karttapohjaisessa ravinneatlaaksessa, ja kehittyneet toiminnanohja- usjärjestelmät optimoivat ravinnevirtojen käyttöä. Toimintaa välittävät ravinteiden kierrätykseen erikoistuneet yritykset, jotka ottavat vastaan ravinnepitoisia sivuvirtoja, kuten maatalan lantaa ja kasvijätteitä, sekä teollisuuden ja palvelusektorin (kauppa, joukkorukoukailu) sivuvirtoja. Ekosysteemit

### Biotalouden tietopalvelut



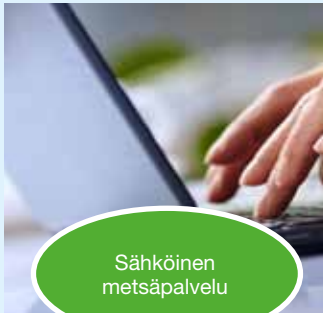
### Räätälöity ruokapalvelu

#### TAVOITE:

Personoitua tietoa ja useita tie- tolähteitä yhdistävä palvelu, joka ehdottaa käyttäjälle sopivan ateriareseptin ja tilaa tarvit- tavat ruokatarpeet kotiin tai noutopisteeseen

#### MAHDOLLISTAJAT

- IoT datankeruuseen ja tiedonvälitykseen
- Pilviteknologiat
- Järjestelmäintegraatio
- BigData-teknologiat ja data-analytiikka
- Käyttäjälähtöinen kehittäminen, käyttäjäkokemus
- MyData
- Mobiiliviestintä



### Sähköinen metsäpalvelu

#### TAVOITE:

Metsänomistajan palvelu, joka tuottaa metsänhoito- ja hak- kuusuunnitelmat reaaliaikaiseen tietoon perustuen sekä yhdistää ostajat, myyjät ja metsänhoi- topalveluita tarjoavat yrittäjät

#### MAHDOLLISTAJAT

- Kaukokartoitus, satelliittidata
- Pilviteknologiat
- Järjestelmäintegraatio
- BigData-teknologiat ja data-analytiikka
- Mobiiliviestintä
- Sähköiset markkinapaikat
- Paikkateknologiat
- MyData
- Multi-actor –projektit, yhteiskehittäminen
- Toimintakulttuurin muutokset



### Ravinnekierrätyksen alueellinen ekosysteemi

#### TAVOITE:

Ravinnepitoisten sivu- ja jätevirtojen hyödyntämisen mah- dollistava toimintaekosysteemi, joka perustuu karttapohjaiseen tietoon ravinnelähteiden saata- vuudesta ja ravinteiden käyttöä

#### MAHDOLLISTAJAT

- Sensorit, sensoriverkot
- Painettava elektroniikka, IoT, M2M
- Mobiiliverkot, 5G, WLAN
- BigData-teknologiat ja data-analytiikka
- Tietojärjestelmät (mm. "Ravinne- atlas"), system of systems
- Open data, yritysdata
- Dashboard, informaatioergonomia
- Pilvipalvelut
- Automaatio
- Käyttäjäraja- pinta, HMI yleensä

ovat avoimia "pop-up"-sivuvirtaerille ja ravinnelajakeiden tarvitsijoille.

Alueellisen tilannetiedon lisäksi tehokas ravinnekierrätys edellyttää maatalousyrittäjien tarkkaa tilannetietoa fosforin ja typen tilasta ja taseista omissa tuotantoprosesseissa. Tiedolla ohjataan ja säädetään prosesseja ravinteiden käytön suhteen optimaaliseksi. Tämä tehdään joko annostelemalla ravinteita prosessin suorituskyvyn mukaan täsmäsäätönä tai kohentamalla prosessin suorituskykyä, jotta se hyödyntäisi ravinteet tehokkaammin. Viimeksi mainittu tapahtuu säättämällä muita tuotannontekijöitä, kuten kastelu, ajoitus, muut ravinteet tai ravintoaineet, kasvinsuojelu tai eläinlääkintä. Sääätöpäätös voi olla täysin automatisoitu niin, että kone tekee päätökset.

Toiminnan edellytyksenä on, että kehitetään edullisia sensoreita, jotka soveltuvat ammoniumtypen, typpioksiduulin ja sulfaattien mittaamiseen hajautetuissa järjestelmissä. Maatilojen tuotannonohjauksen lisäksi sensoreita hyödynnetään myös alueellisessa ekosysteemissä osana lannoitteiden ja rehujen valmistuksen sekä logistiikan automaatio- ja monitorointijärjestelmiä.

### **Datavetoisen luonnonvaratalouden mahdollistajia ja esteitä**

Suomella on erinomaiset edellytykset nousta datavetoisen biotalouden ratkaisujen kansainväliseksi huipputaajaksi. Toiminnan perustana on kaukokartoitus- ja sensoriteknikan kehitys sekä datan avoimuus. Jarruiksi nousevat tiedon keruun ja siirron standardien puute tai sekavuus. Datan saatavuudessa ja hyödynnettävyydessä on vaihtelua eri aihealueilla, kuten metsävarojen hallinnassa tai ravinteiden kierrossa<sup>26</sup>.

Asiantuntijajärjestelmien lisäksi päätöksenteon tukea ja ohjausta tapahtuu sosiaalisen median kautta, kun ihmiset jakavat siellä kokemuksiaan ja saavat muilta palautetta valinnoistaan. Ihmisten jakaman datan käytön kynnyksenä on kuluttajien motiivointi omien tietojensa jakamiseen. Jakaminen edellyttää jonkinlaista palkkiota, joka voi vaihdella yhteisöön kuulumisesta tietojen saamiseen tai taloudelliseen korvaukseen. Myös tietosuojakäytännöt rajoittavat datan hyödynnettävyyttä, ja tämä on alue, jonka käytännöt edellyttävät kehittämistä ja täsmentämistä.



## MUUTOSPOLKU 3:

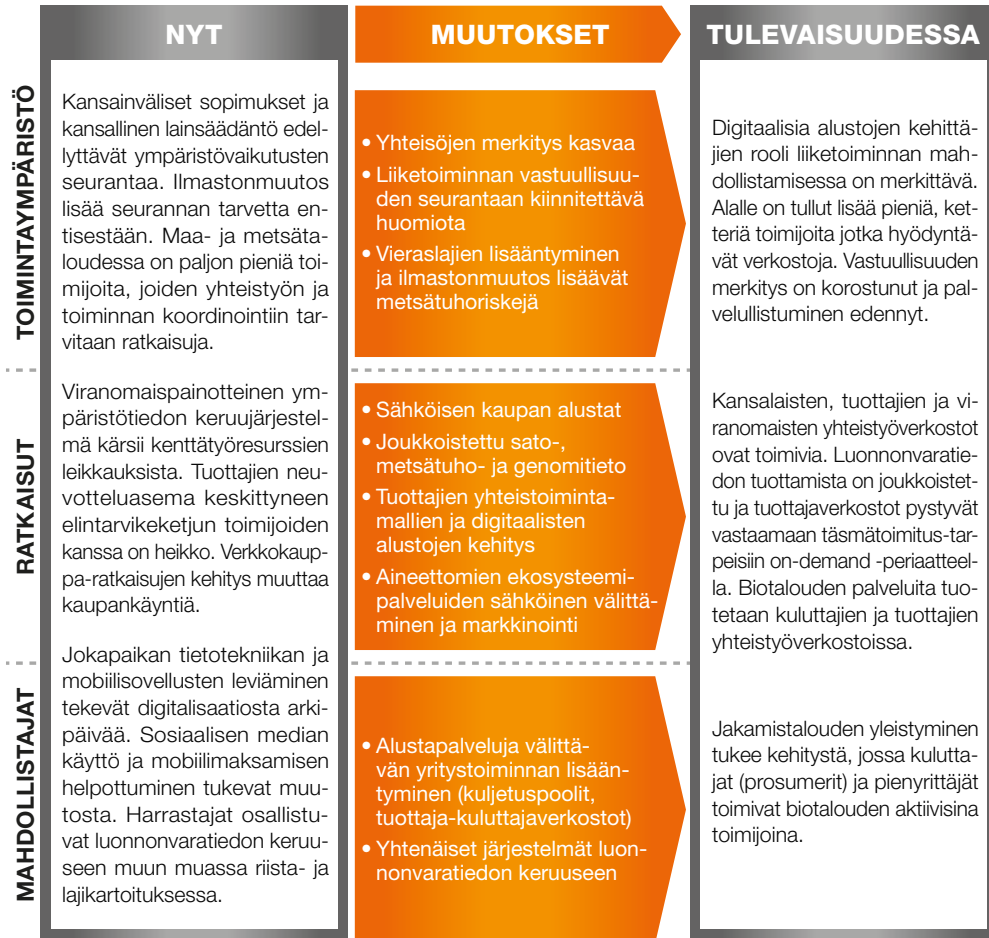
### Verkottunut ja yhteistoiminnallinen luonnonvaratalous

Kuva 7 kokoaa tekijöitä, jotka mullistavat tuotantoketjuihin ja hierarkkisiin hallintomalleihin perustuvaa biotalouden liiketoimintaa ja luonnonvarahallintaa. Älykkäässä biotaloudessa niiden rinnalle nousevat ketterät, verkottuneet toimintamallit.

Maa- ja metsätaloudessa on paljon pieniä toimijoita, jotka voivat hyötyä suuresti yhteistoiminnasta, kuten kuvasimme jo muutospolussa

1. Digitaaliset palvelut mahdollistavat pienten tuottajien yhteenliittymät ja pienten erien joustavan toimittamisen kysynnän mukaan. Digitaaliset palvelualustat tuovat myös kuluttajat lähemmäksi tuottajia, mikä lisää tarvetta ja mahdollisuuksia rakentaa kuluttajälähtöisiä biotalouden liiketoimintamalleja. Älykkäässä biotaloudessa toimintaa määrittävätkin entistä enemmän erilaiset tuottajien keskinäiset ja tuottajien ja kuluttajien väliset

### Verkottunut ja yhteistoiminnallinen luonnonvaratalous



Kuva 7. Tiekartta kohti verkottunutta ja yhteistoiminnallista luonnonvarataloutta.



verkkoyhteisöt, joissa vaihdetaan informaatiota tuotteista, opitaan toisten kokemuksista ja rakennetaan asiakassuhteita.

Myös luonnonvarojen käyttöä valvovien viranomaisten ja tuottajien sekä kansalaisten välinen vuorovaikutus ja yhteistoiminnallisen luonnonvarahallinnan käytännöt hyötyvät verkkopohjaisesta kommunikaatiosta. Luonnonvarahallinnon ja -tutkimuksen resurssien pienentyessä digitaalisia palveluja voidaan hyödyntää myös kansalaisten aktiivisuuteen perustuvassa, joukkoistetussa ympäristömuutosten ja luonnonvarojen käytön vaikutusten seurannassa, jota kuvasimme luvussa 2. Tämän kaltaisen datan keruun tarve kasvaa entisestään ilmastonmuutoksen aiheuttamien epävarmuuksien seurauksena. Jo tällä hetkellä seurantaa vaativat muun muassa vieraslajien lisääntyvä invaasio ja kasvavat metsätuhoriskit. Nämä ilmiöt näkyvät ilma- ja satelliittikuvissa, mutta niiden tarkempi kartoitus edellyttää myös maastoseurantaa, jossa kansalaiset voivat olla tärkeä voimavara.

Kansalaisten osallistaminen luonnonvarojen käytön ja ympäristömuutosten seurantaan tuottaa parhaimmillaan pohjaa biotalousalan ja luonnonvarahallinnon toimien yhteiskunnalliselle hyväksyttävyydelle. Kansalaisten aktivointi viranomaisyhteistyöhön ja tiedon tuotantoon ei kuitenkaan ole itsestään selvää, ja laajamittainen laadukkaan, kattavan ja luotettavan luonnonvaradatan keruu joukkoistamalla on vaativaa.

Yhteistyötä helpottavat mobiililaitteiden yleistyminen ja tiedonkeruuseen soveltuvien sovellusten kehittyminen. Joukkoistetulla luonnonvaratiedon keruulla on myös perinteitä muun muassa uhanalaisten lajien ja riistan seurannassa, jossa aktiiviset harrastajat ovat jo vuosien ajan olleet tärkeä tiedonlähde valvoville viranomaisille.

Verkottuneet liiketoimintamallit parantavat pienten tuottajien asemaa luonnonvarojen raaka-aine- ja lopputuotemarkkinoilla. Pienten toimijoiden on tällä hetkellä usein vaikea kilpailuttaa paitsi tuotteistaan ja suoritteistaan saamaa hintaa myös tuotantopanosten hintaa. Yhteisten tuote-erien tarjoamisen lisäksi verkottuminen mahdollistaa joustavien ja edullisten, saatavilla olevaa hukkatilaa hyödyntävien logistiikkapalvelujen kehittämisen.

Koska verkossa olevat palvelualustat helpottavat tuottajien ja kuluttajien välistä suoraa kaupankäyntiä, vähenee välikäsien, kuten tukkuliikkeiden, merkitys tuotevirtojen hallinnoinnissa. Suora kaupankäynti edellyttää kuitenkin biotalousalan tuottajilta sellaisia oman tuotannon markkinoinnin ja vuorovaikutuksen taitoja, joita perinteisessä raaka-aineketjussa toimiminen ei vaadi. Tämän vuoksi digitaalisten palvelujen tarjoajilla on keskeinen rooli biotalouden verkko-pohjaisen palveluliiketoiminnan kehittämisessä.

Mahdollisuudet omien tuotteiden suoraan markkinointiin ilman välikäsiä sekä pienten toimijoiden helpottunut yhteistyö vähentävät tuottajien riippuvuutta markkinoiden portinvartijoista. Biotalouden arverkkojen uudelleenjärjestymiseen liittyy myös kuluttajien aktiivinen rooli tuotannossa. Prosumerina toimivat kuluttajat osallistuvat tuotteiden räätälöintiin palvelualustoilla ja saattavat valmistaa lopputuotteen itse uusien 3D-printtauksen kaltaisten valmistusteknologioiden avulla.

Tasa-arvoisemmat voimasuhteet eri biotalouden toimijoiden kesken yhteisissä toimitus- ja arverkoissa edistävät parhaimmillaan biotalouden sosiaalista kestävyyttä. Verkottuneet toimintamallit edesauttavat uudenlaisten tuottajayhteisöjen sekä tuottajien ja kuluttajien välisten yhteisöjen syntyä. Lisääntynyt vuorovaikutus ja läpinäkyvyys tukevat myös vastuullisuutta ja toimijoiden välisen luottamuksen syntyä.

## Case: Tiedonkulku verkostoissa ja verkostoitunut toiminta elintarvikeketjussa<sup>27</sup>

Biotalouden monipuoliselle kehitymiselle on tärkeää, että alkutuotannon käytännön toimijat ovat elinvoimaisia ja biopohjaisia raaka-aineita tuotetaan tehokkaasti ja moninaiisiin tarkoituksiin. Biotalouden kehittämisessä on eduksi, jos erilaiset laatueroitukset erotellaan alkutuotannossa ja saattamaan ne jalostusprosesseihin

kannattavasti ja jäljitettävästi. Monesti arvokkaat laatueroitukset jäävät joko tunnistamatta tai erien toimijakohtaiset koot ovat niin pieniä, että niiden erilliskäsittely ja markkinointi ei ole kannattavaa.

Pienten toimijoiden on usein vaikea kilpailuttaa paitsi tuotteistaan ja suoritteistaan saamaansa hintaa myös tuotantopanosten hintaa. Tasa-arvoisemmat voimasuhteet eri biotalouden toimijoiden kesken yhteisissä toimitus- ja arvoverkostoissa olisivat tärkeitä kestävä biotalouden kehittämisen vuoksi.

### Tiedonkulku verkostoissa ja verkostoitunut toiminta



#### Alkutuottajien virtuaalivertaisverkko (VVV)

#### TAVOITE:

Virtuaalinen markkinapaikka, joka mahdollistaa viljelijöiden yhteistoiminnan tuotantoerien markkinoinnissa



#### Virtuaaliyhteisön joustava sopimus-tuotanto

#### TAVOITE:

Viljelijäyhteisön ja jalostavan teollisuuden yhteistoimintamalli, jossa viljelijät pystyvät yhteisvastaallisesti toimittamaan



#### Viljelijä-kuluttaja-verkosto

#### TAVOITE:

Alkuperätietoa ja lisätyn todellisuuden keinoja hyödyntävä palvelu, joka mahdollistaa suoran

### MAHDOLLISTAJAT

#### Digitaalisten teknologioiden kehittyminen

- IoT tuotantoprosessien datankeruuseen ja ohjaukseen
- Uudet sensorit aistimiseen
- Pilviteknologiat
- Järjestelmäintegraatio
- Älykäs automaatio ja robotiikka
- BigData-teknologiat ja data-analytiikka

#### Innovaatiotoiminta

- Kokeilukulttuuri
- Multi-actor -projektit, yhteiskehittäminen

#### Toimitusketjun työkalujen kehitys

- Mobiiliviestintä
- Sähköiset yksilöivät erätunnisteet
- Sähköiset markkinapaikat
- Paikkateknologiat

#### Kuluttajarajapinta

- MyData
- Sosiaalinen media
- Verkkokauppa
- Lisätty todellisuus

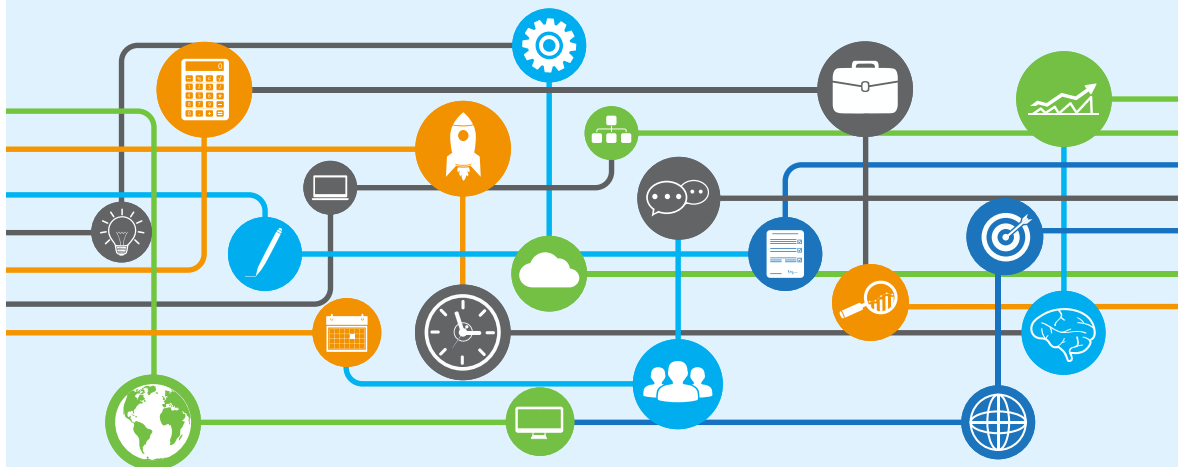
Esimerkkinä raaka-ainekaupasta voidaan tarkastella viljakauppaa. Viljelijät voivat toimia avoimella periaatteella ja kilpailuttaa viljaeränsä puintikauden jälkeen, tai he voivat toimia sopimusviljelijöinä. Sopimusviljelyssä viljelijät tekevät sopimuksen kukin erikseen viljan ostajan kanssa. Sopimus sitoo kumpaakin osapuolta, ja siinä määritellään selkeästi osapuolten oikeudet ja velvollisuudet. Viljan hinta voidaan sopia kiinteäksi tai se voidaan jättää auki sovittavaksi myöhemässä vaiheessa.

Puintikauden jälkeen viljelijä toimittaa ostajalle esinäytteen viljan laadun määrittämiseksi. Sen perustella ostaja tekee päätöksen, onko viljaerä vastaanotokelpoinen. Jos hintaa ei ole sovittu, sovitaan se viimeistään tässä vaiheessa. Sopimukset on mahdollista tehdä ostajan järjestelmistä riippuen joko sähköisesti pilvipalveluiden kautta tai perinteisesti paperisena sopimuksena.

Raportin sähköisessä liitteessä esitellään yksityiskohtaisempi ratkaisutiekartta kolmelle palvelukonseptille, jotka hyödyntävät digitaalista teknologiaa ja verkostomaisia toimintamalleja elintarvikeketjussa:

- **Alkutuottajien virtuaalinen vertaisverkko** parantaa viljelijöiden neuvotteluasemaa markkinoilla, koska se lisää ennustettavuutta ja mahdollistaa tuottajien yhteistoiminnan.
- **Virtuaalinen joustava sopimustuotanto** parantaa biotalouden tuotannon kykyä korkeamman jalostusasteen tuotteiden tuotantoon, sillä se varmistaa raaka-aineen saatavuutta.
- **Kuluttaja-viljelijäverkosto** parantaa viljelijöiden ja kuluttajien välistä tiedonkulkua ja mahdollistaa paremmat kuluttajapalvelut.

Kaikki kolme uudenlaista toimintamallia edellyttävät digitaalisten ratkaisujen ja dataa hyödyntävien työkalujen kehittämistä.





# 4. Seuraavat askeleet kohti älykästä biotaloutta

Digitalisaation, uusien biotalouden tuotantoprosessien ja luonnonvarahallinnan toimintamallien yhteiskehittäminen saattaa tönäistä liikkeelle radikaaleja kehityskulkuja, jotka muuttavat ymmärrystämme siitä, mitä uusiutuviin luonnonvaroihin nojaava talous tai yhteiskunta voi olla. Koska kyseessä on systeeminen muutos, jotkin toimijat ja toimintatavat häviävät ja uusia tulee tilalle.

Parhaimmillaan digitalisaatio voi mahdollistaa elinvoimaisemman, kilpailukykyisemmän ja ekologisesti kestävämmän biotalouden. Siirtymässä on kuitenkin myös riskejä. Tämä on tullut selkeästi ilmi mullistuksista, joita AirBnB:n ja Uberin kaltaiset, digitaalisiin alustoihin nojaavat palvelut ovat aiheuttaneet majoitus- ja kuljetusaloilla. Myös biotalouden piirissä kehitys on herättänyt pelkoja luonnonvarojen lisääntyvän käytön ympäristövaikutuksista ja yhteiskunnallisista seurauksista.

Kokosimme tiekarttatyön johtopäätöksinä seuraavat neljä teesiä viitoittamaan tietä kohti aidosti älykästä, joustavaa ja yhteistoiminnallista biotaloutta. Teesien jälkeen olemme tiivistäneet toimintasuositukset eri avaintoimijoille.

## Nyt tehdään uutta!

Elämme parhaillaan kiinnostavaa aikaa, koska digitalisaatio muuttaa taloudellisen toiminnan logiikkaa. Samalla etsitään vaihtoehtoja fossiilitaloudelle. Tämä luo uusia yhteistyö- ja ansaintamahdollisuuksia luonnonvarojen hyödyntäville tuotannonaloille. Nämä mahdollisuudet eivät kuitenkaan toteudu ilman rohkeata ja ennakkoluulotonta uusien toimintatapojen etsimistä.

Tulevaisuuden digitalisoitunut biotalous ei tarkoita sitä, että vain tehostetaan nykyisen kaltaista, luonnonvarojen hyödyntävää taloutta. Tarvitaan avoiminta ja ennakkoluulotonta luonnontieteellisen teknisen tietämyksen ja palvelu- ja liiketoiminnan välistä vuoropuhelua, jotta digitalisaatio saisi aikaan aidosti kannattavaa liiketoimintaa biotaloudessa. Tarvitaan myös rohkeaa kokeilukulttuuria. Haasteena voivat olla biotalouden toimijoiden ja digitaalisen maailman teknologiankehittäjien erilaiset orientaatiot.

Myös biotalouden eri tuotannonalojen keskinäiset siilot on murettava. Uusia digitaalisen biotalouden liiketoimintamalleja ja -mahdollisuuksia on haettava toimintaympäristössä, joka on nopea ja ketterä liikkeissään. Jos dialogia ei synny, voivat digitalisaation hyödyt biotalouden vauhdittajana jäädä toteutumatta.

## Digitalisaatio tehostaa biotalouden toimitusketjuja

Digitalisaation ilmeisin hyöty liittyy resurssitehokkuuden edistämiseen, kun raaka-aineet voidaan ohjata digitaalisten järjestelmien tukemana optimaaliseen käyttöön. Datamäärän lisääntyminen, tietojärjestelmien kehittäminen ja ennustavien järjestelmien käyttöönotto nopeuttavat ja tehostavat toimintaa. Tehokkuutta lisäävät myös digitalisaation mahdollistavat täsmäratkaisut, joita esiteltiin muun muassa täsmäviljelyn yhteydessä. Tulevaisuudessa viljely voidaan robotisoida ja vähentää siten ihmistyön tarvetta. Teknologisesti tämä olisi jo mahdollista, mutta autonomisten koneiden hyödyntämisen edellytyksenä on vielä erilaisten

turvallisuus- ja vastuukysymysten ratkaisu sekä toimintamallien kehitys vikatilanteisiin.

Digitalisaation avulla voidaan tehostaa olemassa olevaa tuotantoa, eikä tehostamiseen välttämättä liity suurempaa liiketoimintamallien tai ansaintalogiikan murrosta. Esimerkiksi eläintuotannossa voidaan toteuttaa sensoriteknologian ja optisten kuvantamismenetelmien avulla tuotantoeläin kohtaista täsmäruokintaa tai eläinten hyvinvointia edistäviä järjestelmiä.

### *Parhaimmillaan digitalisaatio voi mahdollistaa elinvoimaisemman, kilpailukykyisemmän ja ekologisesti kestävämmän biotalouden.*

Pidemmällä aikavälillä tehostamisvaikutukset edellyttävät kuitenkin sitä, että digitalisaatio ymmärretään laaja-alaisena muutoksena, joka vaikuttaa toimintatapoihin. Kustannustehokkuutta ja tuottavuuden kasvua ei voida saavuttaa, jos päätöksentekojärjestelmää ja organisaatioita ei mukauteta uuteen digitalisaation mahdollistamaan toimintatapaan. Muutoksen avainasemassa ovat näin johtamiskulttuuri ja toimijoiden sitoutuminen uudelleen toimintamalliin.

### **Lisää arvoa palvelun ja tuotteen yhdistelmällä**

Digitalisaation täydet hyödyt pystytään kotiuttamaan vasta silloin, kun biotalouden tuotteita ajatellaan laajempina palvelukokonaisuuksina. Tämä tarkoittaa lopputuotteen arvon lisäämistä yhdistämällä siihen digitalisaation mahdollistamia palveluelementtejä.

Tuotepalveluyhdistelmiä on syytä kehittää niin tuotantoketjujen sisällä kuin kuluttajille. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että työkoneista kehittyä digitalisoidun maa- ja metsätalouden tiedontuottoyksiköitä, jotka työsuoritteiden lisäksi tuottavat tietoa tuotantoketjun päätöksentekoon. Työkoneen valmistaja voi kehittää konekaupan rinnalle palvelutarjontaa esimerkiksi huoltoon ja kunnossapitoon tai robotisoitujen ratkaisujen etävalvontaan ja ohjaukseen. Siirtyminen tuotekeskeisestä ajattelusta palvelukeskeiseen voi avata kokonaan uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja synnyttää tilaisuuksia uudelleenlaajalle yritystoiminnalle.

Biotalous palvelullistuminen ja erityisesti kuluttajakeskeisten ratkaisujen rakentaminen ovat tällä hetkellä vielä alkutekijöissään. Mielenkiintoisia mahdollisuuksia voisivat tarjota esimerkiksi yksityishenkilöiden omistamat dronit (lennokit), jotka tuottaisivat paikallista digitaalista kuvamateriaalia palvelujärjestelmään. Kuvamateriaalia voisi ostaa kuka tahansa, esimerkiksi puunkorjuukohteesta tai retkeilyreitistä kiinnostunut. Teknologiset elementit ja palvelun tarve on jo tunnistettu, mutta ne yhdistävät palvelut ovat vielä rakentumassa.

Palveluelementtien kehittäminen on siksi keskeinen jatkokehityksen kohde. Digitalisaatio luo



mahdollisuuksia tuottaa muun muassa yksilöllisiä, personoituja tuotteita. Tuotteiden alkuperän ja jalostuksen seuranta mahdollistaa tuotannon ympäristöystävällisyyden ja eettisyyden nostamisen kilpailueduksi. Lisäksi älyvaatteiden ja aktiivirannekkeisiin liitettyjen ruokapalvelujen kaltaiset tuotteet tarjoavat mahdollisuuksia kehittää uudenlaisia biotalouden hyvinvointipalveluja.

### **Datasta tietoa ja tiedosta lisäarvoa biotalouteen**

Tieto on digitalisoituneessa biotaloudessa olennainen tuotantotekijä luonnonvarojen rinnalla. Sensorien, kaukokartoitusjärjestelmien ja seurantasovellusten kokoama data muuttuu tiedoksi vasta erilaisten tietoratkaisujen, sovellusten ja analyysipalveluiden avulla. Joukkoistamalla voi-

*Jos dialogia ei synny, voivat digitalisaation hyödyt biotalouden vauhdittajana jäädä toteutumatta.*

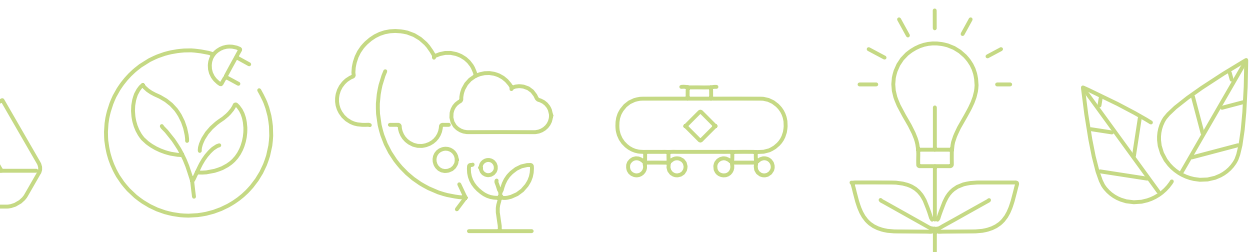
daan laajentaa aineistopohjaa edelleen. Aktiiviset luonnossa liikkujat, kuten marjastajat, metsästäjät tai vaikkapa partiolaiset, voivat kerätä arvokkaita aineistoja tai täydentää viranomaistyönä koottavia aineistoja. Tällaisten kansalaisryhmien motivaation tunnistaminen – ja motivointi – on edellytys sekä toimivien järjestelmien luomiselle että tiedon harrattomuuden tunnistamiselle. Joukkoistamisen laajentaminen tuokin tullessaan mielenkiintoisia tutkimustehtäviä käyttäytymistieteiden ja teknologisten ratkaisujen rajapintaan.

Biotaloudessa luonnonvara-, raaka-aine- ja tuotetietojen yhdistäminen muista datalähteistä saatavaan tietoon tarjoaa uusia mahdollisuuksia ennakoivien mallien toteuttamiseen. Teolliselle käyttäjälle tämä merkitsee parempaa materiaa- livojen hallintaa tilanteessa, jossa raaka-aineet ovat hajallaan ja niiden laatu ja korjuuolosuhteet vaihtelevat. Raaka-aineen tarjoaja puolestaan voi optimoida tuotannosta saatavan hinnan, jos saatavilla on reaaliaikaista markkinatietoa. Julkisille toimijoille tarkemmista malleista on hyötyä esimerkiksi ilmastopolitiikan tukena.

Digitalisaatio on avannut keskustelun julkisten tietovarantojen tuottamisen ja hyödyntämisen pelisäännöistä. Julkin varoin tuotettuja luonnonvaratietoja on jo avattu kaupalliseen käyttöön joko ilmaiseksi tai korvausta vastaan. Esimerkiksi varsin pitkälle tulkittuja metsävaratietoja on ollut useita vuosia toimijoiden saatavilla.

Jatkossa satelliittidatan pohjalta jopa viikoittain päivittyvät biomassavarakartat tai säädataan perustuvat tuntikohtaiset kulkukelpoisuusennusteet tuovat aivan uusia mahdollisuuksia puun oston ja metsäoperaatioiden suunnittelulle ja toteutukselle. Myös maa- ja metsätalouden työkoneet, laitteet ja ajoneuvot keräävät erittäin yksityiskohtaista aineistoa paitsi itsestään myös käyttäjistään osana arkipäiväistä toimintaa.

Tietojen avoin hyödyntäminen on koko toimialan etu. Yksityisyydensuojaan ja tiedon omistusoikeuksiin liittyvät kysymykset ovat kuitenkin osin auki. Tieto on myös valtaa, ja tietoa varastoivat ja tiedon vaihdanta- ja analyysipalveluja tarjoavat toimijat nousevat entistä suurempaan rooliin digitalisoituneessa biotaloudessa.



# TOIMIJOIDEN YHTEISTYÖLLÄ KOHTI DIGITALISOITUA BIOTALOUTTA

Digitaalisten ratkaisujen synnyttäminen biotalouteen vaatii teknologian, tietämyksen ja toimintatapojen kehittämistä. Pysyviin ja toimiviin ratkaisuihin päästään vain yhdistämällä kaikki kolme näkökulmaa, mikä puolestaan edellyttää eri toimijoiden yhteistyötä.

Taulukkoon 1 on koottu tämän tiekarttatyön perusteella tehdyt suositukset eri toimijoille. Tuottajat ymmärretään tässä yhteydessä digitaalisten ratkaisujen tuottajina ja käyttäjät biotalouden toimijoina, jotka hyödyntävät näitä palveluita. Tutkimusta ja kehitystä tekeviin tahoihin viitataan kehittäjien ryhmällä ja yhteiskunnallisilla toimijoilla viitataan laajempaan yhteiskunnan organisaatioiden kenttään.

**Taulukko 1. Suositukset eri toimijoille biotalouden digitalisaation edistämiseksi.**

Suosituks <sup>et</sup> tuottajille
<p><b>ASIAKAS KESKIÖÖN</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Digitalisaatio nostaa asiakkaan keskiöön: asiakastiedon aktiivinen kerääminen ja hyödyntäminen ovat avainasemassa digitaalisten ratkaisujen kehityksessä.</li><li>• Tunnista asiakkaan tarpeet ja muotoile ongelmanratkaisu käyttäjän näkökulmasta. Hae mahdolliset ratkaisut ja teknologiat tähän tarpeeseen.</li></ul> <p><b>AJATTELUTAVAN MUUTOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Digitalisaatio vaatii nopeutta, ketteryyttä ja sopeutumiskykyä. Tällaisessa toimintaympäristössä kokeilukulttuurin edistäminen ja omaksuminen nousevat keskiöön.</li><li>• Tekemällä oppii: Osallistu aktiivisesti uusien digiprojektien ideoimiseen, kehittämiseen ja pilotointiin.</li><li>• Hae kumppaneita ja verkostoja</li></ul>
Suosituks <sup>et</sup> käyttäjille
<p><b>LÖYDÄ MAHDOLLISUUDET JA OSALLISTU KEHITYKSEEN</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mieti, mikä voi muuttua, missä digitaalinen ratkaisu voi toimia tai tuoda hyötyjä.</li><li>• Mene mukaan uusien digiprojektien ideoimiseen, kehittämiseen ja pilotointiin, tuo tarpeesi esille.</li></ul> <p><b>VARMISTA, ETTÄ PÄÄSET KYIITIIN MUKAAN</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pysy kärryillä digitalisaatiokehityksessä niin, että osaat tunnistaa tarpeitasi ja ymmärrät ratkaisumahdollisuuksia.</li><li>• Digitalisaatio ei ole pelkkä it-projekti, mutta ilman teknologiavalmiuksia voit jäädä muutoksen kelkasta.</li></ul>



## Suosituksset kehittäjille

### KOKEILUKULTTUURI JA KETTERYYS

- Omaksu kokeilukulttuuria tukeva ajattelutapa. Uskalla yrittää ja erehtyä.
- Opettele ensin pienessä mittakaavassa, simuloi ratkaisuja ja hae sitä kautta tuottavampia polkuja.

### UUDET KONSEPTIT JA LIKETOIMINTANÄKÖKULMA

- Tutkimuksen tulee nostaa esiin uudenlaisia mahdollisuuksia, joita voidaan synnyttää yhdistämällä teknologisuonnontieteelliseen kehitykseen aina myös liiketoimintanäkökulma.
- Keskeinen tavoite tulisi olla uusien konseptien rakentaminen ja niihin liittyvien uusien bisneskäytäntöjen seurausten ennakointi.

### VUOROVAIKUTUSTA JA UUSIA KUMPPANUUKSIA

- Hae kumppaneita ja uusia näkökulmia, lisää verkostoitumista asiakkaiden ja muiden asiantuntijoiden kanssa.
- Keskeytä käyttäjien ja asiakkaiden uusien tarpeiden tunnistamiseen ja ennakointiin.
- Viestintää ja vuorovaikutusta asiakkaiden kanssa.

## Suosituksset yhteiskunnallisille toimijoille

### LAINSÄÄDÄNTÖ

- Digitalisaatio on iso ja nopea muutos, joka voi tuoda haasteita lainsäädännön hitaudelle. Sääntelyä on muutettava uusia toimintamalleja mahdollistavaksi.

### TIETOTURVA JA TIEDON PELISÄÄNNÖT

- Digitalisaation toteutumisen ja digitaalisten palveluiden kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että tietoturva voidaan taata.
- Tiedon omistamisen, vaihdannan ja yksityisyydensuojan pelisääntöjen selkeyttäminen on myös keskeistä.

### KÄRSIVÄLLISTÄ RAHAA JA RISKIRAHOITUSTA

- Rahoitusinstrumentteja on kehitettävä siten, että uusien ratkaisujen kehittäminen ja kaupallistaminen mahdollistuvat. Tarvitaan riskirahoitusta.
- Pitkäjänteinen ratkaisukehitys edellyttää myös pitkäaikaisrahoitusta lyhytkestoisten hankkeiden sijaan. Esimerkiksi luonnonvaratiedon keruun joukkoistaminen edellyttää pitkäjänteistä kehitystä alkuvaiheessa, mutta pidemmällä aikavälillä voidaan myös luoda uutta liiketoimintaa ja käyttää yhteiskunnan varoja tehokkaasti luonnonvaratiedon keruussa.

### ENNAKOIVAA MAHDOLLISTAMISTA

- Viranomaistoiminnassa on omaksuttava ennakoiva asenne, joka tukee uusien ratkaisujen syntymistä. Tavoitteeksi pitää ottaa viranomaistehtävien tarkoituksenmukainen digitalisaatio. Tämä edellyttää tehtävien systemaattista läpikäyntiä ja analyysiä siitä, missä digitalisaatiolla voidaan saavuttaa hyötyjä.
- Muutoksen toteuttamisen keinona voidaan käyttää innovatiivisia julkisia hankintoja ja kilpailutusta.

## LIITE: TIEKARTTAPROSESSIIN OSALLISTUNEET TUTKIJAT

Tiekartta perustuu aineistoon, joka on muodostettu VTT:n ja Luonnonvarakeskuksen tutkijoiden yhteistyöllä. Seuraavat tutkijat ovat osallistuneet tiekartta-aineiston muodostamiseen prosessin eri vaiheissa:

### Tiekarttatyötä suuntaava työpaja 5.4.2016

Jari Ala-Ilomäki, Luke  
Mikko Arvas, VTT  
Antti Asikainen, Luke  
Juha Backman, Luke  
Jarkko Hantula, Luke  
Tuomas Häme, VTT  
Anu Kaukovirta-Norja, VTT  
Johanna Kohl, VTT  
Hanna Koskinen, Luke  
Kristiina Kruus, VTT  
Timo Muhonen, Luke  
Kaisa Nieminen, Luke

Emilia Nordlund, VTT  
Merja Oja, VTT  
Jaakko Paasi, VTT  
Tuula Piri, Luke  
Liisa Pesonen, Luke  
Juha-Pekka Pitkänen, VTT  
Heikki Saari, Luke  
Anu Seisto, VTT  
Mikko Utriainen, VTT  
Kari Väätäinen, Luke  
Maria Åkerman, VTT

**Tiekartta-aineiston tuottaminen työryhmissä  
kesä-elokuussa 2016**

<b>Työryhmä</b>	<b>VTT</b>	<b>Luonnonvara- keskus</b>
<b>Genominen ja solubiologinen BigData</b>	Juha-Pekka Pitkänen Kristiina Kruus Arja Laitila Mikko Arvas	Kaisa Nieminen Jarkko Hantula
<b>Kaukokartoitus</b>	Tuomas Häme Mikko Utriainen	Annika Kangas Eeva Lehtonen Jukka Antikainen
<b>Työkoneet/ automaatio/ robotisaatio</b>	Pekka Isto Kalle Määttä Pauliina Tukiainen Klaus Niemelä	Jari Ala-Ilomäki Juha Backman Tuula Piri Kari Väätäinen
<b>Logistiikka</b>	Janne Häkli Kaarle Jaakkola Marika Makkonen Johan Scholliers Matti Virkkunen	Juha Laitila Timo Muhonen Kari Väätäinen
<b>Joukkoistaminen</b>	Anu Seisto Mikko Utriainen	Heli Viiri Samuli Heikkinen Katja Holmala Jyrki Pusenius Vesa Ruusila Rainer Peltola
<b>Ravinteet Ruokaketju (alkupää)</b>	Rajja Lantto Mikko Utriainen Janne Paaso Emilia Nordlund	Liisa Pesonen, Anne Pihlanto Matti Pastell Pasi Suomi
<b>Energia</b>	Tiina Koljonen	Antti Asikainen

**Johtopäätösten muotoiluun keskittynyt työpaja 28.10.2016**

Antti Asikainen, Luke  
Pekka Isto, VTT  
Annika Kangas, Luke  
Kristiina Kruus, VTT  
Anna Leinonen, VTT  
Timo Muhonen, Luke  
Liisa Pesonen, Luke

Juha-Pekka Pitkänen, VTT  
Anu Seisto, VTT  
Caj Södergård, VTT  
Mikko Utriainen, VTT  
Heli Viiri, Luke  
Maria Åkerman, VTT

## LÄHTEET

1. Kestävää kasvua biotaloudesta – Suomen biotalousstrategia (2014) Työ- ja elinkeinoministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö. 30 s.
2. Asikainen A., Mutanen A., Kangas A., Vehmasto E., Verkasalo E., Ylitalo E., Hynynen J., Viitanen J., Backman J., Laitila J., Korhonen K.T., Finér L., Neuvonen M., Kurttila M., Peltoniemi M., Salminen O., Peltonen-Sainio P., Peltola R., Korpinen R., Kurppa S., Rätty T., Saksa T., Sievänen T., Packalen T., Saarinen V.-M., Kankaanhuhta V., Koltto L. (2016) Vihreä biotalous: 100-vuotiaan Suomen hyvinvoinnin ja kilpailukyyn perusta. Jaakkonen A.-K., Ylitalo E. (toim.). Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 59/2016. 25 s.
3. Tahvanainen A.-J., Adriaens P., Assanis D. (2016) On the Potential of the Bioeconomy as an Economic Growth Sector. ETLA Brief No 43. <http://pub.etla.fi/ETLA-Muistio-Brief-43.pdf>
4. Ks. viite 2.
5. <http://valtioneuvosto.fi/hallitusohjelman-toteutus/biotalous>
6. <http://www.biotalous.fi/spinnova-oy-puukuitulankahanke-biojalostamokilpailun-voittoon/>
7. Manninen J., Brandt V., Kallionpää S., Lepola M. (2015) Uuskasvun polut – digitalisaation lupaus. Telia Sonera Finland Oy. 279 s.
8. Pääasiallisena lähteenä sanaston muodostamisessa on käytetty edellisessä viitteessä mainittua teosta, Manninen ym. (2015).
9. Aillisto H. (toim.), Collin J. (toim.), Juhanko J. (toim.), Mäntylä M. (toim.), Ruutu S. (toim.), Seppälä T. (toim.) Halén M., Hiekkänen K., Hyytinen K., Kiuru E., Korhonen H., Kääriäinen J., Parviainen P., Talvitie J. (2016) Onko Suomi jäämässä alustatalouden junasta? Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 19/2016, Valtioneuvoston kanslia. 52 s.
10. Pelkonen A., Ahlqvist T., Leinonen A., Nieminen M., Salonen J., Savola R., Savolainen P., Suominen A., Toivanen H., Kyheröinen J., Remes J. (2016) Kyberosaaminen Suomessa – Nykytila ja tiekartta tulevaisuuteen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 9/2016, Valtioneuvoston kanslia. 90 s.
11. Parviainen P., Kääriäinen J., Teppola S., Tihinen M. (2016) Tackling the Digitalisation Challenge: How to Benefit from Digitalisation in Practice. Submitted to International Journal of Information Systems and Project Management (10.6.2016), <http://www.sciencesphere.org/ijispm/index.php>.
12. Backman J. (2015) Kasvintuotantojärjestelmien digitalisaation tiekartta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 71/2015.

13. Case on kuvattu tarkemmin sähköisen raportin liitteessä (Case 5: Digitalisoitu viljely).
14. Case on kuvattu tarkemmin sähköisen raportin liitteessä (Case 4: Genominen big data ja sen hyödyntäminen luonnonvarojen hallinnassa).
15. James C. (2015) 20th Anniversary (1996 to 2015) of the Global Commercialization of Biotech Crops and Biotech Crop Highlights in 2015. ISAAA Brief No. 51. ISAAA, Ithaca, NY.
16. Briefing Packet: AquAdvantage Salmon. Food and Drug Administration Center for Veterinary Medicine. 20 September 2010.
17. Reardon S. (2016) Gene-editing record smashed in pigs; Researchers modify more than 60 genes in effort to enable organ transplants into humans. Nature, 6 October 2016. doi:10.1038/nature.2015.18525.
18. Cyranoski D. (2015) Gene-edited 'micropigs' to be sold as pets at Chinese institute. Nature 526, 18; 29 September 2015. doi:10.1038/nature.2015.18448.
19. Jain M., Olsen H.E., Paten B., Akeson M. (2016) The Oxford Nanopore MinION: delivery of nanopore sequencing to the genomics community. Genome Biology 17:239. doi: 10.1186/s13059-016-1103-0.
20. Case on kuvattu tarkemmin sähköisen raportin liitteessä (Case 3: Joukkoistaminen luonnonvaratiedon tuottamisessa).
21. Katso tarkempi kuvaus sähköisen raportin liitteestä (Case 8: Digitalisoitu ravinnekierto)
22. Katso tarkempi kuvaus sähköisen raportin liitteestä (Case 2: Uudet datalähteet luonnonvarojen hallinnassa).
23. Katso tarkempi kuvaus sähköisen raportin liitteestä (Case 1: Digitaaliset ratkaisut puun tehokkaampaan hyödyntämiseen).
24. Katso tarkempi kuvaus sähköisen raportin liitteestä (Case 6: Eläintuotannon digitalisaatio).
25. Poutanen K. ym. (2017) VTT:n visio älykkään, kuluttajakeskeisen ruokatuotannon aikakauteen. VTT Visions 9. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2017/V9.pdf>
26. Lisätietoja näistä aiheista löytyy sähköisen raportin case-kuvauksista (Case 2: Uudet datalähteet luonnonvarojen hallinnassa ja Case 8: Digitalisoitu ravinnekierto).
27. Katso tarkempi kuvaus sähköisen raportin liitteestä (Case 7: Tiedonkulku verkostoissa ja verkostoitunut toiminta elintarvike ketjussa).

<b>Nimike</b>	<b>Bittejä ja biomassaa – Tiekartta digitalisaation vauhdittamaan biotalouteen</b>
<b>Tekijät</b>	<p><b>Toimituskunta:</b> Anna Leinonen (VTT), Maria Åkerman (VTT), Kristiina Kruus (VTT), Antti Asikainen (Luke), Timo Muhonen (Luke), Johanna Kohl (VTT)</p> <p><b>Kirjoittajat:</b> Jari Ala-Ilomäki (Luke), Mikko Arvas (VTT), Juha Backman (Luke), Jarkko Hantula (Luke), Katja Holmala (Luke), Tuomas Häme (VTT), Pekka Isto (VTT), Annika Kangas (Luke), Raija Lantto (VTT), Kaisa Nieminen (Luke), Emilia Nordlund (VTT), Matti Pastell (Luke), Rainer Peltola (Luke), Liisa Pesonen (Luke), Juha-Pekka Pitkänen (VTT), Tuula Piri (Luke), Jyrki Pusenius (Luke), Anu Seisto (VTT), Pasi Suomi (Luke), Mikko Utrainen (VTT), Heli Viiri (Luke), Kari Väättäinen (Luke)</p>
<b>Tiivistelmä</b>	<p>Suomella on erinomaiset mahdollisuudet nousta biotalouden kansainväliseksi edelläkävijäksi. Runsaat uusiutuvat luonnonvarat ja pitkälle kehittynyt osaaminen niiden kestävässä hyödyntämisessä tarjoavat perustan kehittää uusia ratkaisuja, joiden avulla voidaan siirtyä vähähiiliseen ja resurssitehokkaaseen talouteen. Tavoitteen toteuttamista edistää käynnissä oleva digitalisaatio, joka tuo luonnonvaroja koskevan tiedon entistä laajemmän toimijajoukon hyödynnettäväksi ja mahdollistaa uudenlaiset verkottuneet toimintamallit. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Luonnonvarakeskus ovat yhteistyössä laatineet tiekartan, joka viitoittaa polkuja kohti digitalisaation mahdollisuuksia hyödyntävää, tietointensiivistä, kilpailukykyistä ja yhteistoiminnallista biotaloutta.</p> <p>Työssä tunnistettiin kolme muutospolkua digitalisoidun biotalouden saavuttamiseksi ja kuvattiin niihin kytkeytyviä case-esimerkkejä. Muutospolut ovat: 1) <i>Älykäs biomassavirtojen hallinta</i>, jonka tavoitteena on tuottaa enemmän arvoa raaka-aineesta toteuttamalla digitaalisia ratkaisuja raaka-aineen optimaaliseen käyttöön, älykkääseen logistiikkaan ja joustaviin tuotannonohjausjärjestelmiin. 2) <i>Datavetoinen biotalous</i>, joka kokoaa biotaloutta edistävän luonnonvaratiedon tuottamiseen, analysointiin ja muokkaamiseen liittyviä kehitystarpeita. Digitaalisilla ratkaisulla voidaan lisätä läpinäkyvyyttä ja tukea ennakoivaa päätöksentekoa. 3) <i>Verkottunut ja yhteistoiminnallinen luonnonvaratalous</i>, joka käsittää digitaalisten alustojen ja liiketoimintamallien kehittämisen biotalouden toimijoiden verkostoituneen toiminnan mahdollistamiseksi.</p> <p>Tiekarttatyön tuloksena muotoiltiin toimintasuosituksia eri avaintoimijoille. Digitalisaatio vaatii nopeutta, ketteryyttä ja sopeutumiskykyä. Tällaisessa toimintaympäristössä kokeilukulttuurin omaksuminen on tärkeää. Tutkimusta tulee suunnata uusien konseptien kehittämiseen ja niihin liittyvien liiketoimintamallien seurausten ennakkointiin. Keskeistä on tunnistaa asiakastarpeita ja ymmärtää palvelut olennaiseksi osaksi tuotteita. Viranomais-toiminnassa on omaksuttava ennakoiva asenne, joka tukee uusien ratkaisujen syntyä. Innovatiivisten hankintojen edistäminen on yksi keino toteuttaa muutosta.</p>
<b>ISBN, ISSN, URN</b>	<p>ISBN 978-951-38-8604-2 (painettu)</p> <p>ISBN 978-951-38-8605-9 (sähköinen)</p> <p>ISSN-L 2242-1157</p> <p>ISSN 2242-1157 (painettu)</p> <p>ISSN 2242-1165 (sähköinen)</p> <p><a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8605-9">http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8605-9</a></p>
<b>Julkaisu-aika</b>	Huhtikuu 2017
<b>Kieli</b>	Suomi
<b>Sivumäärä</b>	51 s.
<b>Avainsanat</b>	Biotalous, digitalisaatio, luonnonvarat, tiekartta

# Sovellusesimerkkejä biotalouden digitalisaatiosta

## Sähköinen liite VTT Visions 11 -julkaisuun

Tässä liitteessä esitellään yksityiskohtaisemmin sovellusesimerkkejä, joista osaa käsiteltiin tietar-  
tan tietoruuduissa. Painopiste on biomassavirtojen ja luonnonvaratiedon hallinnassa.

### Sisältö

Case 1: Digitaaliset ratkaisut puun tehokkaampaan hyödyntämiseen .....	2
Case 2: Uudet datalähteet metsävarojen hallinnassa .....	10
Case 3: Joukkoistaminen luonnonvaratiedon tuotannossa .....	17
Case 4: Genominen big data ja sen hyödyntäminen luonnonvarojen hallinnassa.....	28
Case 5: Digitalisoitu viljely .....	33
Case 6: Eläintuotannon digitalisaatio.....	37
Case 7: Tiedonkulku verkostoissa ja verkostoitunut toiminta elintarvikeketjussa .....	43
Case 8: Digitalisoitu ravinnekierto .....	47

## Case 1: Digitaaliset ratkaisut puun tehokkaampaan hyödyntämiseen

**Jari Ala-Ilomäki, Kari Väätäinen, Tuula Piri, Antti Asikainen, Timo Muhonen, Pekka Isto,  
Kari Väätäinen & Anna Leinonen**

Suomessa on päivittäin toiminnassa noin 2000 hakkuukonetta, joiden keräämä leimikkokohtainen tieto tarjoaa valtavan tietovarannon, jota digitalisaation avulla voidaan käyttää metsien tehokkaampaan hyödyntämiseen. Tulevaisuuden metsäkoneet ovat osittain automatisoituja ja mittaavat toimintansa aikana sekä omaa toimintaansa että metsäympäristöä metsänhoidon ja puunkorjuun tehostamiseksi. Mitattua tietoa toimitetaan sekä opastukseksi kuljettajalle että koneiden käytön tehostamiseksi puunkorjuuyritykselle ja puunhankintaorganisaatiolle.

Kehitystä edistävät väestön vanheneminen, koulutustason nouseminen, resurssien niukkuus, ympäristötietoisuuden lisääntyminen, halpeneva anturiteknologia ja langattoman tietoliikenteen kehittyminen. Täysin automatisoidut puunkorjuukoneet ovat nykikäsitteiden valossa kuitenkin kaukana tulevaisuudessa. Tämä johtuu haastavista toimintaoloista, kuten vaihtelevista maasto-olosuhteista.

Kustannustehokkaat, oikea-aikaiset ja raaka-aineen laadun huomioivat puubiomassan toimitukset metsästä jalostuslaitoksiin ovat tärkeä osa sekä aines- että energiapuutoimitusketjua. Muun muassa jalostuslaitosten käyttöennusteet, varastojen määrä- ja laatu- ja niiden ennusteet yhdistettynä sijaintitietoon sekä tieverkon kulkukelpoisuustieto avaavat uusia näkymiä kuljetusten optimoinnin digitaalisille ratkaisuille.

Jotta toimitusketjun osat voivat hyödyntää kerättävää tietoa ja tiedon pohjalta voidaan rakentaa toimintaa ohjaavia malleja, on tiedon oltava joko saatavissa koottuna yhteen tietopankkiin tai yhdistettävissä eri tietolähteistä. Yksi mahdollinen ratkaisu tiedon hyödyntämiseen on leimikkotietopankki, joka kokoaisi erityisesti puuston määrään, laatuun ja olosuhdetietoihin liittyvää dataa. Siihen koottaisiin sekä ennakkomittaustietoa että korjuun yhteydessä saatavaa tietoa.

Suomessa tehdään parhaillaan investointeja metsäbiomassaa hyödyntäviin biotalouden tuotantolaitoksiin<sup>1</sup>. UPM:n biodiesel-tuotanto käynnistyi Lappeenrannassa alkuvuonna 2015 ja Stora Enson ligniinin erottelu Sunilan sellutehtaalla samoin vuonna 2015. Metsä Groupin biotuotetehtas käynnistyy vuoden 2017 syksyllä. Samana vuonna tehdään myös lopulliset investointipäätökset Finn pulp Oy:n Kuopioon suunnitellusta sellutehtaasta, joka tuottaa sivutuotteena 60 000 tonnia mäntyöljyä<sup>2</sup>, sekä kiinalaisomisteisesta biodieseltehtaasta Kemijärvellä<sup>3</sup>. Molempien suunniteltu tuotannon käynnistysajankohta on vuonna 2019.

Uusien biotuotteiden valmistaminen on edellyttänyt tuotantoprosessien kehittämistä. Laitosten sijoitteluun on omalta osaltaan vaikuttanut raaka-aineen saatavuus. Biotalousperiaatteen mukaisesti keskeistä on raaka-aineen kokonaisvaltainen hyödyntäminen. Stora Enson, Metsä Groupin ja Finn pulp Oy:n esimerkeissä toiminta perustuu sellun tuotannon sivuvirtojen hyödyntämiseen. Kandi Finland Oy kertoo olevansa maailman ensimmäinen suoraan puusta biopoltoaineita jalostava

---

<sup>1</sup> Metsäteollisuus investoi Suomeen (2015) Paperi ja Puu. Saatavissa osoitteesta: <http://www.paperijapuu.fi/metsateollisuus-investoi-suomeen/> [ref. 2.2.2017]

<sup>2</sup> <http://www.finnpulp.fi/havusellutehdas-finnpulp.html>

<sup>3</sup> <http://www.kaidi.fi/>



laitos. Se voi käyttää raaka-aineenaan suoraan metsästä tulevan energiapuun lisäksi myös metsäteollisuuden sivuvirtoja, kuten sahanpurua ja kuorta.

Digitalisaatio tarjoaa mahdollisuuksia tulevaisuuden biotalouden toiminnalle. Seuraavassa tarkastellaan erityisesti raaka-ainehankintaan, ohjaukseen ja hallintaan liittyviä sovellusesimerkkejä. Ensin esitellään puunkorjuukoneiden automaation liittyviä ratkaisuja, joissa korjuukone voi tuottaa dataa päätöksentekoon. Toiseksi tarkastellaan puunhankintalogistiikkaa erityisesti tiestön big data -ajatuksen kautta. Kolmas näkökanta tarkastelee digitalisaation mahdollisuuksia puunkäytön näkökulmasta.



**Kuva 1. Digitaaliset ratkaisut puun tehokkaampaan hyödyntämiseen.**

### Älykkäät opastavat järjestelmät ja automaatio puunkorjuukoneissa

Metsäkoneenkuljettajan henkinen työkuorma on erityisesti hakkuukonetyössä suuri, mikä johtuu lukuisista samanaikaisista päätöksentekoprosesseista. Erot kuljettajien osaamisessa johtavat siihen, että perinteisin koneteknisiin muutoksiin ei pystytä juurikaan lisäämään työn tuottavuutta. Digitalisaatio avaa koneellisessa puunkorjuussa kokonaan uusia mahdollisuuksia älykkäille opastaville järjestelmille ja automaatiolle.

Uudet älykkäät järjestelmät monitoroivat työympäristöä, konetta ja kuljettajaa. Ne keräävät koneen aikana dataa koneantureilla sekä hyödyntävät valmista monilähdetietoa kohteelta. Järjestelmä analysoi, mallintaa ja tulkitsee kokonaisuutta aineiston perusteella ja kommunikoi tuloksensa kuljettajalle. Konetyön tilaa, työnjälkeä ja suoritearvoja voidaan ilmoittaa kuljettajalle hyödyntäen värejä, lukuarvoja, grafiikkaa, tekstejä tai ääniä. Viestejä voidaan välittää myös haptisesti eli tuntoaistimukseen perustuen. Pisimmälle vietyinä järjestelmä ehdottaa kuljettajalle hyviä tilannekohtaisia työtapoja, reittivalintoja, kuormanajotapoja, korjuujälkeä yms. Opastus on kone-, kuljettaja- ja työympäristösidonnaista.

Pidemmällä aikavälillä, kun koneäly kehittyy riittävästi, voidaan kuljettajasta luopua myös metsätoissa. Opastavat järjestelmät ovat välivaihe tähän. Automaation suuntaan kehitysvaiheita ovat kuormaimen kärkeohjaus, avustettu/automaattinen kuormanpurku, avustettu kuormaus ja automaattinen ajo helppossa maastossa. Kattavan 5G-mobiiliverkon toteutuminen voi mahdollistaa myös koneiden etäoperoinnin.

Älykkäiden opastavien järjestelmien ja automaation käyttöönotto lisää työn tuottavuutta, auttaisi kustannusten hallinnassa, korjuun laadun ylläpidossa sekä parantaisi työn informaatioergonomiaa. Järjestelmien kehitys ja käyttöönotto edellyttävät erilaisten osajärjestelmien kehittämistä ja osamisen kehittymistä eri alueilla. Esimerkiksi anturiteknologian alueella on varmistettava kestävien, edullisten ja luotettavien antureiden saatavuus. Tiedonkeruuseen liittyen on parannettava paikannustarkkuutta metsässä ja kehitettävä yleisesti tiedonkeruuta ja -hallintaa. Lisäksi tarvitaan kehittyneitä aineiston analyysiteknikoita ja laskennan mallinnusta sekä kuva-analysoinnin ja fotogrammetrian tehokkaampaa käyttöä.

Oma lukunsa ovat kehitystarpeet koneen ja kuljettajan kommunikaation parantamisessa. Esimerkkejä näistä ovat opastuksen parhaiden esitystapojen valinta, tuulilasinäyttöjen ja älylasien käyttöönotto, koneoppiminen sekä koneälyn kehitys. Kaikki edellä mainitut osaamisalueet kehittyvät parhaillaan nopeasti. Avustavien järjestelmien kehitystä ja käyttöönottoa edistää niiden hyväksyttävyyden paraneminen käyttäjien keskuudessa. Sitä auttaa järjestelmiin tottuminen ensin muilla aloilla.

Seuraavaksi esitellään tarkemmin muutamia koneelliseen puunkorjuuseen liittyviä potentiaalisia mittausjärjestelmiä.

#### [Esimerkki 1: Maaston kulkukelpoisuuden mallintaminen ja kartoittaminen](#)

Vielä parikymmentä vuotta sitten hakkuukohteen maaston kulkukelpoisuuden arviointi saattoi perustua korjuuesimiehen maastokäynnillä tekemiin havaintoihin. Sittenkin pyrkimyksenä on ollut siirtää suunnittelu toimistossa tapahtuvaksi. Aivan näihin päiviin saakka käsitys kohteen kulkukelpoisuudesta on muodostettu korjuuesimiehen paikallistuntemuksen ja kartta-aineiston sekä toteutusvaiheessa korjuukoneen kuljettajan kokemuksen perusteella. Digitalisaatio antaa laajat mahdollisuudet parantaa korjuukelpoisuuden ennustetta ja mallinnusta.

Jo nyt on saatavilla staattinen olosuhdetietoihin perustuva kantavuusluokitus. Meneillään on lisäksi tutkimuksia, joissa kaiken saatavilla olevan maaston ominaisuustiedon sekä mm. veden virtauksen ja maaperän vesitaseen mallinnuksen avulla pyritään muodostamaan reaaliaikainen, nykyistä selvästi parempi käsitys maaston kantavuudesta.

Korjuukoneiden keräämällä tiedolla voidaan seurata ennusteen toteutumaa ja edistää korjuun onnistumista. Korjuukoneen kulkuvastuksen suuruus voidaan laskea etenemisnopeuden ja koneen ohjausjärjestelmästä kerättävällä ajovoimansiirron tai moottorin tehotiedon perusteella. Maaston kaltevuudesta sekä korjuukoneen kiihtyvyydestä puhdistettu kulkuvastus riippuu lähinnä sen pyörien uppoamasta kulkualustaan. Tuloksena on mittaustulokseen perustuva ennuste kulkukelpoisuudesta. Puutavaraa varastolle kuljettava raskaampi kuormatraktori voi hyödyntää ennustetta tullessaan korjuukohteelle. Luotavan kulkukelpoisuuskartan avulla voidaan minimoida maastovaurioita ja tehostaa energian käyttöä. Kuormatraktoriin asennettuna järjestelmällä voidaan seurata myös kantavuusennusteiden toteutumaa.

Järjestelmän toteuttamisen edellytyksenä on, että metsäkoneen etenemisnopeus saadaan mitattua luotettavasti. Tällä hetkellä todennäköisimmältä ratkaisulta vaikuttaa satelliittipaikannusmenetel-

mien kehittyminen. Edellytyksenä on myös järjestelmä massatiedon keruuseen, siirtoon ja käsittelyyn. Ratkaisun tähän voi tuoda 5G-mobiiliverkon kehitys.

Kun kulkukelpoisuustietoa keräävä järjestelmä viedään puunkorjuukonetuotantoon ja tällaisten koneiden käyttömäärä kasvaa, tietoa maaston kulkukelpoisuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä karttuu nopeasti. Koneoppimisen avulla tieto on sovellettavissa samankaltaisiin olosuhteisiin, joten koko maan kattava tarkennettu kulkukelpoisuusennuste on realistinen tavoite.

Luotettava tieto maaston kulkukelpoisuudesta on ensiarvoisen tärkeää, kun puunkorjuun ympäristövaatimukset kiristyvät ja puunkorjuun julkisuuskuvaan kohdistuu kasvavia paineita. Myös puunkorjuun kustannukset alenevat, jos maaperään jääviä jälkiä pystytään vähentämään.

### Esimerkki 2: Korjuukoneen aiheuttaman raiteen syvyyden ja jäljelle jäävän puuston mittaaminen

Joissain korjuukohteissa korjuukoneiden maaperään aiheuttamien raiteiden syvyyttä mitataan otantainventointina osana puunkorjuun laadunseurantaa ja -hallintaa. Työ on luokittelevaa ja henkiloityönä tehtävää, siis kallista ja epätarkkaa. Käsitys puuvaroista puolestaan perustuu nykyisin maastoinventointien lisäksi yhä enenevässä määrin kaukokartoitukseen. Digitalisaatio tarjoaa mahdollisuuden parantaa saatavan tiedon laatua ja kattavuutta.

Puunkorjuukoneen takapäähän asennettavalla yksitaso- tai viuhkamaisella 2D-laserskannerilla tai kamerajärjestelmällä voidaan mitata jatkuvatoimisesti korjuukoneen pyörien jättämää raiteen syvyyttä. Mittausjärjestelmän avulla voidaan määrittää myös koneen etenemisnopeus. Raiteen-syvyydestä voidaan hyödyntää myös ohjausjärjestelmään toteutetussa kulkukelpoisuusmäärittämisessä ja kulkukelpoisuusennusteiden toteutuman seurannassa. Järjestelmä korvaa manuaalisen korjuujäljen seurannan ollen sitä kattavampi, tarkempi ja edullisempi.

Viuhkatyyppisellä 2D-laserilla pystytään lukemaan hakkuukoneen taakse jäävien puiden lukumäärä, läpimitta ja sijainti. Tiedolla pystytään merkittävästi parantamaan puuvaratiedon tarkkuutta inventointi- tai kaukokartoitusmenetelmiin verrattuna.

Järjestelmien käytön toteutuminen edellyttää mittalaitteiden hinnan pienenemistä riittävästi. Tämä saattaa esim. autoteollisuuteen verrattuna olla epävarmaa pienten hankintamäärien vuoksi, ellei pystytä käyttämään samoja komponentteja ja osajärjestelmiä. Edellytyksenä on myös järjestelmä massatiedon keruuseen, siirtoon ja käsittelyyn. Lisäksi mittalaitteiden suojaus ja toimivuuden varmistaminen esim. puhdistusjärjestelmillä käytännön työskentelyoloja vastaan on haastava tehtävä.

### Esimerkki 3: Reaaliaikaisen lahotiedon kerääminen hakkuukoneilta ja massatiedon käsittely

Nykyisin leimikon lahotieto arvioidaan hakattujen puutavaralajien perusteella, mikä antaa hyvin karkean arvion puuston lahoisuudesta. Kehittämällä hakkuukoneiden teknologiaa lahon tunnistamiseksi kaadon yhteydessä sekä luomalla yhtenäinen tiedonsiirtojärjestelmä saadaan kerättyä ainutlaatuinen, reaaliaikainen data lahon esiintymisestä, lahoisuuden kehityksestä pitkällä aikavälillä sekä lahotorjunnan ja ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomen metsissä.

Puuston terveyttä, metsien kasvua ja hiilinielun suuruutta ajatellen on oleellista ottaa lahoalueet huomioon metsäsuunnittelussa, metsänkäsittelyssä ja tuhojen torjunnassa. Hanketta edistävät Suomen asema johtavana metsäkoneiden kehittäjänä ja valmistajana, maamme korkeatasoinen anturiosaaminen ja -valmistus sekä metsäteollisuuden tarve hyödyntää raaka-aine maksimaalisesti.

Järjestelmän edellytyksenä on toimiva menetelmä reaaliaikaisen lahotiedon paikantamiseen puu- ja kuviotasolla. Kerätty tieto jalostetaan hyödyntämään niin metsäteollisuutta, metsänomistajia kuin

tutkijoitakin. Edellytyksenä on toimivan menetelmän kehittäminen lahon tunnistamiseksi ja kuvantamiseksi puun kaadon yhteydessä sekä hakkuukoneiden satelliittipaikannuksen tarkentaminen puukohtaisen lahotiedon keräämiseksi. Edellytyksenä on myös järjestelmä massatiedon keruuseen, siirtoon ja käsittelyyn. Haasteina järjestelmän kehityksessä ovat teknisten seikkojen lisäksi tietosuojakysymykset.

### Digitaaliset ratkaisut kuljetusten ennakointiin, ohjaukseen ja tiestön täsmähuoltoon

Kuten metsäkoneissa myös puutavara-autoissa on toiminnan ohjausta ja toteutusta helpottavia järjestelmiä. Puutavara-autoissa kuljettajan tukena on karttapohjainen navigointijärjestelmä, joka esittää kartan avulla tienvarsivarastojen sijainnit, puutavaralajien määrät ja kuljetettavaksi valittujen puutavaralajien sijainnit.

Logistinen ohjaus lähtee tehtaiden tarpeista sekä tienvarsivarastojen tilasta. Niiden perusteella luodaan kuljetussuunnitelma kullekin päivälle. Järjestelmien adaptiivisuus on tärkeää. Puutavara-autot varaavat ajettavan puutavaralajin tai -lajit valituista varastoista. Myös kerätyt puutavaralajit päivitetään heti järjestelmään ja nähtäväksi muille ajoneuvoille. Joillakin suuremmilla tehtailta puutavaran vastaanotossa on saapumisaikaikkunat, jotka näkyvät ajoneuvojen tietojärjestelmissä.

Puutavaran kaukokuljetuksessa tienvarsivarastoista käyttöpaikoille ja terminaaleihin toimitaan paljon kuljettajan kokemuksen ja tietämyksen varassa. Kuljettajan kattava tietämys tieverkostosta, sen yleiskunnosta ja muuttuvan säätilan vaikutuksesta teiden kulkukelpoisuuteen on ollut ensiarvoisen tärkeää. Osaavinkaan kuljettaja ei voi ennakoida kaikkea ajoreitille tulleita muutoksia.

Uudenlaisesta tieverkon big datasta odotetaan olevan merkittävää hyötyä kuljetusten ”täsmäsuunnitteluun”. Tieverkon big data voisi sisältää tieverkosta paikkakohtaista ominaisuustietoa, joka vaikuttaa heti tai ajan kuluessa heikentävästi kulkukelpoisuuteen tai kertoo ennusteen muodossa kulkureitin kulkukelpoisuudesta kyseisellä ajanhetkellä.

#### Esimerkki 4: Kulkuneuvot tiestön big datan muodostamisessa

Paikkatietoa teiden kunnosta ja tilasta kerätään sensoreilla ja kameroilla, joita asennettaisiin ammattikäyttöiseen tieliikenteeseen tarkoitettuihin kulkuneuvoihin. Kerätty tieto siirretään yhteiseen tietokantaan, josta tieto voidaan jakaa käyttäjille karttasovellusten kautta. Kerättyä tietoa jatkojalostetaan muun muassa säätilan ja tien ominaisuuksia hyödyntäviksi ennustemalleiksi, jotka kuvaavat tien kulkukelpoisuutta. Tieverkon uudenlaista big dataa hyödyntävä digitaalinen käyttösovellus auttaisi puutavaran kuljetusten ohjauksessa, tieverkon kulkukelpoisuuden ennakoinnissa sekä tiestön täsmähuollossa.

Tietokannasta saatavilla oleva tieto välitetään puutavara-autoille. Kuljettajan valitsemalle ajoreitille annetaan sekä ennuste reitin ajokelpoisuudesta että kuva-aineistoa ajamiseen vaikuttavista erityismerkinnöistä. Kuljettaja voi valita reitin ja käyntikohteet reittitietojen perusteella, tai pidemmälle vietyinä ohjelma ehdottaa toteuttamiskelpoisimmat reitit. Ajantasainen tieto tieverkon kunnosta olisi tärkeää myös tiehuollolle, jonka toiminnanohjaukseen järjestelmä antaisi aiempaa täsmällisempää tietoa. Tiehuolto voisi päivittää tietokantaa, kun merkityt ongelmakohdat tieverkossa on huollettu.

Tietoa tiestön tilasta kerätään yhteiseen tietilapalvelimeen, joka on kaikilla tienkäyttäjillä käytössä. Datan keruu tapahtuisi pääosin automaattisesti erityisesti puutavara-autoihin, maitoautoihin ja postiautoihin asennettujen sensoreiden avulla. Myös muut tienkäyttäjät voisivat merkitä tiellä havaitsemiaan ajettavuuteen ja tieturvallisuuteen liittyviä ongelma-kohtia. Näin ollen järjestelmä voisi hyödyntää joukkoistamisen periaatetta.

## Puun hyödyntämisen digitaaliset järjestelmät

Puun hyödyntämismahdollisuuksiin teollisessa toiminnassa vaikuttavat raaka-aineen saatavuus ja sen laatu. Toisaalta tarvitaan tietoa tuotteiden kysynnästä ja sitä kautta syntyvästä raaka-aineen tarpeesta. Tässä luvussa esitellään muutamia sovellusesimerkkejä, joissa digitaalisilla laajoja data- ja hyödyntävillä järjestelmillä voidaan tehostaa ja optimoida puunhankintaa ja tuotannon ohjausta.

### Esimerkki 5: Leimikkotietopankki – yksityiskohtainen metsävaratietokanta puunhankinnan apuna

Kaukokartoitusta, kuten lentolaserkeilausta, on käytetty jo pidemmän aikaa laajojen metsäalojen metsävaratietojen kartoittamiseen. Pienemmille metsäalueille voidaan jo käyttää pienlennokkeja, jotka keräävät aineistoa puustosta joko pienellä laserkeilaimella tai digitaalikameralla. Digitaalikuvaus ja tehostuneet laskentamenetelmät täyttävät tiedon tarkkuus- ja kustannustehokkuusvaatimukset. Metsistä saatavat tarkat ennusteet puulajikohtaisista läpimitta- ja pituusjakaumista tuovat merkittävän lisätiedon puunhankintaan ja puukauppoihin.

Puuston kokonaistilavuutta voidaan siis ennustaa jo hyvin tarkkaan, mutta vielä emme saa ennakkoon riittävän tarkkaa ennustetta puuston laatutekijöistä. Näin ollen puutavaralajien suhteiden arvioiminen jää epätarkaksi. Tällä hetkellä esimerkiksi lentolaseraineistosta tulkittujen tukkipuuosuusien arvioinnissa on päästy parhaimmillaan 30 %:n virhemarginaaliin.

Yhteinen ”kasvupuu”-tietokanta sisältäisi kuvioittaisen ennusteen puuston tilavuudesta ja lisäksi arvion puuston laadusta kuviolla. Tietokantaan sisällytettäisiin jokaisesta kohteesta kerättyä hakkuunaikaista tietoa sekä kaadetuista puista että pystyyn jäävistä puista. Hakkuukone keräisi puun laatutunnuksia, kuten puun runkomuotoa, lahon määrää ja etenemää ja oksaisuutta. Hakkuun aikana kerätty tieto tallennetaan paikkatietona joko raakadatan tai tiivistettynä tietona tietokantaan. Puuston laadun ja laatuparametrien määrittämisessä käytetään apuna kohteen käsittelyhistoriatietoa aina metsänuudistamisesta lähtien. Kohteen kasvupaikan ominaisuudet ja puuston ikä vaikuttavat myös puuston laatuun puulajikohtaisesti.

Ennustemalli tarkentuu edelleen, jos tietokantaan kerätään tietoa myös puun sisälaadusta sekä sahatavaran laadusta. Tarkempaa puun sisälaatutietoa saataisiin tuotantolaitoksista. Kun tuotantolaitoksesta kerätty puutavaran laatu saadaan yhdistettyä tiettyyn leimikkoon ja paikkaan, tietoa voitaisiin hyödyntää kasvupuu-tietokannassa. Edellä esitettyä laajaa monilähdetietoa keräämällä ja tietoa käsittelemällä voitaisiin tuottaa paikkakohtainen ennuste puuston laadulle. Ennustemalli, joka ottaisi edellä mainittuja tekijöitä huomioon, olisi täsmentyvä malli, joka tarkentuisi kaiken aikaa puunkorjuusta kerätyn tiedon avulla.

Kyseisellä alueellisella ja paikkaan sidotulla tietokannalla voitaisiin tehdä nykyistä luotettavampia ennusteita puutavaralajijakaumista. Tämä tieto auttaisi merkittävästi leimikon tarkemmassa arvonnäilyksessä, ja siten puukauppaa käytäisiin kohteen puustoa paremmin kuvaavilla kantohinnoilla. Sekä puun ostaja että puun myyjä tietäisivät paremmin kohteen puuston määrän ja laadun ja siten puuston kokonaisarvon.

### Esimerkki 6: Biojalostamon ennustava ohjausjärjestelmä

Biojalostamot joutuvat tuotannossaan hallitsemaan heterogeenisiä ja hajautuneita raaka-ainevirtoja. Tulevaisuuden biojalostamot voivat myös tuottaa lukuisia tuotteita. Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta jalostamon voi olla tarpeen ohjata tuotantoon joustavasti huomioiden raaka-aineiden saatavuus ja hinta sekä tuotteiden kysyntäennusteet ja niistä saatava hinta. Myös vuodenaikavaihtelu raaka-aineen saatavuudessa ja laadussa sekä ennakoiva huoltotarpeiden huomiointi ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat biojalostamon kannattavuuteen. Edelliset seikat muodos-

tavat biojalostamon ohjauksessa monimutkaisen päätöksentekotilanteen, jota tukemaan voitaisiin kehittää laaja-alaista dataa hyödyntäviä järjestelmiä.

Metsäteollisuuden tuotanto on jo tänä päivänä hyvin pitkälle automatisoitua. Tehtailla on käytössä automaattiset prosessin ohjaus- ja tiedonkeruujärjestelmät, jotka antavat hälytyksiä ohjaussuureiden rajojen ylityksistä. Edistyneemmissä järjestelmissä voi olla käytössä myös malleja esimerkiksi raaka-ainevirtojen hallintaan. Lisäksi raaka-aineen ja tuotteen laatua seurataan ja ohjataan automaattisesti, ja erilaiset diagnostiikkajärjestelmät voivat reagoida ongelmatilanteisiin tai varoittaa niistä ennen kriittiseen tilanteeseen ajautumista.

Metsäteollisuuden ohjausjärjestelmät mahdollistavat laajennukset avoimen rajapinnan kautta. Näin olemassa olevia järjestelmiä olisi mahdollista laajentaa liittämällä niihin prosessin ohjauksessa hyödynnettäviä malleja, kuten tuotannon ohjaus kysyntätilanteen mukaan, huoltotarpeen ennakointia tai resurssivirtojen hallintaa. Haasteena on kuitenkin se, että raaka-ainevaranto- ja markkinatiedot ovat nykyisin hajallaan useissa eri järjestelmissä ja palveluissa ja tiedon tallennusmuodot vaihtelevat.

Jotta biojalostamon ohjaukseen voitaisiin kehittää järjestelmä, joka hyödyntää isoja dataja ja ennustavia malleja, tarvittaisiin ratkaisu useisiin datan hallintaan liittyviin kysymyksiin. Ensiksikin eri tietolähteet pitää pystyä yhdistämään hyödyntäen esimerkiksi pilvipalvelua. Eri palveluiden ja tietolähteiden yhdistämistä varten tarvitaan yhteinen alusta (platform), joka puolestaan edellyttää toimivia tietoturvan ja käyttöoikeuksien hallinnan ratkaisuja. Jotta järjestelmän käytössä olisi riittävästi tarvittavaa dataa, myös toimintatapoihin tarvitaan muutoksia. Esimerkiksi sähköisten metsävaratietojen saatavuus pitäisi varmistaa ja puukaupan pitäisi tapahtua sähköisesti. Myös kunnossapitopalveluita tuottavien tahojen pitäisi integroitua järjestelmän käyttöön.

Biojalostamojen tuotannon ohjauksessa tärkeäksi tekijäksi tulee kysynnän ennakointi, koska sivuvirroilla on merkittävä rooli biojalostamojen liiketoiminnassa. Jos sivuvirrasta valmistettavan tuotteen kysyntä nousee, sen raaka-aineen saatavuuden varmistamiseksi pitää ohjata myös päätuotelinjan tuotantoa. Toisaalta jos päätuotteen kysyntä tai hinta on alhaalla, ei sivuvirtaan perustuvan tuotteen kautta saatava taloudellinen hyöty välttämättä riitä kustannusten kattamiseen. Tämän vuoksi tuotannon ohjauksessa on haettava optimia, ja kyky mallintaa kysyntää mahdollisimman tarkasti nousee tärkeäksi osaamiseksi. Neuroverkkojen ja deep learning -menetelmien on todettu parantavan ennustavien järjestelmien ennustetarkkuutta huomattavasti.

Uusi sähköinen pilvipalvelu biojalostamoiden ja niiden raaka-ainevirtojen ohjaukseen mahdollistaa uuden liiketoiminnan syntyminen myös erilaisille palveluita tuottaville yrityksille. Palveluplatformin kautta on mahdollista käydä kauppaa erilaisilla täsmäsovelluksilla ja palveluilla. Tulevaisuuden mahdollisuutena voisi olla esimerkiksi toimintamalli, jossa järjestelmä etsii raaka-aineen laatu- ja koostumustietojen mukaan sopivimmat käytettävissä olevat raaka-ainelähteet ja käynnistää logistiikkaketjun, johon kuljetuspalveluita tarjoavat yrittäjät voivat liittyä.

[Esimerkki 7: Energiabiomassan täsmätoimitukset varastomuodostelmien sijaintitietoa sekä kosteus- ja laatuennusteita hyödyntäen](#)

Voimalaitosten raaka-aineen hankinnan haasteena ovat suuret kausivaihtelut energian tuotannossa ja raaka-aineen kysynnässä: kesäaikaan hakkurit ja hakeautot ovat vajaakäytössä, talven huipusesonkina jouluihelmikuussa kapasiteetti on ääriarajoilla.

Energiabiomassan *täsmähankintaan* perustuvassa toimintamallissa haketus- ja kuljetusajankohtaa määriteltäessä pääroolissa ovat kuljetusmatkan pituus välivarastolta käyttöpaikalle, varastojen koko sekä energiajakeen kosteus. Tavoitteena on saada huippusesonkina korkealaatuista haketta läheltä käyttöpaikkoja. Sesongin ulkopuolella polttoaineeksi voidaan kelpuuttaa heikompi laatuinen hake, joka tuodaan kauempaa.

Kosteuden arviointiin on kehitetty varastokasojen kosteutta ennustavia malleja. Niiden pohjalta voidaan rakentaa järjestelmä ja datapalvelu, joka mahdollistaa biomassan varastomuodostelman tarkan kosteus- ja laatuennusteen tekemisen minä tahansa ajanhetkenä. Näin päästään puolestaan tekemään täsmätoimituksia. Ennustemallit perustuvat säädataan, tarkkaan maasto- ja puustotietoon sekä biomassan kuivumismalleihin.

Järjestelmän rakentaminen edellyttää vielä ennustemallien testaamista ja kehittämistä erityisesti ajantasaisen olosuhdetiedon (mm. maanpinnan muodot, varjoisuus, tuulisuus) huomioimiseksi.

Jo tehdyt ja suunnitellut biotalouden investoinnit luovat pohjaa puuraaka-aineen kysynnälle, resurssien tehokkaammalle hyödyntämiselle biotaloudessa, jalostusarvon kasvulle sekä kotimaisen puupohjaisen energian tuotannon lisäykselle. Kansallisen palveluväylän syntyminen edistäisi myös metsiin perustuvan monipuolisen palveluliiketoiminnan syntymistä ja luonnontuotealan kasvua. Kehityksen esteenä voidaan nähdä se, että biotalouden digitalisaation palvelualustan ylläpitäjäksi ei ole selkeää vastuunkantajaa. Yksittäisillä toimijoilla ei välttämättä ole intressiä tai tarvittavia resursseja palvelualustan rakentamiseen.

Tietoturvan varmistaminen on myös ehdottoman tärkeää, jotta taloudellisia intressejä palvelemaan järjestelmään syntyy luottamus. Haasteeksi voivat muodostua myös tiedon omistajuuteen liittyvät kysymykset: Kuka omistaa tietokannat tai tietolähteet? Miten datasta saatava hyöty jaetaan? Miten datan tuottamiseen liittyvät toimet motivoidaan, mikäli datan tuottaja ja siitä hyötyjä ovat eri toimijoita? Näiden kysymysten ratkaisuun olisi löydettävä uusia malleja.

## Case 2: Uudet datalähteet metsävarojen hallinnassa

**Annika Kangas & Tuomas Häme**

Valtiot tarvitsevat tietoa metsävaroista ja metsäekosysteemistä metsien käytön strategiseen suunnitteluun, säädösten laatimiseen ja niiden toimeenpanon valvontaan sekä ilmastopöytäkirjojen toimeenpanon toteuttamiseen. Metsänomistajien tarpeet ovat samankaltaiset, mutta kohdistuvat pienempiin maantieteellisiin alueisiin. Metsänomistajien päätöksenteko edellyttää usein karttamuotoista tietoa. Metsäteollisuuden on tunnettava kestävästi tarjolla olevat puuvarat. Monet kansalaisjärjestöt keskittyvät metsäkadon estämiseen ja metsien suojelun edistämiseen.

Riittävän tarkka ja ajantasainen tieto uudistuvista luonnonvaroista takaa objektiivisen lähtökohdan ristiriitaistenkin tarpeiden edistämiseen. Uudet havaintomenetelmät ja digitalisaatio tekevät mahdolliseksi entistä tarkempien tietojen saamisen metsistä mistä tahansa maapallon kolkasta.

### Aineistoa satelliiteista, lentoaluksista ja maastomittauksista

Viime aikojen suuret kansainväliset investoinnit yhdistettyinä teknologiseen kehitykseen ovat parantaneet luonnonvarojen tehokkaan hallinnan mahdollisuuksia. Digitaalisilla satelliittihavainnoilla on keskeinen asema ympäristötiedon keräämisessä. Euroopan Copernicus-ohjelma, johon investoidaan noin seitsemän miljardia euroa vuoteen 2020 mennessä, on maailman suurin kaukokartoitusohjelma. Copernicuksen operatiiviset satelliitit keräävät tietoa esimerkiksi maailman metsistä useita kertoja viikossa.

Copernicus-ohjelman Sentinel-2-satelliitti kuvaa kymmenen metrin tarkkuudella ja monella aallonpituuskaistalla aineistoa, joka on kenen tahansa käytettävissä ilmaiseksi. Copernicus-aineistoa täydentävät niin ikään ilmainen amerikkalainen Landsat-satelliitti sekä lukuisat kaupalliset toimijat, joiden satelliiteissa kuvien tarkkuus yltää ilmavalokuvien luokkaan eli parempaan kuin yhden metrin erotuskykyyn.

Suomessa satelliittikuvia on käytetty metsävaratiedon tuottamisessa jo 1970-luvulta alkaen. Satelliittikuvien lisäksi 3D-aineistojen saatavuus on parantunut viime vuosina. Metsien kartoitus lentokoneeseen sijoitetusta laserkeilaimesta (ALS Airborne Laser Scanning) alkoi Suomessa 2000-luvulla, ja Suomen metsät on kokonaan keilattu arviolta noin vuonna 2020<sup>4</sup>.

3D-aineistojen suuri etu satelliittikuviin verrattuna on, että niistä saadaan informaatiota myös puuston pituudesta. Perinteisistä satelliittikuvista saatava pituusarvio on verraten epäluotettava. Siksi 3D-aineistot parantavat metsävaratiedon luotettavuutta. Laserkeilauksen lisäksi 3D-aineistoa voidaan tuottaa perinteisistä ilmakuvista tai tutkakuvista joko interferometrian avulla tai fotogrammetrisilla (radargrammetrisilla) menetelmillä.

Myös maan pinnalla tehtävät mittaukset kehittyvät. Matkapuhelimella otetuista kuvista voi nyt jo laskea puuston tilavuuden sekä pystyssä (<http://www.relasphone.com/>) että pinossa (<https://www.trestima.com/>). Myös kuvanottokohteen sijainti tunnetaan. Jatkossa digikameroiden kuvista ja kannettavilla tai ajoneuvoissa toimivilla laserkeilaimilla saadaan entistä tarkempaa tietoa

---

<sup>4</sup> <http://metsakeskus.maps.arcgis.com/>.



puuston määrästä ja erityisesti laadusta. Havaintolaitteet voidaan asentaa hakkuukoneisiin ja kerätä niiden avulla tietoa myös jäävästä puustosta.

### Digitaaliset aineistot metsiä koskevassa päätöksenteossa

Tässä katsauksessa esitellään muutamia tapoja uuden datan hyödyntämiseen metsien käyttöä koskevassa päätöksenteossa.

#### Metsänomistajan palvelut

Kaukokartoitusmateriaalien avulla voidaan tuottaa karttamateriaalia kohteista, joissa on tarpeen tehdä esimerkiksi taimikonhoito tai muu metsänhoidollinen toimenpide tai jotka ovat potentiaalisia hakkuukohteita. Aineistot voidaan julkaista kaikkien saataville. Monilähdeinventoinnin tuottamasta metsävarakartasta löytyvät jo nyt suuripuustoiset kohteet melko hyvin puun oston suunnittelua ajatellen. Suomen metsäkeskuksen metsään.fi-palvelussa on jo nyt osoitettu hakkuukohteita ja osin metsänhoitotoimenpiteiden tarpeita.

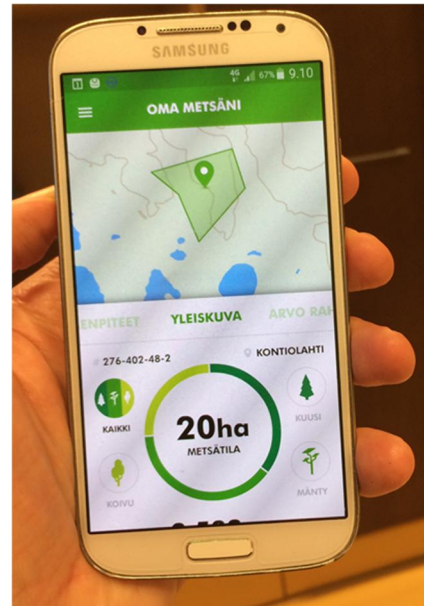
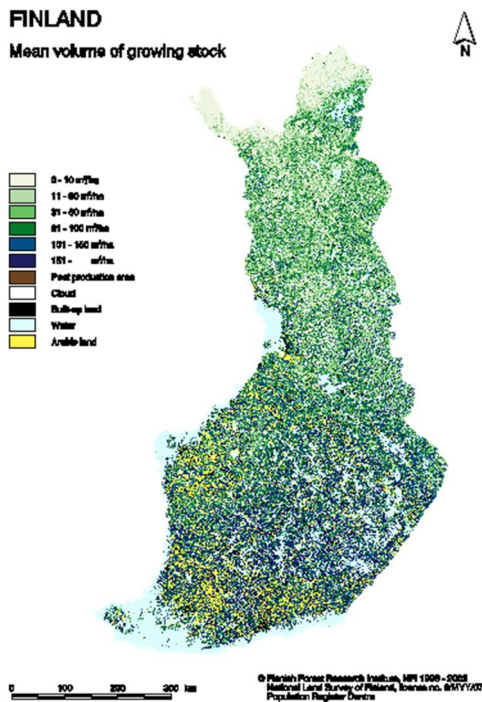
Aineiston julkaiseminen on kunkin metsänomistajan harkinnassa, mutta palvelun metsävaratiedot tullevat julkisiksi lähitulevaisuudessa. Tällä hetkellä Metsäkeskus julkaisee esimerkiksi hoitotarvekartoja hehtaarin ruuduissa ilman omistajatietoja<sup>5</sup>. Tarkan hilatiedon julkaiseminen mahdollistaa uusien sovellusten kehittämisen. Hiloilla tarkoitetaan ruudukkoa, joka muodostuu sivultaan 16 metrisistä neliöistä.

Tietojen ajantasaistukseen ja potentiaalisten metsänhoitokohteiden löytämiseen tarkempi materiaali on tarpeen. Se parantaa metsäpalveluyrittäjien mahdollisuuksia markkinoida palvelujaan metsänomistajille, puun ostajien mahdollisuuksia löytää potentiaalisia puun myyjiä ja edesauttaa puun liikkeelle saamista.

Monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) karttamateriaali on julkisesti jaossa, ja sen pohjalta on jo rakennettu mobiilisovellus metsän arvon arviointiin (kuva 2). Samalla tavalla aineistoa voitaisiin soveltaa myös metsien vakuusarvon arvioimiseen tai muutakin palvelutuotantoa ajatellen.

---

<sup>5</sup> <http://www.metsakeskus.fi/tiedotteet/suomen-metsatyot-nakyvat-kartalla#.WCMOmy35jIU>



**Kuva 2. Monilähteisen VMI:n metsävarakartta<sup>6</sup> (vas.) ja kyseistä dataa hyödyntävä UPM:n Metsäni-sovellus.**

Paitsi palvelujen tarjontaa, uudet kaukokartoitusmateriaalit voivat tehostaa myös tehtyjen toimenpiteiden valvontaa. Kaukokartoitusmateriaalien avulla seurataan metsissä tapahtuvia toimenpiteitä ja valvotaan, että hakkuut ilmoitetaan lain mukaan ja uudistamisvelvoitteet hoidetaan asianmukaisesti. Tämä puolestaan parantaa lainvalvonnan kattavuutta ja kustannustehokkuutta. Jo tällä hetkellä havaitaan satelliittikuvista melko hyvin isoimmat muutokset, kuten avohakkuut ([hakkuut.fi](http://hakkuut.fi)).

Uusien kaukokartoitusmateriaalien saatavuuden ja tarkkuuden parantuessa voidaan seuranta tihentää ja seurata myös pienempiä muutoksia, kuten harvennushakkuita ja metsätuhoja. Erityisen haasteellista on taimikoiden perustamisen ja hoidon seuraaminen kuvilta. Ilmakuvaus on tällä hetkellä suunnitelmassa vain joka viides vuosi. Se ei mahdollista kuvien käyttöä metsälain valvontaan, ainoastaan satelliittikuvia on mahdollista saada riittävän usein.

### Maankäytön hallinnon palvelut

Maankäyttöä, kuten kaavoitusta, suunnitellaan tällä hetkellä puutteellisen metsävaratiedon avulla. Tällöin ei voida tietää, mikä on esimerkiksi virkistyskäyttö-kaavamerkinnän vaikutus puuntuotantoon. Tilannetta helpottaa, jos maankäytön suunnittelua tekevä viranomainen (metsien suojelun valmistelija, kaavoittaja, maisematyöluvan myöntäjä tms.) saa käyttöönsä kaukokartoitukseen perustuvat ajantasaiset metsävaratiedot. Niiden avulla hän pystyy arvioimaan erilaisten kaavamerkintöjen vaikutukset puuntuotantoon tai muihin ekosysteemipalveluihin. Tämä puolestaan tehostaa maankäytön suunnittelua ja lupakäytäntöä.

Kaavoittajan tai suojelualueen suunnittelijan pitää pystyä lataamaan metsävaratiedot tarvitsemassaan muodossa omien aineistojensa päälle ja siten havaitsemaan kaavojen tai suojelualue-rajauksen vaikutukset. Kohteen tiedot voidaan välittää maisematyöluvan antajalle suoraan metsävaratie-

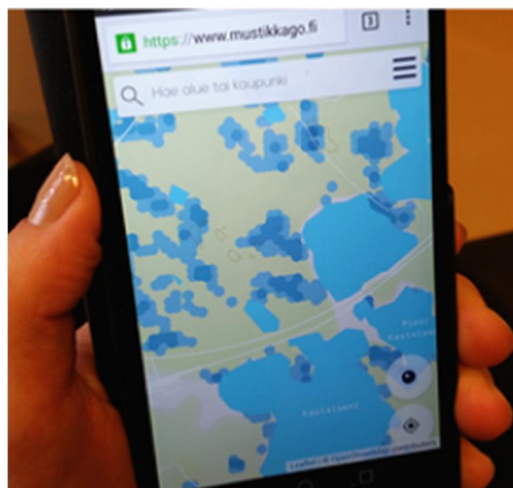
<sup>6</sup> <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/en/map-window>

tokartasta tai puhelimella otetuista kuvista. Tämän toteuttamiseksi tarvitaan hallinnollisia päätöksiä, jotta ajantasaisia kaava- ja metsävaratietoja voidaan välittää vektorimuodossa. Palveluiden toteuttamisessa voidaan käyttää kansallista palveluväylää sekä valmisteilla olevaa metsävaratietoalustaa, jota edistetään Sipilän hallituksen kärkihankkeena.

### Jokamiehen palvelut

Marjasatoja ennustetaan jo nyt satelliittikuvaan perustuvan metsävarakartan avulla (kuva 3). Vastaavia sovelluksia voitaisiin toteuttaa sienestykseen. Myös retkeilyn sovelluksia on jo olemassa, ja niissäkin metsävaratiedolla voidaan saada lisäarvoa. Metsien kuvaus mobiilisovelluksissa satelliittikuvien avulla mahdollistaisi Pokemon Go -tyyppisten pelien tuomisen metsiin tai esimerkiksi geokätköilyyn perustuvien sovellusten ja pelien kehittämisen todellisen metsätiedon varaan.

Tällaiset uudet sovellukset edistävät metsien virkistyskäytön kaupallistamista esimerkiksi turistien tarpeisiin. Pelisovellusten taustaksi voidaan ottaa tiekarttamateriaalin tai peruskarttamateriaalin sijaan metsävarakartta. Sen avulla voidaan lisätä pelin realismia visualisoimalla kohde, jossa liikutaan.



**Kuva 3. Matkapuhelimelle ladattava kartta potentiaalisista mustikkapaikoista<sup>7</sup>.**

### Palvelut kansalliseen ja kansainväliseen metsien seurantaan ja raportointiin

Metsävarojen kartoitus ja seuranta on Suomessa jo nykyisin kehittynyt tasolle, joka on lähes ainutlaatuista maailman mittakaavassa. Kehitystarpeet edellyttävät uudelta tiedolta suurta tarkkuutta ja ajantasaisuutta. Kehitetyt menetelmät tarjoavat erinomaisen lähtökohdan kaupalliselle vientitoiminnalle. Suomen metsävarojen arviointi perustuu tällä hetkellä maastomittauksiin ja lentolaitteesta tehtyihin laserkeilauksiin ja ilmakuvaukseen. Satelliittikuvia käytetään valtakunnan metsien inventoinnin laajentamiseksi karttamuotoon. Satelliittikuviin pohjautuvat muutosten seurannan ja taimikonhoidon operatiiviset menetelmät ovat tulossa.

Monissa maissa ilmakuvauksen mahdollisuudet ovat vähäiset joko korkeiden kustannusten takia tai hallinnollisista syistä, jolloin satelliittiaineiston houkuttelevuus lisääntyy. Suomalaiset metsävarojen kartoitusmenetelmät onkin syytä sovittaa satelliittikuviin nojaavaan lähestymistapaan, kun niitä sovelletaan ympäristöihin, joissa metsävaratiedot ovat ennestään hyvin puutteelliset ja rahoitusta

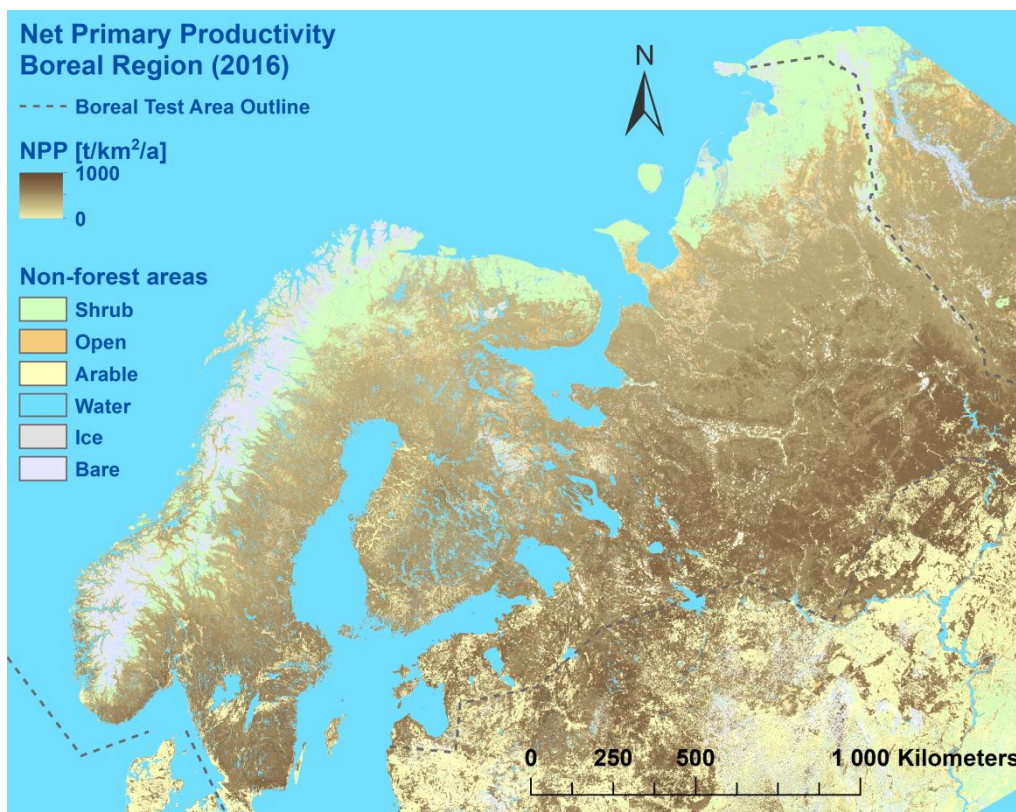
<sup>7</sup> <https://www.mustikkago.fi>

tarkan inventoinnin tekemiseen vähän. Lentokoneesta ja helikopterista tehtävät mittaukset palvelevat tässä vaihtoehdossa mallien opetusta ja tarkkuuden arviointia.

Tietolähteet tulee paketoita joustavaksi metsien inventointikonseptiksi, joka sopeutuu niin kehittyneiden kuin kehittyvien maiden tarpeisiin. Satelliittipohjaisen metsävara-arvioinnin ilmeisimmät markkinat ovatkin juuri kehittyvässä maissa, joissa satelliittihavainnointia jo hyödynnetäänkin laajasti.

Huoli ilmastonmuutoksesta on johtanut monimutkaisten järjestelmien pystyttämiseen maankäytön ja metsävarojen seurantaan varsinkin trooppisia metsiä varten. Tämän ns. REDD+ -järjestelmän (Reduction of Emissions from Deforestation and forest Degradation) edistämiseksi sovittiin Pariisin ilmastokokouksessa syksyllä 2015. Järjestelmään kuuluu satelliittikuvapohjainen mittaussuunnitelma, jonka avulla todetaan metsien ja muiden maankäyttöluokkien hiilivarastot. Satelliittikuvat eivät siis ole vaihtoehtoinen tietolähde, vaan järjestelmä edellyttää niiden käyttöä (kuva 4).

Hiilidioksidipäästöjä koetetaan vähentää ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Valtiot ovat sitoutuneet raportoimaan hiilitaseensa osoittaakseen saavuttaneensa ilmastotavoitteet. EU ei hyväksynyt metsien hiilinielun roolia taseen raportointiin, mikä aiheuttaa mm. Suomelle taloudellisia menetyksiä. Luotettava ja uskottava taseen arviointimenetelmä tuottaisi merkittäviä taloudellisia ja ympäristöhyötyjä. Myös normaalissa metsätaloudessa sovellettava menetelmä tuotoksen arviointiin voisi muuttua uuden taseen arviointimenetelmän ansiosta. Nämä hyödyt olisivat erityisen suuria maissa, joissa metsätalous on vähemmän kehittynyt. Tavoitteena on saada kaukokartoitustiedon ja hiilitasemallien yhdistämällä niin luotettavaa tietoa, että metsät hyväksytään hiilitasearviointiin.



**Kuva 4. Arvio Euroopan metsien nettoperustuotannosta pohjoisessa havumetsävyöhykkeessä. Värin sävy kuvastaa elävään kasvipeitteeseen sitoutuneen hiilen määrää vuonna 2016. Hiilitasearvio tehtiin soveltamalla Helsingin yliopiston malleja VTT:n satelliittikuvatulkinnan tuloksiin.**

## Pilvipalveluista globaali markkinapaikka

Uusien datalähteiden tuottamat aineistomäärät ovat valtavia. Todellinen digitalisaatio edellyttää, että suurten datamäärien käsittely on halpaa ja nopeaa. Sekä satelliittipohjaisessa että muussa metsävaratiedon standardointi sekä standardimuotoiset rajapinnat tietojen siirtämiselle helpottavat palvelujen rakentamista ja eri organisaatioista peräisin olevien tietolähteiden yhdistämistä. Verkottuneessa kansainvälisessä toimintatavassa palveluiden standardointi ja sertifiointi ovat välttämättömiä luotettavuuden varmistamiseksi.

Periaatteessa yhtenäisellä pilvipohjaisella järjestelmällä saavutetaan huomattava tehokkuuden lisäys palveluihin ja pystytään tarjoamaan yritysten palveluille maailmanlaajuiset markkinat. Euroopan avaruusjärjestö rahoittaa tällaisen järjestelmän, Forestry Thematic Exploitation Platformin, kehitystyötä metsäsovelluksiin<sup>8</sup>. Laskentapalvelut muodostavat arvoketjun, jossa jokaisen mukana olevan toimijan täytyy saada oikeiden mukainen osansa ketjun tuottamasta lisäarvosta, jotta ketju toimisi. On tärkeätä, että laskentapalvelu kehitetään sellaiseksi, että se on avoin yhtä lailla kaikille palveluyrittäjille ja tutkijoille.

## Verovaroin vai kaupalliselta pohjalta?

Digitalisaation tavoitteena on saada aikaan uudenlaisia palveluja ja tuotteita sekä tehostaa toimintatapoja. Metsävaratiedon laaja avaaminen eri toimijoiden käyttöön voi parantaa metsien käyttöä koskevien päätösten tekoa sekä yrityksissä että julkishallinnossa<sup>9</sup>. Avoimen metsävaratiedon päälle voidaan rakentaa uusia maksullisia ja ilmaisia palveluja, jotka tuottavat lisäarvoa esimerkiksi metsänomistajille, puun ostajille tai metsien virkistyskäyttäjille ja siten ansaintamahdollisuuksia palvelujen tarjoajille. Laadukkaan metsävaratiedon avulla saavutetaan selviä kustannussäästöjä esimerkiksi metsälain valvonnassa ja maankäytön suunnittelussa.

Toisaalta avoin metsävaratieto voi olla ongelmallista tiedon tuottajien näkökulmasta. Kun veronmaksajien rahoilla tuotetaan laadukasta tietoa avoimesti saataville, on tietotuotteita – kuten metsäsuunnitelmia tai metsävaratietoja – myyvien yritysten pystyttävä muuttamaan ansaintalogiikkaansa vastaavasti. Maksullisten tietotuotteiden tuottaman lisäarvon täytyy olla riittävän suuri suhteessa avoimeen tietoon, jotta asiakkaiden kannattaa niistä maksaa. Tämä toivottavasti näkyy tulevaisuudessa entistä parempina tietotuotteina.

Koska metsävaratieto tuotetaan Suomessa nykyisin lähinnä veronmaksajien rahoituksella, sen tulisi olla myös mahdollisimman avoimesti käytössä. Luonnonvarakeskus tuottaa monilähdeinventoinnin tulokarttoja maastokoealojen ja avoimen kaukokartoitusaineiston perusteella ja Suomen metsäkeskus metsävarakarttoja maastokoealojen, laserkeilauksen ja ilmakuvauksen avulla. Ilmakuvaus, keilaus ja puustotiedon tulkinta on ulkoistettu erilaisiin metsävaratietopalvelua tarjoaviin yrityksiin. Ongelmana on päättää, miten suuri osa aineiston keräämisestä tulisi saattaa veronmaksajien maksettavaksi ja vapaasti jaettavaksi ja mikä on metsävaratietoa tuottavien yritysten rooli.

Vaikka suomalaisilla toimijoilla on julkisten investointien ansiosta etulyöntiasema metsävaratiedon hankkimisessa, on otettava huomioon, että myös ulkomaiset toimijat keräävät ja julkaisevat satelliittikuviin perustuvaa tietoa maamme metsävaroista. Tämä tieto on usein ilmaiseksi saatavilla, ja sen tarkkuuden voi olettaa jatkuvasti paranevan. Suomen kaupalliset markkinat ovat joka tapauk-

<sup>8</sup> <https://forestry-tep.eo.esa.int/>

<sup>9</sup> [Metsätietolain muutosehdotus lausuntokierrokselle](#), maa- ja metsätalousministeriön tiedote 8.11.2016

sessä pienet, ja kaupalliset ponnistelut tulee keskittää vientitoimintaan, mihin Suomen kehittynyt metsänarviointi tarjoaa erinomaisen lähtökohdan.

## Case 3: Joukkoistaminen luonnonvaratiedon tuotannossa

**Heli Viiri, Anu Seisto, Rainer Peltola, Jyrki Pusenius & Katja Holmala**

Joukkoistaminen on digitaalisen transformaation myötä jo yleiseksi muodostunut tapa sekä tuottaa että rahoittaa uusia palveluja. Joukkoistaminen on esimerkiksi toimintaa, jossa tavallisesti yrityksen omilta työntekijöiltä ulkoistetaan tiettyjä tehtäviä ulkopuoliselle, ennalta määrittelemättömälle ihmisjoukolla (engl. *crowdsourcing*). Joukkoistaminen voi olla myös joukkorahoitusta (engl. *crowdfunding*), jolloin esimerkiksi palvelun rahoittaminen tapahtuu keskenään verkostoituvien ihmisten avulla. Molemmissa tapauksissa hyödyt liittyvät siihen, että yksittäiseltä ihmiseltä ei vaadita suurta työpanosta tai rahallista sijoitusta, mutta kun työtä tai rahaa sijoittaa suuri joukko ihmisiä, sen vaikutukset voivat olla hyvinkin suuret.

Toimeksiantajan joukkoistamisesta saamat hyödyt perustuvat hyvin usein kollektiiviseen älykkyyteen, edullisuuteen sekä tehtävän suoritusnopeuteen<sup>10</sup>. Erilaiset hackathonit ovat parhaillaan hyvin suosittu muoto joukkoistaa tuote- ja palveluideoiden keräämistä. Myös Uber-taksipalvelu ja Legon Ideas-tuotekehitys hyödyntävät joukkoistamisen toimintaperiaatetta.

Joukkoistaminen luo uusia mahdollisuuksia toteuttaa luonnonvarojen hallintaan ja aktiiviseen seurantaan liittyviä palveluita. Resurssien leikkaaminen käytännön seurannoista, kenttätutkimuksesta ja henkilöstöstä niin Elintarviketurvallisuusvirastossa, Luonnonvarakeskuksessa, Suomen ympäristökeskuksessa kuin ELY-keskuksissa on johtanut siihen, että esimerkiksi vieras- ja tulokaslajien sekä metsätuhojen havainnointia ei voida enää tehdä tarpeeksi tehokkaasti, ellei hyödynnetä digitalisaatiota ja kansalaisten osallistamista eri puolilla Suomea.

Joukkoistamisesta syntyvä arvo ja siihen soveltuvat palvelut täytyy kuitenkin analysoida tapauskohtaisesti ennen kuin joukkoistamista ja digitaalisia palveluja voidaan täysimittaisesti hyödyntää. Yksittäisen palvelun ansaintalogiikan rakenne täytyy tutkia ja tunnistaa ennen palvelun kehittämistä. Asiakkaalle täytyy olla jotakin konkreettista hyötyä palvelun käyttämisestä, jotta sen käyttöön ja mahdollisesti myös kehittämiseen sitoudutaan. Joukkoistamiseen liittyy lisäksi riski laatuongelmista, jotka täytyy tunnistaa etukäteen, jotta niihin pystytään varautumaan (esim. viite<sup>11</sup>). Laatuongelmaan varautuminen on erityisen tärkeää palveluissa, joissa joukkoistamalla kerätty tieto voi vaatia erilaisia toimenpiteitä, kuten vieraslajien tai metsätuhojen leviämisen estämisessä.

Tarkastelemme tässä muutamia luonnonvarojen hallintaan liittyviä palveluesimerkkejä, joissa kansalaisten aktiivinen osallistaminen voisi täydentää ja osittain korvata vähentyneitä ammattilaishavaintoja. Nämä esimerkit ovat:

- Sähköinen hirvitietojärjestelmä (Oma Riista)
- Vieras- ja tulokaslajien digitaalinen havainnointipalvelu
- Metsätuhojen seurantapalvelu

<sup>10</sup> Sloan P. (2011) The brave new world of open innovation. *Strategic Direction*, 27. vsk, nro 5, 3–4.

<sup>11</sup> Hirth M., Hoßfeld T., Tran-Gia P. (2013) Analyzing costs and accuracy of validation mechanisms for crowdsourcing platforms. *Mathematical and Computer Modelling*, 2012, 57: 2918–2932.

- Marja- ja sienisatojen kartoitus.

Palveluiden perusajatus on, että ne mahdollistavat kansalaisten osallistumisen tiedonkeruuseen tasapuolisesti eri puolilta Suomea. Tulosten analysointi, mahdollisten toimenpiteiden käynnistäminen sekä tiedotteiden ja karttojen laatiminen vaativat kuitenkin aina asiantuntijaosaamista, joten palveluiden kehittämistä on lähestyttävä uudenlaisen toimintamallin omaksumisen ja systeemisen muutoksen kautta.

Julkisen sektorin tietovarantojen avaamisessa on edistytty, mutta vielä ei olla kuitenkaan PSI-direktiivin vaatimalla tasolla<sup>12</sup>. Ongelmaksi on muodostunut julkisten palvelujen tuottamisen rahoittaminen tai ansaintalogiikan kehittäminen yksityisin voimin toteutettuun palveluun. Valtionhallinnossa ulkopuolista rahoitusta saaneet hankkeet ovat usein jääneet vaatimattomiksi digitaalisten palveluiden ja laitteistojen nopean muutoksen ja viranomaiskehittämisen hitauden vuoksi. Palvelujen kehittämisessä tulee huomioida myös muita seikkoja, kuten erilaisten käyttäjien, esimerkiksi ikääntyneiden, valmius ottaa uutta teknologiaa käyttöön tai harvaan asuttujen alueiden heikoista internetyhteyksistä mahdollisesti aiheutuvat ongelmat. Lisäksi yleisöltä kerätyn havaintoaineiston vaihteleva alueellinen ja laadullinen edustavuus voi olla ongelma aineiston käytettävyyden ja yleistettävyyden kannalta, joten jonkinlaista ammattivoimin toteutettua havaintojen tekoa tarvittaneen jatkossakin kansalaishavaintojen verifioimiseksi.

Marja- ja sienisatoihin liittyvässä palvelussa aineiston saatavuutta voi rajoittaa myös se, että tieto parhaista marja- ja sienipaikoista halutaan pitää itsellä. Tällainen asenne saattaa tosin muuttua, kun uudet sukupolvet alkavat osallistua luonnontuotteiden hyödyntämiseen. Voi olla mahdollista, että halutaan syöttää havaintoverkkoon tahallaan väärää tietoa muiden marjastajien ja sienestäjien harhauttamiseksi.

Edellä mainittujen palvelujen kehittäminen ei ole toteutettavissa laitosten perusrahoituksella eikä -osaamisella. Palvelujen markkinoinnissa tarvitaan esimerkiksi markkinoinnin ammattilaisia. Havaintojen ilmoittamisen pitää olla teknisesti helppoa ja palkitsevaa. Digitaalinen liiketoiminta ei toimi, jos tietomalli ei vastaa liiketoimintamallia ja tiedot ovat huonolaatuisia<sup>13</sup>.

Digitaalisen palvelutuotteen kehittämistä ei voida johtaa kuten perinteistä tuotantoprosessia, jos palvelun tuottaminen ja käyttö perustuvat joukkoistamiseen. Onkin syytä pohtia, miten joukkoistamisprosessia johdetaan:

- Miten tunnistetaan eri ihmisryhmät, joilla olisi kiinnostus ja motivaatio (lyhyt- tai pitkäkestoinen) joukkopalveluihin osallistumiseen ja niiden käyttämiseen?
- Minkälaisia motivaatiotekijöitä palvelun potentiaalisilla käyttäjillä voidaan tunnistaa, millä tavoin erilaisia motivaatiotekijöitä voidaan hyödyntää palvelun kehityksessä, ja millä tavoin ne vaikuttavat palvelun ansaintalogiikkaan?
- Miten tunnistetaan erilaisia tapauksia ja potentiaalisia palveluja, joissa joukkoistamisesta voisi olla hyötyä?
- Minkälaiset joukkoistamisen muodot, mukaan lukien joukkorahoitus, toimivat eri tapauksissa?

---

<sup>12</sup> Knuuti M. (2015) Avoin data ja PSI-direktiivi julkisuuden toteuttajina. Lapin yliopisto, Oikeustieteiden tiedekunta, tutkielma. 78 s.

<sup>13</sup> Ala-Mutka J. (2016) Liiketoiminnan digitalisointi vai digitaalinen liiketoiminta? Blogikirjoitus, 29.8.2016. Viitattu 30.10.2016. <https://www.linkedin.com/pulse/liiketoiminnan-digitalisointi-vai-digitaalinen-ala-mutka-dr-sc-?trk=mp-reader-card>



Yrity maailmasta löytyy esimerkiksi tuotekehityksen joukkoistamiseen useita toimivia malleja, joista yksi tunnetuimmista on Legon Ideas-palvelu. Sen kautta kuka tahansa voi ehdottaa uutta Legomallia (<https://ideas.lego.com/>). Jos malli saa tarpeeksi kannatusta kehittäjäyhteisöltä, se etenee Legon oman tuotekehityksen tarkasteluun. Jos Legon oma tuotekehityskin hyväksyy mallin, se pääsee tuotantoon ja myyntiin. Mallin alkuperäinen kehittäjä saa palvelun kautta tekijäpalkkion myynnistä saatavista tuloista.

Vaikka ansaintalogiikkaa ei voida suoraan kopioida yrity maailmasta tässä esitettyihin esimerkkeihin, samankaltaista prosessia voidaan kuitenkin tarkastella. Kenen tahansa tuottamaa tietoa luonnonvaroihin liittyen tulisi olla mahdollista kerätä, tarvittaessa validoida, ja palvelun käyttämisen tulisi olla palkitsevaa. Joissain tapauksissa palkitsevuus voi olla oman toiminnan helpottumista (esim. metsästäjä tietää riistan liikkeet, marjastaja saa satoennusteen), toisissa se voisi tulla pelillisten elementtien kautta (aktiivisuudesta palkitaan, virtuaalitasoilla eteneminen tai pisteiden kerääminen), mutta osassa palveluja tulisi olla mahdollista saada rahallista palkkiota. Toisaalta osa palveluista voi olla käyttäjilleen maksullisia.

Erilaisia palvelumalleja voisi hyödyntää mm. seuraavien esimerkkien kaltaisesti:

- Joukkoistamalla kerättyä tietoa hirvikannasta voisi hyödyntää mobiiliin hirvikolarivaroitussjärjestelmän kehittämiseksi. Järjestelmän tuottamisen, ylläpitämisen ja päivittämisen edellyttämien resurssien saanti yhteiskunnalta voi olla ongelma. Julkisin varoin kerätyt aineistot tulee olla kuitenkin yleisesti käytettävissä<sup>14, 15</sup>. Joukkoistamista voisi tässä tapauksessa edelleen soveltaa joukkorahoituksen muodossa siten, että varoitussjärjestelmän saisi ladattua käyttöönsä jokseenkin nimellisellä korvauksella (1–5 €), jolloin jo 10 000 käyttäjää todennäköisesti kattaisi järjestelmän ylläpidon.
- Mahdollisia ansaintalogiikoita voisi olla hyville marjapaikoille neuvovan karttasovelluksen maksullisuus, joka ei koskisi innokkaimpia havaintojen tekijöitä. Karttasovelluksen ylläpidolle voisi mahdollisesti saada tukea marjoja hyödyntäviltä yrityksiltä, jotka hyötyisivät mahdollisimman hyvälaatuisesta tiedosta.
- Joihinkin sovelluksiin voisi olla mahdollista hyödyntää musiikkipalvelu Spotifyn käyttämää mainonnan mallia. Sovelluksiin voisi olla mahdollista saada mainostajia, kun mahdollisuudet todella laajan vastaanottajakunnan saavuttamiseksi ovat hyvät. Tällöin sovellus voisi olla ilmainen niille, jotka hyväksyvät mainonnan, ja maksullisessa versiossa mainokset voisi ohittaa.
- Eri tahot voisivat yhdessä tukea kerhoja luonnonvaratiedon keräämiseen rahallisten palkkioiden avulla (esim. 4H:n tai muiden olemassa olevien kerhojen ja yhdistysten kautta). Näin kokeneet metsäasioiden osajat voisivat jakaa osaamistaan nuoremmalle väestölle. Tuki mahdollistaisi palkkion maksamisen ryhmän vetäjälle. Kerholaisten tehtävänä olisi harjoitella eri lajien tunnistamista ja niistä havainnoimista. Havaintojen ahkerasta keräämisestä voisi pelillisin keinoin saada erilaisia kunniainintoja (saavuttaa tasoja) ja palkintoja. Vastaava palvelu voisi olla myös koululuokan käytössä, jolloin opettajalla olisi mahdollisuus palkkion saamiseen.

---

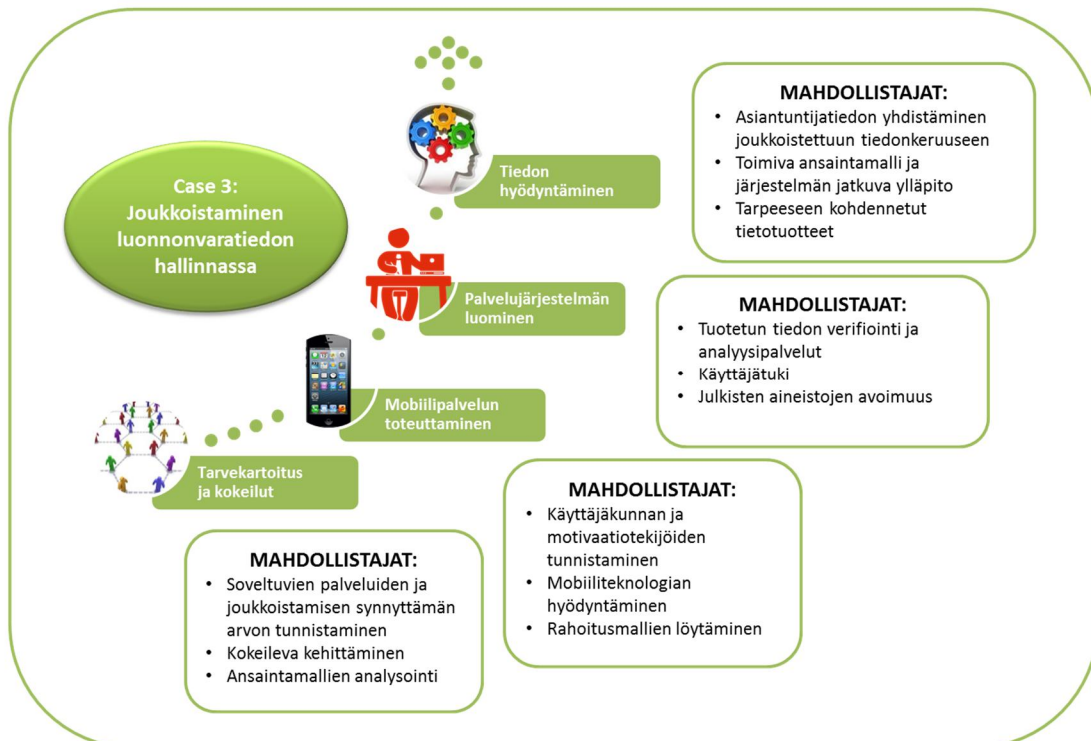
<sup>14</sup> Laki viranomaisten toiminnan julkisuudesta 621/1999.

<sup>15</sup> Julkisin sektorin hallussa olevien tietojen uudelleenkäytöstä annettu (ns. PSI-direktiivi) Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/98/EY, 17.3.2003.

Jotta eri palveluihin parhaiten soveltuva malli löytyisi, tulisi ensin kerätä tietoa palveluun linkittyviltä eri tahoilta, mukaan lukien viranomaistahoilta, yrityksiltä, maanomistajilta, kerhoilta, yhdistyksiltä sekä kansalaisilta. Uusia palvelukonsepteja tulisi ensin testata eri tahoilla ennen kuin niitä aletaan kehittää. Palvelujen koekäyttö ennen niiden lanseerausta on huomioitava, jotta mahdolliset käyttöön liittyvät ongelmat tulevat ilmi ennen laajempaa käyttöönottoa. Eri vaiheissa on mahdollisuus testata sekä kuluttajien että muiden osapuolten suhtautumista valittuun liiketoimintamalliin ja sen toimivuuteen.

Avoin kokeilukulttuurin hyödyntäminen mahdollistaa hyvinkin innovatiivisten palvelumallien testamisen ketterästi ilman suuria kustannuksia, kun palveluja kehitetään iteratiivisesti läheisessä yhteistyössä eri osapuolten kanssa. Ketterään ja osallistavaan palvelukehitykseen on olemassa työkaluja, kuten VTT:n Owela Open Web Lab.

Kuva 5 tiivistää joukkoistettujen tiedontuotantopalveluiden kehitykseen liittyvät yleiset vaiheet, joita kuvattiin edellä. Kyseisiä vaiheita tarkastellaan jäljempänä erillisten palveluesimerkkien kautta. Osassa esimerkeistä palvelukehitys on jo ottanut ensiaskeleita. Nykyisin käytössä olevissa järjestelmissä on kuitenkin suuria puutteita ja kehitystarpeita. Luonnonvaratiedon keruuseen liittyy useita aihealueita, joilla joukkoistamista ei ole hyödynnetty tai testattu lainkaan. Olennainen lähtökohta luonnonvaratiedon keruussa joukkoistamalla on pohtia, minkä tyyppistä tietoa pitäisi kerätä (kuvat, mittaukset, laskeminen tai muut havainnot) ja miten kerätyn tiedon laatu voidaan varmentaa, missä kerättyä tietoa ylläpidetään ja miten tiedon tuottajat itse hyötyvät kerätystä tiedosta. Jokaisessa esittelemässämme luonnonvaratiedon joukkoistamistapauksessa on omanlaisia haasteita, ja suurimmat yhteiset ongelmat liittyvät tapausten ansaintalogiikan tunnistamiseen ja toimintaan, etenkin kun ollaan kehittämässä yleisluontoisia yhteiskunnallisia palveluja.



**Kuva 5. Kehitysaskleet, jotka tarvitaan joukkoistamisen hyödyntämiseen luonnonvaratiedon hallinnassa.**

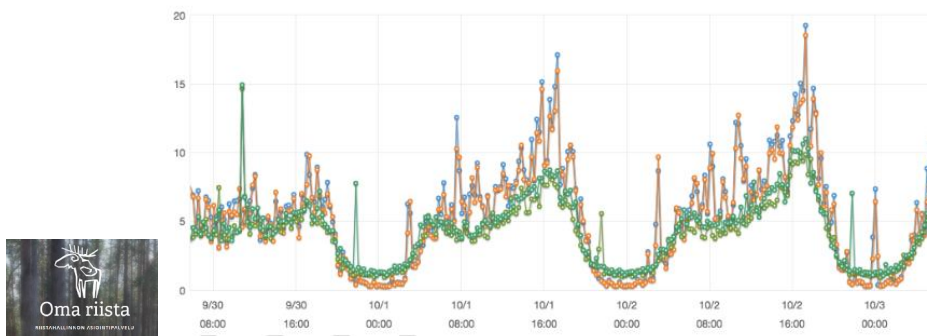
## Sähköinen hirvitietojärjestelmä

Suomen hirvikannasta on kerätty tietoa 1970-luvulta lähtien metsästäjien vapaaehtoisesti täyttämällä paperisilla hirvihavaintokorteilla. Luonnonvarakeskus ja Suomen riistakeskus ovat kehittäneet sähköisen hirvitietokortin, joka mahdollistaa paikka- ja aikaleimalla varustettujen hirvihavaintojen ja kaatojen tallentamisen hirvijahdin aikana maastossa älypuhelimella. Sähköisen hirvitietokortin edeltäjä sähköinen hirvihavaintokortti on ollut testikäytössä vuodesta 2009 lähtien ja kaikkien hirvi-seurueiden käytössä vuodesta 2011 lähtien. Sähköistä hirvihavaintokorttia käytti ensimmäisenä vuonna noin 17 % metsästäjistä.

Vapaaehtoinen havaintotiedon keräys- ja lakisääteinen saalisilmoitus yhdistetään ja uusi Oma riista -järjestelmä otettiin käyttöön vuoden 2016 hirvijahdissa. Tietojen ilmoittaminen on tehty helpoksi mobiililaitteissa toimivan palvelun avulla. Vastaavat tiedot voidaan järjestelmän käyttöönottoaiheessa ilmoittaa myös paperilla.

Oma riistan monipuolisilla metsästäjää palvelevilla ominaisuuksilla ja nopealla raportoinnilla pyritään saamaan mahdollisimman suuri osa hirvenmetsästäjistä käyttämään sähköistä järjestelmää, ja lopulta tavoitteena on päästä eroon tietojen ilmoittamisesta paperilla. Hirvitiedon keräämiseen kehitetty järjestelmä laajennetaan jatkossa muihin riistaeläimiin, ensi vaiheessa valkohäntäpeuraa koskevan tiedon keräykseen.

Luonnonvarakeskuksen hirvitutkimus voi tuottaa Suomen riistakeskuksen hallinnoimaan tietokantaa tallentuvasta aineistosta välittömästi raportteja metsästäjille. Raportit voivat olla karttoja, graafeja ja taulukoita havaintojen ja kaatojen sijainnista, saaliskertymästä sekä havaittujen ja kaadettujen eläinten ominaisuuksista. Jahdin edetessä voidaan tuottaa myös hirvikannan kokoa kuvaavia indeksejä, kannan koon ennusteita ja tietoa siitä, miten hyvin toteutuneen saaliin avulla päästään kohti hirvikannalle asetettuja tavoitteita. Jahdin päätyttyä kerätyn aineiston avulla laaditaan hirvikannan koon ja rakenteen arviot sekä verotussuosituksukset, joiden avulla voidaan päästä hirvikannalle asetettuihin tavoitteisiin. Tämä vaihe edellyttää edelleen edistyneitä tilastollisia analyysejä ja tutkijan ja tilastotieteilijän yhteistyötä. Sähköiseen järjestelmään liittyvien kannustimien, kuten nopean palautteen avulla taataan hirvitiedon saanti myös tulevaisuudessa ja siten tutkimukselle arvokkaiden aikasarjojen jatkuvuus. Edellytyksenä edellä mainittujen ominaisuuksien toteutumiselle on kuitenkin riittävä käyttäjämäärä metsästäjien keskuudessa, muuten mahdolliset hyödyt jäävät saavuttamatta.



Kuva 6. Esimerkki Oma riista -palvelun havaintomateriaalista ([www.omariista.fi](http://www.omariista.fi)).

Hirvihavaintojen kokoamisen tavoitteena on hirvikannan hoito siten, että se vastaa asetettuja tiheys- ja rakennetavoitteita: kannan tiheys on vakaa ja mahdollistaa metsästyksen, mutta vahingot pysyvät kohtuullisina. Hirvikanta pyritään pitämään oikein kohdennetulla metsästyksellä tuottavana ja ikä- ja sukupuolirakenteeltaan tasapainoisena. Kannansäätelyssä tarvittavan tiedon viiveetön ilmoittaminen, analysointi ja raportointi mahdollistavat entistä paremmin tavoitteiden mukaisen hirvikannan hoidon. Vuosittain yli 5000 hirviseuruetta eri puolilta maata on täyttänyt ja palauttanut hirvihavaintotietoja paperilomakkeilla ja sähköisesti.

Oma riista on tällä hetkellä pisimmälle kehitetty joukkoistamiseen perustuva luonnonvaratiedon hallintajärjestelmä Suomessa. Sitä vanhempi laajamittainen joukkoistamiseen perustuva järjestelmä on sähköinen suurpetohavaintotiedonkeruujärjestelmä TASSU (vuodesta 2007 alkaen) ja vanhin on riistakolmiojärjestelmä ([riistakolmiot.fi](http://riistakolmiot.fi)). Oma riista -palvelu on riistahallinnon sähköinen asiointipalvelu, jonka toteuttamisesta ja ylläpidosta vastaa Suomen riistakeskus. Järjestelmää hyödyntävät julkisessa riistakonsernissa maa- ja metsätalousministeriö, Luonnonvarakeskus ja Metsähallitus. Oma riista -palvelussa on sähköinen metsästyskortti. Käyttäjä voi pitää Oma riista -palvelussa omaa riistalokiaan eli kirjata talteen havainto- ja saalistapahtumia. Riistahallinnolle tehtäviä lakisääteisiä saalisilmoituksia voi palauttaa verkkopalvelun avulla.

Nykyisellään Oma riista -järjestelmän hirvitieto-osuus on kehittynyt perinteisillä tiedonkeruumenetelmillä toimineesta menetelmästä mobiiliksi kännykkäsovellukseksi. Olennaista palvelun kehittämisessä on ollut metsästäjien sitoutuminen hirvihavaintojen tiedonkeruuseen. Ajurit, jotka ovat ohjanneet palvelun kehittämistä digitaaliseen muotoon, ovat olleet tarve saada reaaliaikaista tietoa metsästyksen ohjaukseen, tiedon keruun tehostaminen ja käsin tallennuksesta luopuminen. Metsästäjät ovat kokeneet tekevänsä tärkeää työtä hirvikannan hoitamiseksi ja jatkuvuuden turvaamiseksi. Palvelun kehittyminen mobiilipalveluksi on ollut mahdollista, koska tässä tapauksessa ansaintalogiikka on toiminut. Sekä viranomastaho että metsästäjät ovat selkeästi hyötäneet tiedon keräämisestä ja palvelun kehittämisestä.

Paikkatietopohjainen aineisto mahdollistaa tulevaisuudessa myös muiden hirvivahinkojen vähentämistä palvelevien sovellusten kehittämisen, koska nykyinen järjestelmä mahdollistaa tietojen lähettämisen yleishyödyllisten sovellusten käyttöön. Tällainen palvelu voisi olla esimerkiksi hirvikolarivaroitussjärjestelmä. Järjestelmän tuottaminen olisi teknisesti realistista, koska käytettävissä on tarkkaa tietoa hirvien paikallisista kannoista nimenomaan ajankohtina, jolloin hirvikolareita tapahtuu eniten. Kun tähän tietoon lisätään olemassa oleva tieto hirvikolareiden tapahtumapaikkojen ympäristön ominaisuuksista ja pannoitettujen hirvien käyttäytymisestä suhteessa teihin sekä käyttäjien tuottamat hirvihavainnot, voidaan olettaa, että hirvikolaririskiä pystytään ennustamaan melko tarkasti. Hirvikolarivaroitussjärjestelmällä olisi epäilemättä huomattavan suuri positiivinen yhteiskunnallinen vaikutus.

Raskaan liikenteen kuljettajille on toteutettu vastaavan kaltainen älypuhelinsovellus porohavainnoista (<http://www.varoporoa.fi>). Kun kuljettaja näkee tiellä poroja, hän painaa ajoneuvoon kiinteästi asennetun puhelimen näyttöä, jolloin varoitus lähtee heti muille palvelun käyttäjille. Myös poronhoitajat ovat lähettäneet varoituksia. VTT on haastatellut sovellusta kokeilleita kuljettajia, jotka ajavat alueella ja kohtaavat usein poroja. Valtaosa kuljettajista piti palvelua hyödyllisenä. Palvelu helpottaa tilanteiden ennakointia ja parantaa liikenneturvallisuutta. Kuljettajat hiljensivät ajonopeutta, kun he saivat varoituksen. Hanketta ovat rahoittaneet Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Liikennevirasto, Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin ELY-keskukset sekä Paliskuntain yhdistys.

## Vieras- ja tulokaslajien digitaalinen havainnointipalvelu

Tietoja vieraslajeista kerätään kansallisen [Vieraslaajat.fi](http://www.vieraslaajat.fi)-portaalin avulla. Vieras- ja tulokaslajien havainnointia voitaisiin tehdä vielä nykyistä laajemmin kansalaisaktiivisuuden avulla. Vuosina 2012 ja 2013 maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella toteutetussa Haitallisten vieraslajien hallinta ja tietoisuuden lisääminen -hankkeessa oli tarkoituksena selvittää parasta toimintatapaa eri organisaatioiden hallinnoimien vieraslajiaineistojen keruun ja yhteiskäytön toteuttamiseksi. Tuloksena syntyi vieraslajiportaali, jonka www-sivuilta ([www.vieraslaajat.fi](http://www.vieraslaajat.fi)) saa tietoa vieraslajeista ja pääsee selaamaan yhteisiä aineistoja sekä ilmoittamaan vieraslajihavainnoista. Portaalia ja sen taustalla toimivaa tietovarastokantaa voidaan kehittää edelleen toimimaan osana varhaisvaroitusjärjestelmää, jota EU:ssa hyväksytty vieraslajiasetus jäsenmailta vaatii. Tavoitteena tämänkaltaisen palvelun kehittämisessä ja käytössä on, että toiminta tukee viranomaisten toimintaa vieraslajien torjunnassa.

Jotta tutkimus ja tarvittavat torjuntatoimenpiteet voidaan käynnistää, tarvitaan ensin lajihavaintoja. Täytyy kuitenkin muistaa, että havaintoaineistoja eri lähteistä yhdistettäessä ei synny levinneisyyskarttaa, vaan saadaan ainoastaan käsitys siitä, mitä aineistoja on jo olemassa. Tämän jälkeen kansalaishavainnot voivat täydentää havaintoja. Jotta kansalaiset voisivat tehdä luotettavia havaintoja, heille täytyy tarjota määräysohjeita lajien luotettavaan tunnistamiseen<sup>16, 17</sup>. Palvelun käytettävyyden ja houkuttelevuuden kannalta yleinen tietotaso on keskeistä, sillä vaatii tietoja ja taitoja tunnistaa eri vieraslajeja. Tieto lajeista, määräyksestä, haitoista ja torjunnasta toimii myös motivaationa havaintojen antamiselle.



**Kuva 7. Vieraslajiportaali on tällä hetkellä käytössä oleva kanava havaintojen ilmoittamiseen ([www.vieraslaajat.fi](http://www.vieraslaajat.fi)).**

Lajistoa kuvaavia havaintoaineistoja keräävät Suomessa useat viranomaiset, tutkijat sekä harrastaja- ja kansalaisjärjestöt. Tietoa kerätään eri tarkoituksiin, eikä vieraslajeja voi tarkastella irrallaan muusta lajistosta. Levinneisyystiedot haetaan vieraslajiportaaliin useasta eri tietokannasta, joihin kartutetaan tietoa koko lajistosta. Tiedon laatu vaihtelee, joten viranomaisten pitää varmistaa viranomaistoimenpiteisiin johtavat havainnot, kuten tieto havaituista uusista tai laaja-alaisista tuho-ongelmista, havainnon mukana annetun dokumentaation tai tarvittaessa maastokäynnin perusteel-

<sup>16</sup> Starr J., Schweik C.M., Bush N., Fletcher L., Finn J., Fish J., Barger C.T. (2014) Lights, Camera... Citizen Science: Assessing the Effectiveness of Smartphone-Based Video Training in Invasive Plant Identification. PLoS One, 9(11): e111433. doi:10.1371/journal.pone.0111433

<sup>17</sup> Goczał J., Rossa R., Sweeney, J., Tofilski A. (2016) Citizen monitoring of invasive species: wing morphology as a tool for detection of alien Tetropium species. J. Appl. Entomol. doi: 10.1111/jen.12370

la. Kun on kyse vieraslajeista, taudinaiheuttajan ja tuholaisen aiheuttamat jatkotoimenpiteet tehdään tämän jälkeen viranomaisyhteistyönä.

Vieraslajit leviävät ihmisen avustamana joko tahallisesti tai tahattomasti. Kansainvälinen kauppa, globalisaatio ja Suomen liittyminen EU:hun ovat avanneet rajat ja lisänneet merkittävästi vieraslajien invaasiota maahamme. Tulokaslajit ovat lajeja, jotka leviävät maahan luonnollisesti, esimerkiksi kun ilmastonmuutos mahdollistaa lajin selviämisen Suomessa. Tieto ja kiinnostus vieraslajeista ei ole levinnyt riittävän laajalle suuren yleisön keskuudessa, jotta vieraslajiportaalin kautta tulisi kattavasti havaintoja. Portaalissa esitellään vieraslajilistan lajit tunnistuskuvineen ja ympäristövaatimuksineen sekä kuvataan niiden aiheuttamaa haittaa ja mahdollisia torjuntakeinoja.

Palvelun käytettävyyden ja houkuttelevuuden kannalta tunnustustiedon jakaminen sekä mahdollisuus havainnon dokumentoimiseen ovat keskeisiä ominaisuuksia, jos halutaan kerätä luotettavaa tietoa ja vähentää viranomaistoiminnan kuluja. Olennaista tämänkaltaisen palvelun aineiston luotettavuudessa on, millä tavalla havainnointitieto kerätään, esim. lähetetäänkö palvelussa tuhokuvaukset, valokuva vai näyte. Täytyy myös huomioida, että eri lajiryhmät vaativat erilaisen dokumentaation keräämistä ja erityisesti erityyppisiä viranomaistoimenpiteitä. Esim. kansalaisten löytöinä esiin tulleet karanteenilajit täytyy ilmoittaa suoraan Elintarviketurvallisuusvirasto Eviraan, koska havaintojen käsittelyssä on EU:n tasolla tiukat kriteerit ja uusi havainto vaatii välittömiä toimenpiteitä. Karanteenilajihavaintojen näyttäminen avoimesti kartalla on ongelmallista esimerkiksi kasvitautien ja tuholaisien leviämisen ehkäisyn kannalta.

Tämän vuoksi vieras- ja tulokaslajien tunnistaminen pitäisi ensin saada laajempaan tietoisuuteen, jotta joukkoistaminen toimisi tehokkaasti havaintojen keruussa<sup>18</sup>. Asian tuominen suuren yleisön tietoisuuteen vaatisi hyvin voimakasta tiedotusta mediassa ja monipuolisen tiedotusmateriaalin tarjoamista mm. vieraslajiportaalin kautta. Tällä hetkellä tiedotus ja aineiston keruu tapahtuvat useiden erillisten projektien kautta, mikä ei ole järjestelmän toimivuuden kannalta riittävää. Osana toimivaa palvelua täytyisi toimia päivystysluontoinen havaintojen analysointi. Myös raportoimisen ja torjuntatoimien konkreettinen vastuuttaminen on tarpeen, että tiedon keruusta olisi jotakin hyötyä. Vieraslajiportaalin ylläpitoon osallistuvilla valtion laitoksilla tulisi olla jatkuvia resursseja sen sisällön kehittämiseen ja markkinointiin.

## Metsätuhojen seurantapalvelu

Metsätuhojen seurantapalvelun tavoite olisi saada kansalaiset ilmoittamaan metsätuhoista viranomaisille nykyistä enemmän. Lisääntynyt tieto tukisi tutkimusta ja asiakaspalvelua sekä parantaisi viranomaisten mahdollisuuksia tutkimus- ja seurantatoiminnan suuntaamisessa normaalitilanteessa. Poikkeuksellisissa ja yllättävissä tuhotilanteissa voitaisiin tehostaa viestintää tarvittaville alueille.

Tällä hetkellä metsätuhojen ilmoittamiseen on käytössä passiivinen internetlomake. Ongelmana on, että lomake on organisaatiomuutoksen jälkeen vaikeasti löydettävissä Luonnonvarakeskuksen internetsivuilta. Internetin kautta on tullut nykyisellään noin 50 ilmoitusta vuodessa, ja tuohavainnot ovat epätasaisesti jakautuneita alueellisesti ja eri tuhonaiheuttajien kesken. Palvelua on kehitetty mm. kääntämällä lomake ruotsiksi. Palvelua voitaisiin kehittää edelleen tekemällä mobiilisoluvellus, jolla ilmoituksen teko ja siihen liittyvien kuvien lähettäminen onnistuisivat tuhokohteessa helposti. Lisäksi voitaisiin kehittää uusi internetpalvelu, joka generoisi tulosraportit automaattisesti ja reaaliaikaisesti tutkijoiden käyttöön. Tällöin aikaa ja resursseja voitaisiin käyttää epäselvien tapauksien tunnistamiseen.

<sup>18</sup> Dickinson J.L., Zuckerberg B., Bonter D.N. (2010) Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 41: 149–172. <http://www.jstor.org/stable/27896218>

Palvelun kehittämiseksi tarvitaan asiakkaiden motivaatiotekijöiden tunnistamista, jotta uutta, tehokkaampaa internetpalvelua voitaisiin markkinoida oikealle joukolle. Lisäksi tuohavainnointia kerätessä on ratkaistava etukäteen, minkä tyyppistä tietoa kerätään (ilmoitus, näyte vai kuva). Metsätuhotietopalvelun kaltaisessa palvelussa tarvitaan aina asiantuntijaa tuhojen lopulliseksi tunnistamiseksi ja toimintaohjeiden antamiseksi metsänomistajalle ja muille tarpeellisille tahoille.

Valtionhallinnon viestinnän keskeisten periaatteiden merkitys korostuu laajassa metsätuhotilanteessa. Sekä väestön että median lisääntyneeseen tarpeeseen saada tietoa on pystyttävä vastaamaan nopeasti, luotettavasti ja mahdollisimman avoimesti. Valtakunnan metsien inventoinneissa (VMI) saatava systemaattinen aineisto mahdollistaa taloudellisesti tärkeimpien tuhojen ajallisen ja maantieteellisen laajuuden seurannan suuraluetasolla. Metsätuhoja havainnoidaan vuosittain noin 10 000 metsämaan kuviolta.

Valtakunnan metsien inventoinnilla ei kuitenkaan saada edustavaa otosta suurimmasta osasta tuhonaiheuttajia ja tuhoja, koska tuhonaiheuttajilla on erilaisia erityispiirteitä. Metsätuhot esiintyvät ajallisesti ja paikallisesti epätasaisesti, joten hilaverkkoon pohjautuva, maantieteellisesti tasainen valtakunnan metsien inventoinnin otanta toimii huonosti niiden havainnointiin. Valtakunnan metsien inventoinnissa käytössä olevat kriteerit perustuvat useimpien tuhonaiheuttajien osalta siihen, että tuholainen on jo aiheuttanut puuston kasvutappioita, mikä on usein liian myöhään tuhojen torjunnan kannalta.

Ilmastonmuutos tuo uusia tuhonaiheuttajia ja muuttaa entisten lajien esiintymisalueita ja taudinsekä tuhonaiheuttamiskykyä. Kansainvälinen kauppa ja Suomen liittyminen EU:hun ovat avanneet rajat ja lisänneet erilaisten tautien ja tuholaisten esiintymistä Suomessa. Metsätuhojen seuranta on Luonnonvarakeskukselle kuuluva lakisääteinen tehtävä, ja metsätuhoista raportoidaan vuosittain ja tarvittaessa useamminkin maa- ja metsätalousministeriölle. Viranomaisyhteistyö mahdollistaa tiedonkulun eri viranomaisten kesken.

Haasteena on, miten aktiivinen ja metsistä kiinnostunut väestö saataisiin kiinnostumaan digitaalisen palvelun käyttämisestä. Heillä olisi käytettävissään paljon pohjatietoa metsäasioista ja sen myötä potentiaalisesti osaamista luotettavien metsätuohavainnointien tekemiseen. Palvelun helppokäyttöisyys on tämänkaltaisessa palvelussa aina ristiriidassa tuhon tunnistamisen luotettavuuden kanssa. Esimerkiksi kansalaisten tekemissä hyönteishavainnoissa on suuria lajikohtaisia eroja oikein tunnistamisen tarkkuudessa samankin hyönteissuvun sisällä<sup>19</sup>. Asiantuntijan täytyy aina varmentaa tuohavainnot, ja tuhoilmoituspalvelun sovellettavuus vaatii aina asiantuntemusta, joten edelleen tarvitaan myös perinteisiä henkilöstöresursseja tutkimukseen ja asiantuntijatehtäviin.

### Marja- ja sienisatojen kartoitus

Marjastusta harrastaa noin 60 % suomalaisista. Niinpä satoseurannat ja -ennusteet kiinnostavat suomalaisia luonnontuotealan yrityksiä ja kansalaisia. Metsäntutkimuslaitoksen (nykyään Luonnonvarakeskuksen) marja- ja sienisatotiedotteita on luettu vuosittain yli 50 000 kertaa, ja muun median välityksellä tieto marjasadoista on välittynyt yli miljoonalle kansalaiselle. Suomen metsät tuottavat ei-puuaineksisia raaka-aineita satojen miljoonien eurojen arvosta vuosittain. Tästä potentiaalista hyödynnetään luonnonmarjojen osalta alle 10 %, sienten ja luonnonkasvien osalta vieläkin vähemmän.

---

<sup>19</sup> Vantieghem P., Maes D., Kaiser A., Merckx T. (2016) Quality of citizen science data and its consequences for the conservation of skipper butterflies (Hesperiidae) in Flanders (northern Belgium). *J. Insect Conserv.* DOI 10.1007/s10841-016-9924-4

Luonnontuotteisiin perustuva elinkeinotoiminta on kasvua, mutta kasvun hidasteena ovat raaka-aineen saatavuuteen liittyvät ongelmat. Alalla toimivien yritysten haasteena on löytää jopa vuosittain vaihtuvat runsassatoiset alueet. Suuret vaihtelut luonnontuotteiden saatavuudessa heikentävät yrityksissä esim. investointihalukkuutta, koska raaka-aineen riittävä saatavuus on epävarmaa.

Luonnontuotteiden alkuperän osoittaminen on myös tärkeää tuotteiden markkinoinnissa. Markkinoilla arvostetaan aitoa pohjoista alkuperää, korkeita arvoainepitoisuuksia ja luomua. Esimerkiksi metsämarjatuotteita väärennetään Kaukoidän markkinoilla, joten koko tuotantoketjun luotettavuus ja varmuus alkuperästä ovat tärkeitä markkinoinnin työkaluja. Kun satoalueet vaihtelevat, tarvitaan tehokkaita työkaluja alkuperän todentamiseen, joka on ehdoton edellytys alkuperäsertifikaattien (esim. PEFC, luomu, myöhemmin PGI) hyödyntämiselle markkinoinnissa.

Marja- ja sienisatojen kartoitus on mahdollista toteuttaa hyödyntäen *citizen science* -konseptia, jossa luonnontuotteiden hyödyntämisestä kiinnostuneet kansalaiset osallistuvat aktiivisesti satohavaintojen tekoon. Satohavainnot voidaan kerätä hirvihavaintojärjestelmän kaltaisella mobiilisovelluksella ja julkaista satoennusteina ja -karttoina. Julkisella kartta- ja havaintoverkostolla saadaan helpotettua marjoja ja sieniä hyödyntävien elinkeinon raaka-aineen hankintaongelmia ja metsän antimille lisää käyttäjiä. Modernit, luonnontuotteiden hyödyntämistä helpottavat työkalut turvaavat myös luonnonvarojen hyödyntämisen jatkumista nuorten parissa ja avoimuutta yhteiskunnassa.

Järjestelmässä kansalaiset tekisivät satohavainnot ja tallentaisivat havainnot mobiilisovellusta hyödyntäen Luonnonvarakeskuksen tietoaisteihin, joiden perusteella Luonnonvarakeskuksen asiantuntijat laatisivat satoennusteet. Kun seuranta-alat lisääntyisivät, satoseurannat olisivat tarkkuudeltaan luotettavampia sekä alueellisesti ja ajallisesti kattavampia kuin aikaisemmin. Satoihin liittyvä tiedottaminen palvelisi ja tukisi luonnontuotealan yritysten tarpeita aikaisempaa paremmin sekä laajemmin kaikkia luonnontuotteita kerääviä kansalaisia. Luonnontuotteiden raaka-ainetuotantoon tarkoitettu osa mobiilia hallintajärjestelmää toimisi alkuperän jäljittävänä työkaluna, jolla varmistettaisiin koko arvoketjun ensimmäisen lenkin laatu. Tästä hyötyisi etenkin raaka-ainetta hyödyntävä vientisektori, joka saa lisää argumentteja suomalaisten luonnontuotteiden tärkeimpien markkinaetujen, laadun ja luotettavuuden osoittamiseksi.

Koska perinteisiin satoruutuseurantoihin ei ole Luonnonvarakeskuksessa enää henkilöstöä eikä taloudellisia resursseja, satoseurantojen jatkamisen edellytyksenä on kokonaan uudenlainainen tiedon keruun konsepti. Havaintopaikkojen määrä on laskenut 2000-luvun alun yli sadasta vuoden 2016 viiteentoista, mutta kansalaisten avustuksella havaintopaikkojen määrää voisi mahdollisesti tulevaisuudessa jopa kasvattaa. Marja- ja sienihavaintojen joukkoistamiselle on hyvät edellytykset, ja tärkeimpänä syynä tähän on marja- ja sienisatoihin kohdistuva suuri mielenkiinto. Havaintojen kokoamiseen on myös aikaisemmin saatu apua Suomen 4H-liiton kautta.

Marja- ja sienisatoennustepalvelun kehittäminen on mahdollista, koska karttasovellusten jakaminen internetissä on helppoa. Lähes kaikilla kansalaisilla on älypuhelin ja lähes kaikki sitä osaavat myös käyttää. Palvelun kohderyhminä olisivat luonnontuotteita hyödyntävät valtakunnalliset ja alueelliset yritykset sekä luonnontuotteita hyödyntävät kansalaiset, siis hyvinkin 60 % väestöstä. Parempi tieto vuotuisista luonnontuotesadoista, niiden kypsymisestä ja alkuperästä parantaisi metsiin perustuvia elinkeinomahdollisuuksia, jolloin metsäraaka-aineiden tuotteistamista ja vientiä voitaisiin kasvattaa merkittävästi.

Kansalaishavaintoihin perustuva sadoista tiedottaminen on uusi sosiaalinen innovaatio, joka osallistaisi kansalaisia havainnoimaan ja seuraamaan luonnonilmiöitä ja lisäisi kiinnostusta luonnontuotteiden keruuseen ja käyttöön Suomessa. Kansalaishavaintojen teko verkottaisi ja lisäisi yhdes-



sä tekemistä, mikä lisäisi sosiaalista pääomaa ja vaikuttaisi siten välillisesti maaseudun elinoloihin ja viihtyvyyteen. Kansalaishavaintoihin perustuvien aineistojen hyödyntäminen tutkimuksessa lisäisi kansalaisten yhteistyötä osin julkisella rahoituksella toimivan tutkimuslaitoksen eli Luonnonvarakeskuksen kanssa ja uudistaisi siten myös Luonnonvarakeskuksen toimintamallia. Suomalaiset tunnetaan hyvästä luontosuhteestaan ja luonto vetää myös matkailijoita. Tällainen uusi kansalaisinnovaatio olisi Suomen luonnontuotteiden vientiä ajatellen hyvä markkinointivaltti ja ylivoimainen.

## Case 4: Genominen big data ja sen hyödyntäminen luonnonvarojen hallinnassa

**Juha-Pekka Pitkänen, Kaisa Nieminen, Jarkko Hantula, Kristiina Kruus & Mikko Arvas**

Kyky lukea eliön genomi on yleinen teknologia, jota voidaan soveltaa mille tahansa eliölle, vaikkakin ihmisiin kohdistuva tutkimus ohjaa teknologian kehitystä voimakkaimmin. Halu rajoittaa terveydenhuollon yhteiskunnallisia kustannuksia, tehostaa ja kohdentaa lääkkeiden käyttöä ja luoda täysin uutta genomitietoa hyödyntävää liiketoimintaa on huimaa vauhtia tuomassa ihmisen perimän lukemisen eli genomien sekvensoinnin hintoja alas. Ensimmäinen yhden ihmisen genomien lukeminen maksoi kokonaisuudessaan 2,7 miljardia dollaria ja kesti maailmanlaajuisena yhteistyönä 13 vuotta. Tänä päivänä ihmisgenomin uudelleen lukeminen maksaa noin 1000 dollaria, ja aiemmin tuntemattoman bakteerigenomin saa palvelua myyviltiltä yrityksiltä suunnilleen samaan hintaan muutamassa viikossa.

Genomien lukemisen kehitys mullistaa eliöiden hyödyntämiseen perustuvaa biotaloutta. Genomien lukeminen mahdollistaa laajan kirjon erilaisia laskennallisia analyysejä genomilla. Genomien analysoinnin, genetiikan, keskeinen tehtävä on ymmärtää, miten genomi liittyy eliön ilmiöihin. Jotta tämä yhteys voidaan selvittää, pitää digitalisoida genomidatan lisäksi mittauksia eliön ilmiöistä ja ympäristöstä. Tällöin puhutaan tietysti suurista tietomääristä, sillä yhden yksilön genomi vie tietoa vähintään yhden gigatavun verran.

DNA on solun tietovarasto. Siksi se on solun informaatorikkain ja yksi sen kemiallisesti vakaimmista osista. DNA rakentuu kaksoiskierteen muodostavista emäspareista, joita yhden ihmisen genomissa on noin kuusi miljardia. Tavallisella bakteerilla genomissa on vastaavasti vain alle kymmenen miljoonaa emäsparia ja kasveilla joitain satoja miljoonia emäspareja. DNA:n sekvensointi on tai tulee olemaan useimmiten halvempaa kuin muut kemialliset analyysit etenkin, kun verrataan tuotetun tiedon määrää. DNA-sekvenssin perusteella voidaan mallintaa eliöiden ominaisuuksia aina viljan ravintosisällöstä geenimuunnellun, biopoltoaineen tuotannossa käytetyn hiivan prosessiominaisuuksiin. Tulevaisuudessa kaikki meidät, mutta myös meidän tuotantoeliömme ja lemmikkimme sekvensoidaan. Tätä kautta genomitieto digitalisoituu ja aivan uudenlainen tutkimus, palveluntuotanto, liiketoimintamallit ja bioteknologiaan perustuva teollisuustuotanto mahdollistuvat.

Kun geenitekologiset menetelmät kehittyivät 1980-luvulla, mahdollistui esimerkiksi ihmisen insuliinin tuotto hiivalla ja tehokkaiden teollisuusentsyymejä tuottavien mikrobikantojen rakentaminen uusien geenien eliöihin lisäämällä tai nykyisiä muuttamalla tai poistamalla. Samankaltaista suunniteltua tuotantoeliöiden ominaisuuksien muokkausta on tehty myös kasvi- ja eläinpuolella esimerkiksi kasvien säilyvyyden ja eläinten tuottavuuden parantamiseksi. Tuotantoeliöiden kehittäminen on kuitenkin ollut aikaa vievää ja kallista, ja työssä on edetty pitkälti yrityksen ja erehdyksen kautta.

### Visio

Eliöiden genomien lukeminen tietokoneella käsiteltävään muotoon, eli digitalisoiminen massiivisessa mittakaavassa, mahdollistaa genomien tietokoneavusteisen suunnittelun tuotantoeliöiden ominaisuuksien parantamiseksi ja aivan uudenlaisten biologisten tuotteiden kehittämiseksi. Jotta digitaalisesti suunnitellut ja tallennetut genomien muutokset saadaan käyttöön, pitää genomi osata kirjoittaa takaisin kemialliseen muotoon ja viedä elävään soluun. Massiivinen DNA:n lukeminen ja kirjoittaminen ja synteettinen biologia tehostavat genomien muuntelua digitaalisella biologisten systeemien

suunnittelulla. Tämä mahdollistaa aivan uudentyypin genomin muuntelun, kun maapallon biodiversiteetin kattavista digitaalisista DNA-tietopankeista voidaan tietokoneohjatusti suunnitella suuria synteettisiä DNA-kirjastoja, joiden avulla muunnellaan tai tuodaan uusi ominaisuuksia tuotantoeliöihin ennennäkemättömässä mittakaavassa. Samalla synteettisen biologian kehitys nopeuttaa ja parantaa genomin muuntelun tekniikoita, eli kirjoitetun genomin vieminen elävään soluun helpottuu.

Tavoitteena on, että koko planeetan keskeinen perinnöllinen biodiversiteetti, genomitieto, on digitalisoitu ja käytettävissä uusien ja paranneltujen tuotantoeliöiden digitaaliseen suunnitteluun. Digitaalinen tuotantoeliöiden ja tuotteiden suunnittelu ja tuotantoeliöiden rakentaminen ovat niin halpaa ja nopeaa, että ne ovat myös pienten ja keskisuurten yritysten käytettävissä ja merkittävää uutta yritystoimintaa syntyy. Öljypohjaisia tuotteita ei enää tarvita, kun kotimainen biomassa ja ilman hiilidioksidi voidaan taloudellisesti muuntaa korvaaviksi tuotteiksi.

## Digitalisaatioon perustuva ratkaisu



**Kuva 8. Genomisen big data -kehityspolku.**

## Nykytila

DNA:n lukemisen ja kirjoittamisen, digitaalisen biologisten systeemien suunnittelun ja eliöiden genomin muuntelun hinnat eivät ole vielä riittävän alhaalla, jotta digitalisaatio mullistaisi nopeasti yhteiskuntaa. Käytännössä uuden tai parannetun bioteknisen tuotantoprosessin luominen geenimuunnellun tuotantoeliön avulla vaatii suuryrityksen resurssit, sisältää melko suuria riskejä, kestää useita vuosia eikä siitä johtuen ole taloudellisesti kovin kannattavaa.

Perinteiset genominmuokausmenetelmät tuottavat eliön genomiin siirtogeenisen alueen. Vaaditun testauksen määrän ja yleisen mielipiteen takia siirtogeenisten tuotantoeliöiden (genomista löytyy

siirtogeeninen alue) hyödyntäminen Euroopan kasvi- ja eläintuotannossa on ollut hyvin rajoitettua. Geenieditoitujen eliöiden (genomissa ei siirtogeenistä aluetta) osalta lainsäädäntö on vasta kehitteillä.

### Vaihe 1: DNA:n lukemisen ja kirjoittamisen kustannukset laskevat

Samaan aikaan kun DNA:n lukemisen hinta on jatkuvassa laskussa, myös DNA:n syntetisoimisen eli kirjoittamisen hinta on romahtamassa. Vuonna 2005 yhden emäsparin kirjoittaminen maksoi noin yhden dollarin, kun se vuonna 2017 voi maksaa vain 0,1 dollaria, ja hintojen uskotaan laskevan jälleen kymmenesosaan lähivuosina. Synteettisen biologian ja DNA:n lukemisen ja kirjoittamisen nopeutumisen johdosta tuotantoeliöiden kehitystyö täsmentyy ja nopeutuu arviolta kymmenkertaisesti vuoteen 2020 mennessä. Uusien bioteknisesti valmistettujen teollisten tuotteiden määrä tulee kasvamaan nopeasti, koska yritysten kehitystyöhön tarvittavat investoinnit vähenevät ja riskit pienenevät.

### Vaihe 2: Uusien geenieditointimenetelmien vastuullinen käyttö tuotantoeliöiden muokkamiseksi ja vaadittavat lainsäädännön muutokset

Uudet geenieditointimenetelmät, ensi sijassa CRISPR-Cas9, antavat mahdollisuuden tuottaa geeniteettisesti muokattuja tuotantoeliöitä, joiden genomiin ei jää siirtogeenistä materiaalia. Kyseinen teknologia mahdollistaa myös yli kymmenkertaisen kehitysnopeuden kasvattamisen.

Geneettisesti muokattujen tuotantokasvien ja etenkin -eläinten laajamittainen hyödyntäminen edellyttää vastuullisia toimintatapoja ja yleisen mielipiteen huomioimista. Ihmiskuntaa uhkaavat suuret haasteet, kuten elintarvikkeiden riittävyys ja tarve luopua fossiilisista raaka-aineista, saavat mahdollisesti aikaan muutoksia geeniteknikan käyttöön liittyvässä ilmapiirissä. Se puolestaan saattaa johtaa lainsäädännön muuttumiseen.

Datan avoimuus muodostaa toisen keskeisen haasteen. Suomalaiset toimijat ovat melko pieniä eivätkä välttämättä kykene yksin tuottamaan riittävän suuria datamääriä. Avoin data mahdollistaa eri toimijoiden tuottamien datojen yhdistelyn, ja toisaalta julkisiin tietokantoihin tallennettu data säilyy myös toimijoiden muuttuessa.

Datan avoimuus on siten yksi mahdollinen lainsäädännöllinen kysymys. Samassa yhteydessä on hyvä tarkastella, täytyykö uusien muokattujen tuotantoeliöiden genomitieto tallentaa julkisiin tietokantoihin ennen kaupallisen hyödyntämisen sallimista. Voisiko tietyn geenitiedon ensimmäiseksi julkisuuteen tuonutta tahoa automaattisesti palkita siinä vaiheessa, kun sen tuottamaa tietoa käytetään tuotantoeliössä? Tämän tyylinen ratkaisu voisi toimia ansaintamallina, joka rohkaisee avoimeen tiedonjakamiseen.

### Vaihe 3: Automaatio datan käsittelyssä ja tuotantoeliöiden rakentamisessa

Genomien sekvensoinnissa syntyvät datamäärät ovat valtavat. Massiivisia määriä genomi- ja ilmi-asutietoa on haastavaa säilyttää ja prosessoida; hallinta vaatii erityisosaamista kuten bioinformaattikkojen työpanosta. Osaratkaisuna on CSC:n (Tieteen tietotekniikan keskus Oy) toiminnan tehostaminen biologisen datan suhteen: nykyisellään CSC:n toiminta on optimoitu fyysikaalisen ja matemaattisen datan (esim. meteorologia) käsittelyyn. Lisäksi vaaditaan datasiirron nopeuttamista ja datan käsittelyn automatisointia.

Keskeinen haaste biotaloudelle on automatisoida tuotantoeliöiden genomien muuntelu ja syntyvien ilmi-asujen digitalisointi ja kehittää kerätyn datan pohjalta niin hyvät suunnittelualgoritmit, että tuo-

tantoeliöiden kehitystyön hinta romahtaa. Tämä tuo merkittäviä parannuksia olemassa olevaan yritystoimintaan ja synnyttää täysin uutta liiketoimintaa.

#### Vaihe 4: Genomitiedon lukemisen joukkoistaminen

Uudet genomin lukemis- eli digitalisointitekniologiat lupaavat siirtää genomin lukemisen laboratorion kentälle. Jo nyt Oxford Nanopore myy tuhannella dollarilla laitepakettia, jolla innokas harrastaja, jonka saatavilla on peruslaboratoriolaitteistoa, voi lukea päivässä yhden bakteerin genomin. Kasvava biohackeriliike puolestaan pyrkii tarjoamaan peruslaboratorioita julkiseen käyttöön. Samaan aikaan uusien perimän lukemisteknologioiden ympärille kehitetään DNA:n eristystekniikoita, jotka eivät vaadi laboratoriolaitteistoa tai osaamista. Tällaisia teknologioita tullaan julkaisemaan seuraavan viiden vuoden aikana, ja ne mahdollistavat perimän lukemisen ja välittömän analysoinnin esim. älypuhelimien lisälaitteella.

Nyt ja oletettavasti seuraavan viiden vuoden aikana genomin lukemisen hinta kotioloissa, vaikkapa takapihan omenapuun oudon sienitaudin tunnistamiseksi tai oman genomin lukemiseksi, on vielä tavallisen kansalaisen ulottumattomissa. Uusien kenttäkäyttöön tarkoitettujen genomin lukemistekniikoiden hinta tulee kuitenkin melko varmasti romahtamaan murto-osaan niiden kehittyessä ja tuotantomäärien kasvaessa. Esimerkiksi Nanopore-perimän lukeminen ei vaadi mitään kalliita erikoisreagensseja, jotka rajoittavat monien nykyisten lukemistekniikoiden hinnan laskua.

Lopulta voitaisiin päästä tilanteeseen, jota voidaan kuvata käsitteellä *elävien asioiden internet* (Internet of living things). Käsitteellä tarkoitetaan elävän ympäristömme digitalisointia. Kansalaisten kyky digitalisoida reaaliajassa perimiä itsestään ja ympäristöstään ja tallentaa ne paikka- ja ympäristötietojen kanssa tietoverkkoon mahdollistaa aivan uudenlaisen ekosysteemin mallintamisen ja sen toiminnan ennustamisen, ympäristön ja tautien valvonnan ja henkilökohtaisen terveyden seurannan. Asioiden internet ja elävien asioiden internet tulevat mullistamaan yhteiskuntaa samassa mittakaavassa kuin internet aikanaan.

#### Sovellusesimerkki: Biologisten uhkien ja haittojen ennustaminen ja minimointi genomitiedon avulla

Patogeenit ja tuholaiset aiheuttavat huomattavaa taloudellista haittaa vaikuttamalla ihmisten, eläinten tai kasvien terveyteen. Patogeenien ohella lisääntyvänä uhkana ovat vieraslajit, eliöt jotka ovat levinneet luontaiselta levinneisyysalueeltaan uudelle alueelle ihmisen mukana joko tahattomasti tai tarkoituksella. Ne voivat tuottaa vakavaa vahinkoa alkuperäislajeille, ekosysteemeille, viljelykasveille, metsätaloudelle tai muille elinkeinoille. Ilmastonmuutoksen myötä muuttuvat olosuhteet luovat lisäpainetta tuotanto-organismien terveyden turvaamiseksi.

Molekyylibiologian kehitys on mahdollistanut eliöiden geenisekvenssien, kokonaisten genomien ja jopa kokonaisten eliöyhteisöjen metagenomien määrittämisen. Genomitieto mahdollistaa patogeenien ja vieraslajien nopean ja tarkan havainnoimisen ja tunnistamisen genomisen DNA-sekvenssin perusteella. Tämä tieto mahdollistaa biologisten uhkien tunnistamisen ja ennustamisen. Genomitiedon avulla voidaan myös tutkia patogeeneja, kuten tauteja aiheuttavia mikrobeja ja mikrobiyhteisöjä, ja tuholaisia, esim. haitallisia hyönteisiä ja niiden elintapoja. Genomidata mahdollistaa patogeenien ja vieraslajien aiheuttamien tuhojen vähentämisen tuhoonaiheuttajien nopean ja luotettavan tunnistamisen ja uusien torjuntamahdollisuuksien tunnistamisen kautta. Tieto mahdollistaa uusien torjuntakeinojen kehittämisen ja auttaa jalostamaan tauteja kestäviä tuotanto-organismeja.

Kehitystä edistää DNA:n sekvensointi ja syntetisointiteknologian jatkuva paraneminen, yhdistettynä bioinformatiikan menetelmien kehitykseen. Metagenomidata mahdollistaa tuotanto-organismeihin assosioituneiden mikrobiyhteisöjen merkityksen paremman ymmärtämisen yhdessä genomiikan, transkriptomiikan ja metabolomiikan kehittymisen kanssa. Tulevaisuuden haasteena on riittävän yksinkertaisten ja halpojen ja laaja-alaisten DNA-näytteiden keräämis- ja prosessointitekniikoiden kehitys. Pullonkaulana ovat metagenomidatan bioinformaattisen analyysin vaatima suuri laskenta-kapasiteetti ja työvoima.

Seuraavassa kuvataan tarvittavat kehitysaskeleet sellaisen digitaalisen järjestelmän toteuttamiseksi, joka hyödyntää genomitietoa biologisten uhkien ja haittojen ennustamiseen ja minimointiin:

- **Datan tuottaminen ja hallinta:** Tulevaisuudessa on mahdollista yhdistää myös usean eri eliöryhmän (esim. mikrobisto-kasvi, mikrobisto-eläin) genomidata ja samalla voidaan ennustaa ja seurata erilaisten uhkien ja haittojen kehittymistä. Sekvensoimalla eliöyhteisöjä voidaan arvioida hyöty- ja haittaorganismien läsnäolo sekä saada kuva niiden yhteistoiminnasta.
- **Datan analysointi ja tiedon hyödyntäminen:** Lisääntyvä genomidata mahdollistaa tauteihin liittyvien mikrobien ja virusten genomisen sekvenssin yksityiskohtaisen tutkimuksen ja diversiteetin selvittämisen. Samalla voidaan tutkia ja tunnistaa niitä geenejä, jotka vaikuttavat patogeenien virulenssiin ja toisaalta eliöiden kestävyYTEEN patogeenien vastaan. Genomitiedon avulla voidaan myös esim. tunnistaa patogeenisten organismien loisia, kuten viruksia, ja hyödyntää näitä uusien torjuntamenetelmien kehityksessä.
- **Uudet toimintamallit:** Genomidata voidaan tulevaisuudessa yhdistää erilaisiin varhaisvaroitusjärjestelmiin (multiplexed early warning tools) sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla. Varhaisvaroitusjärjestelmien avulla voidaan nopeasti jäljittää patogeenien ja vieras-yhdisteiden ja -lajien esiintyminen tuotanto-organismeissa. Nämä järjestelmät auttavat tehostamaan valvontaa, parantavat uhkien ennustettavuutta ja mahdollistavat todettujen uhkien alkuperän jäljittämisen.

## Case 5: Digitalisoitu viljely

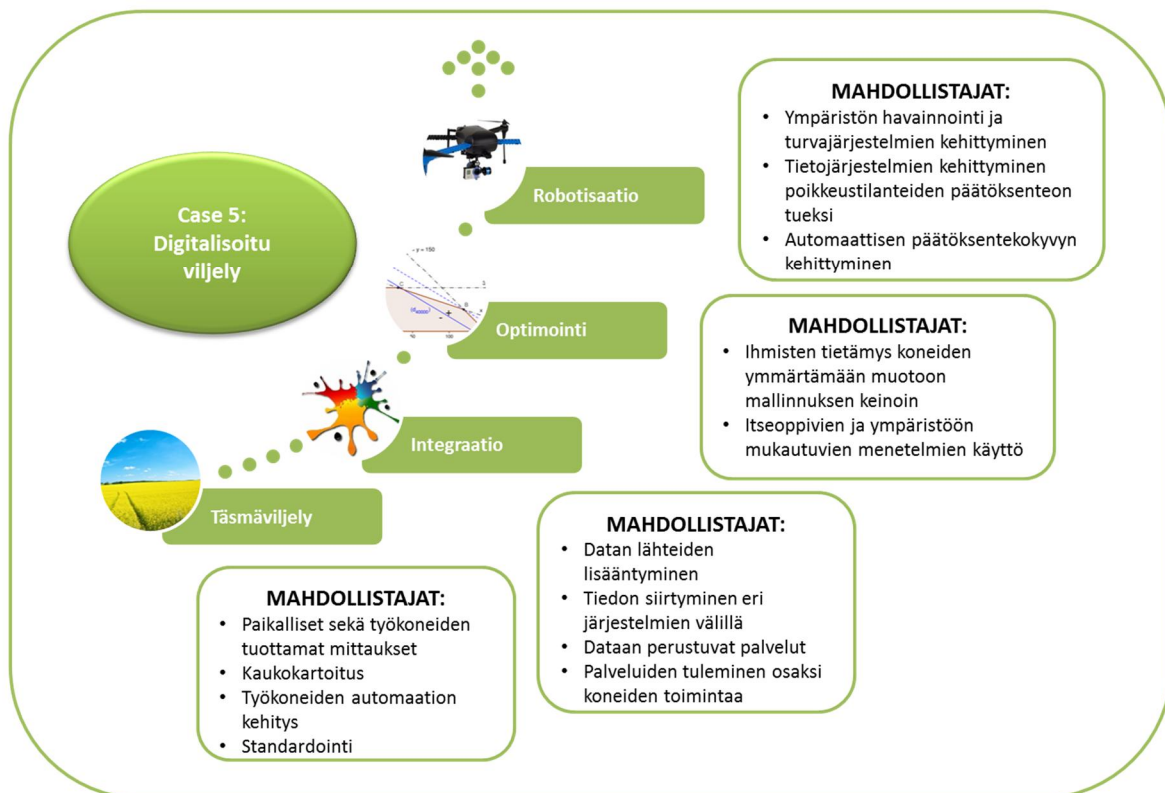
### Juha Backman

Viljely ja viljelymenetelmät ovat muuttuneet perustavanlaatuisesti useita kertoja. Ensimmäinen suuri muutos jo ihmiskunnan aikaisessa historiassa oli maanviljelyn muuttuminen keräilykulttuurista suunnitelmalliseksi ja tavoitteelliseksi tuotannoksi. Tämän jälkeen kiertoviljelyn käyttöönotto, kasvien jalostus sekä synteettisten lannoitteiden ja torjunta-aineiden kehittyminen ovat muuttaneet viljelyä oleellisesti. Ihmisen työtä helpottavia suuria muutoksia ovat olleet mekanisaatio, joka korvasi eläinten käytön maanviljelyksen apuna, sekä viimeisen kahden vuosikymmenen aikana tapahtunut automatisaatio. Koneiden koko on kasvanut ja niistä on tullut entistä tehokkaampia ja täsmällisempiä, jolloin maanviljelystä saatu sato on suurempi käytettyyn työvoimaan nähden.

Seuraava, meneillään oleva muutos on digitalisaatio. Koneissa olevien antureiden määrä lisääntyy koko ajan, maanviljelyn tietojärjestelmät kehittyvät edelleen, ja eri järjestelmät integroituvat keskenään. Tulevaisuudessa kaikki viljelijän päätöksenteossa tarvitsema tieto on saatavissa reaaliaikaisesti ja erilaiset tukijärjestelmät pystyvät ennakoimaan sekä ehdottamaan viljelijälle toimenpiteitä mitattujen tietojen ja mallien perusteella.

Vielä pidemmälle mentäessä työkoneet pystyvät käyttämään suoraan erilaisista tukijärjestelmistä saamaansa tietoa ja säätämään omaa toimintaansa sen perusteella. Pisimmälle vietyinä osa pellolla tapahtuvista toimista voidaan tehdä jopa ilman ihmisen fyysistä läsnäoloa. Tulevaisuudessa robotitraktori saa tietojärjestelmistä työtehtävänsä ja maanviljelijä tarkkailee robotin toimintaa joko toisesta traktorista tai esimerkiksi tabletiltaan tehdessään samalla muita töitä. Tällaisista puoliautonomista tiloista on jo olemassa konseptitason tutkielmia eri valmistajilta.

Digitalisaatio, tai pisimmälle vietyinä robotisaatio, ei ole eikä saa olla itsetarkoitus. Teknologian kehittyminen mahdollistaa viljelyprosessin kehittämisen, ja toisaalta viljelyprosessien kehittäminen asettaa teknologialle uusia vaatimuksia. Tärkeä tavoite on kehittää viljelyprosessista entistä ympäristöystävällisempi ja kestävämpi eikä ainoastaan tehostaa nykyistä tuotantotapaa käytettävissä olevalla teknologialla. Laitteiden ja muiden järjestelmien tuottama lisääntynyt data mahdollistaa erilaisten ilmiöiden ja prosessien mallintamisen ja sitä kautta saatavan lisääntyneen tietämyksen. Lopulta uuden tietämyksen avulla voidaan ohjata ja automatisoida toimintaa.



**Kuva 9. Digitalisoidun viljelyn toteutusvaiheet.**

Tehtävää on vielä paljon, jotta digitalisoitu ja jollain maataloilla jopa robotisoitu maanviljely olisi arkipäivää. Teknologian ja prosessien kehittyminen ei yleisesti ole suoraviivaista putkimaista toimintaa, vaan kehittyminen tapahtuu verkostomaisesti askeleittain eri aloilla yhdistyen ja muokaten kokonaisuutta. Seuraavassa esitetään tarvittavat askeleet digitalisoidun viljelyn kehittämiseen: 1) Täsmäviljely, 2) Integraatio, 3) Optimointi ja 4) Robotisaatio (ks. kuva 9).

Kaikissa esitettävissä kehitysvaiheissa teknologian standardointi on suuressa roolissa. Maanviljelyssä ei ole olemassa yhtä teknologiatoimittajaa, joka kykenisi tarjoamaan kaikki maatilan tarvitsemat työkoneet, tietojärjestelmät ja palvelut. Traktoreiden, työkoneiden ja erilaisten tietojärjestelmien on toimittava yhdessä niiden valmistajasta riippumatta. Tulevaisuus näyttääkin lupaavalta, sillä suurin osa maatalouden koneiden sekä tietojärjestelmien toimittajista on sitoutunut käyttämään ja kehittämään ISO 11783 -standardia, jonka kehitystä valmistajien yhteinen järjestö Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF) vie eteenpäin. Standardia noudattavien ja AEF:n hyväksymien laboratorioiden testaamien laitteiden markkinoinnissa saa käyttää markkinointinimeä ISOBUS, joka takaa yhteensopivuuden muiden samaa markkinointinimeä käyttävien tuotteiden kanssa.

### Vaihe 1: Täsmäviljely

Viljelyssä käytettävien työkoneiden tuottamat mittaukset, kaukokartoitus sekä käsin tehtävät mittaukset ja analyysit mahdollistavat jo nyt paikkakohtaisten viljelysuunnitelmien tekemisen. Myös työkoneiden automaatio on kehittynyt niin pitkälle, että suunnitelmat voidaan toteuttaa paikkakohtaisesti pellolla ilman ihmisen tekemää käsisäätöä. Esimerkiksi puimurista saatavien edellisten vuosien satokarttojen ja lennokkien tuottaman reaaliaikaisen biomassakartan avulla voidaan luoda alueellisia lisälannoituskarttoja. Näin koko peltolohkolle ei tarvitse laittaa tasaista määrää lannoitusta, vaan lannoitusta voidaan säätää tarpeen mukaan. Toinen esimerkki on torjunta-aineiden käyt-



tömäärien ja ajoituksen ohjaaminen kasvustosta saatavien havaintojen perusteella. Tällä hetkellä tällaisten täsmäkarttojen tekeminen on kuitenkin vielä suurimmaksi osaksi käsin tehtävää työtä. Vaikka valmiit suunnitelmat voidaan siirtää eri järjestelmien välillä automaattisesti aina työkooneelle asti, ei mittaustiedoista voida vielä suoraan luoda karttoja toteutettavaksi. Ihmisten tietämystä on vielä vietävä koneiden ymmärtämään muotoon sekä opittava erilaisista viljelystrategioista erilaisilla kasvuolosuhteilla.

## Vaihe 2: Integraatio

Eri järjestelmien välinen integraatio mahdollistaa täsmäviljelyn kehittymisen eteenpäin automaattisempaan suuntaan ja laajemman eri toimintojen välisen tuotannon ohjauksen. Kasvinviljelystä saatavat tiedot voidaan yhdistää esimerkiksi eläin- ja energiantuotannon järjestelmiin. Suunnitelma, laatu ja mittaustiedot siirtyvät eri järjestelmien välillä ennen kuin varsinainen materiaalien siirtyminen tapahtuu. Tämä mahdollistaa myös eläin- ja energiantuotantojen paremman ja suunnitelmallisemman ohjauksen. Samoin tieto siirtyy tilalta ulospäin automaattisesti materiaalivirtojen mukana, mikä mahdollistaa entistä tarkemman jäljitettävyyden sekä jatkojalostuksen ohjauksen. Toisaalta myös kuluttajalta asti tuleva tieto siirtyy takaisinpäin viljelijälle ja ohjaa viljelijää kehittämään toimintaansa oikeaan suuntaan.

Sensoreiden kehittyminen ja halpeneminen mahdollistaa niiden laajemman käytön viljelyssä. Kasvuston eri osista, kasvun vaiheesta ja kasvuston hyvinvoinnista saadaan näin enemmän ja täsmällisempää tietoa, jolloin mallinnus ja ennustus tarkentuvat ja automaattinen päätöksenteko helpottuu edelleen. Pilvipalvelut tulevat osaksi työkoneiden toimintaa, ja työkone voi käyttää reaaliaikaisesti hyödyksi ympärillä olevien eri tietolähteiden tietoa. Työkoneiden yhteinen käyttöliittymä (virtuaali-terminaali), tehtävänohjain ja automaattiohjaus sekä pilvipalveluiden rajapinnat sulautuvat ja käytettävyys paranee. Työkoneisiin tuleva Ethernet-pohjainen tiedonsiirto tukee sensoreiden lisääntymää määrää ja hajautettua sekä verkotettua prosessointia. Työkoneisiin tulee teknologian kehityksen myötä uusia palveluita tuotteiden huoltoon ja ylläpitoon sekä itse työn suorittamiseen. Esimerkkeinä tällaisista palveluista voivat olla telemetriatietoihin perustuvat opastuspalvelut sekä työnjohto työkoneketjussa.

## Vaihe 3: Optimointi

Seuraava askel laajentuneen tiedon ja tietämyksen hyödyntämisessä on optimointi. Optimointi on parhaimman vaihtoehdon etsimistä ja tapahtuu aina jonkin halutun kriteerin suhteen. Viljelyssä tämä tarkoittaa koneiden tehokkaamman ohjaamisen lisäksi koko viljelyprosessin optimointia.

Esimerkki viljelyprosessin optimoinnista on sekaviljely. Nykyinen täsmäviljely on pääasiassa yhden kasvilajin tai lajikeseoksen viljelyä. Jossain tapauksissa samalla alalla kasvatetaan myös toisia kasvilajeja, mutta pääsääntöisesti ainoastaan yhtä hyötykasvia. Luonnossa kasvit esiintyvät aina sekaisin. Sekaviljely onkin luonnonmukaisempaa, ja sillä on osoitettu olevan maaperän kuntoa parantavia ja kasvitauteja vähentäviä hyötyjä. Sekaviljelyn suunnittelu ja toteutus on kuitenkin haasteellisempaa kuin perinteisen täsmäviljelyn: on tiedettävä enemmän kasvien välisestä vuorovaikutuksesta sekä eri kasvien vaikutuksesta maaperään ja tulevien kausien kasvuolosuhteisiin. Sekaviljelyn optimointiin tarvitaan entistä enemmän mitattua tietoa erilaisista kasviyhdistelmistä ja olosuhteista. Myös mallinnus ja mallien avulla tapahtuva ohjaus muuttuvat entistä haastavammiksi.

Työkoneiden kehityksessä optimointi tarkoittaa itseoppivien ja ympäristöön mukautuvien menetelmien hyödyntämistä. Kyseisten menetelmien avulla työkonejärjestelmän toimintaa voidaan optimoida esimerkiksi säätämällä työkoneen parametreja kulloisiinkin olosuhteisiin sopiviksi. Samalla osa rutiinimaisista tehtävistä siirtyy kuljettajan vastuulta koneen tehtäväksi. Kun työkoneisiin

tulee enemmän älyä, vaatii se myös traktorien toimintojen kehittymistä. Tulevaisuudessa työkone pystyykin hyödyntämään traktorissa olevia resursseja eli ohjaamaan esimerkiksi hydraulikan virtausta ja ajonopeutta työprosessin kannalta optimaaliseksi. Energiategokkuutta saadaan paremmaksi esimerkiksi vaihtamalla hydraulisia toimilaitteita sähkökäyttöisiksi.

#### Vaihe 4: Robotisaatio

Robotti voidaan määritellä siten, että mekaaninen laite suorittaa ihmisen käskytyksestä joitain fyysisen maailman toimenpiteitä ja nämä toimenpiteet ovat vaihdettavissa. Samaa toimenpidettä toistavaa laitetta kutsutaan yleensä automaattiseksi, ei robotiksi. Kuitenkin maataloilla robotteja on jo nyt olemassa esimerkiksi lypsyrobottien muodossa, vaikka nämä ainoastaan lypsävät.

Maanviljelyssä itsestään toimivat robotit odottavat vielä tuloaan. Teknologiaa, joka mahdollistaa robotin toiminnan, on jo kuitenkin olemassa ja käytössä. Nykyiset automaattiohjausjärjestelmät ohjaavat traktoria parhaassa tapauksessa koko pellolla tapahtuvan työskentelyn ajan. Ihmistä tarvitaan ainoastaan valvomaan työkonen toimintaa ja sitä, ettei traktori törmää mihinkään. Nykyisissä järjestelmissä ihminen myös suunnittelee ajoreitin etukäteen tai ajaa ensimmäiset ajolinjat. Tulevaisuudessa automaattiohjausjärjestelmä kykenee optimoimaan ajolinjat etukäteen huomioiden peltolohkon muodot, kasvustot ja edelliset ajolinjat.

Jotta automaattiohjattu traktori muuttuisi robotiksi, jossa ihminen ei istu sisällä, on sen turvatoimintoja ja selviytymistä poikkeustilanteista kehitettävä. Tulevaisuudessa järjestelmä havainnoi ympäristöä ja reagoi mahdollisiin esteisiin, joko vaihtamalla traktorin ajolinjaa tai pysäyttämällä järjestelmän turvallisesti ennen törmäystä. Poikkeustilanteista selviytyäkseen robotti tarvitsee tukea erilaisista tietojärjestelmistä, jotka mahdollistavat joko robotin itsenäisen päätöksenteon tai ihmisen puuttumisen robotin toimintaan. Robottitraktori onkin automaation aste, jossa automaatio ja sitä tukevat tietojärjestelmät ovat kehittyneet niin pitkälle, ettei ihmistä tarvita enää pellolle valvomaan työn suoritusta.

## Case 6: Eläintuotannon digitalisaatio

Matti Pastell & Mikko Utriainen

### Datalla tehostettu eläintuotanto – tietojärjestelmät

Digitaalisten ratkaisujen kehittämisessä eläintuotantoon on huomioitava se, että mittausratkaisut ja data-analytiikka räätälöidään tietyille eläimille ja niille ominaisiin elinoloihin ja ravintoon. Tämän kaltainen täsmäkoti-eläintutkimus on lisääntynyt 2000-luvulla. Tutkimus on keskittynyt enimmäkseen eläinten terveyden ja hyvinvoinnin mittaamiseen, ja viimeisen viiden vuoden aikana onkin tullut paljon uusia tuotteita eläinten seurantaan.

Tällä hetkellä edistyneimmät sovellukset liittyvät maidon laadun ja utareterveyden seurantaan. Uusia entistä paremmin käytännössä toimivia mittausmenetelmiä kehitetään edelleen, ja myös tiedon mallinnuksen tutkimus on aktiivista. Tiedonhallinnan tutkimus on sen sijaan vasta alkamassa, ja myös automaation tutkimus on ollut toistaiseksi melko vähäistä.

Mittausteknisiä ratkaisuja on demonstroitu, ja niitä on saatavilla markkinoilla. Kuitenkin niiden validointi sekä vaikuttavuuden ja arvon todistaminen puuttuvat vielä useimmista sovelluksista. Tutkimuslaitoksilla ja -infrastruktuureilla on avainrooli vaikuttavuuden osoittamisessa. Maidon laadun analytiikka on pisimmälle kehittynyt alue, koska se on edellytys hyvälaatuisen maidon tuottamiseen lypsyrobotilla. Robotit ovat yleistymässä kotieläintuotannossa myös lannanpoistossa ja ruokinnassa, mutta haasteena on entistä älykkäämpien ympäristöstään tietoisten robottien kehittäminen.

Mittalaitteiden tuottamaa dataa on kyettävä siirtämään tehokkaasti ja vaivattomasti tietojärjestelmiin. Tietojen yhdistäminen ja datan jalostaminen informaatioksi ovat avainasemassa järjestelmäkehityksessä, jotta maatalouden tuottajat voivat hyödyntää dataa päätöksenteon tukena. Siksi on tärkeää varastoida ja analysoida eläimistä ja tuotannosta kerättyä dataa keskitetysti. Mahdollinen kehityspolku myös maatalouden sovelluksissa on digitaalinen alustatalous, joissa tietoturva ja integraatio ratkaistaan alustalla ja sovelluksen toteuttaja on niitä hyödyntävä palveluntuottaja.

### Esimerkki 1: Navettatietojärjestelmä

Luonnonvarakeskuksen hankkeessa (Cowlab) kehitettiin **navettatietojärjestelmä**, johon tallennetaan automaattisesti kolmen tutkimusnavetan mittalaitteiden aineisto, rehu- ja maitoanalyysit sekä tiedot eläinten terveydestä ja hoidosta. Järjestelmään tallentuu eläinten rehun kulutus ja tuotettu maitomäärä. Jatkossa järjestelmään lisätään eläimiin kiinnitettyjen antureiden tieto. Navettatietokantaa hyödynnetään tutkimusten tiedonkeruussa ja analysoinnissa. Standardien puutteen vuoksi laitteiden tiedonsiirto on jouduttu toteuttamaan valmistajakohtaisesti. Järjestelmä mahdollistaa tiedon reaaliaikaisen analysoinnin, raportoinnin ja hälytykset poikkeavista eläimistä.

Navettatietojärjestelmää voidaan kehittää edelleen kohti digitaaliseen alustaan perustuvaa palveluliiketoimintaa, jossa suomalaisella osaamisella ja yrityksillä voisi olla merkittävä rooli. Kun järjestelmää kehitetään edelleen, myös VTT:n teknologiset kyvykkyydet nousevat merkittävämpään rooliin. Sellaisia ovat data-analytiikan uusimmat työkalut, kuten kone- ja syväoppiminen, sekä datan tarkkuuteen liittyvä osaaminen, kuten kalibroinnit, jäljitettävyys, kontekstin hyödyntäminen ja datan annotaatio. Lisäksi VTT:n osaamisia ovat datavirtojen ja analytiikan reaaliaikaisuus, haastavien

mittausten ratkaisut, langattoman tiedonsiirron ratkaisut haastavissa olosuhteissa sekä seuraavan sukupolven langattomien verkkojen 5G-tutkimusinfrastruktuuri.

### Sensoriteknologiat – eläinten ravitseminen, terveys ja hyvinvointi

Eläinten hyvinvoinnin arviointi tilatasolla tehdään nykyisin arvioijien suorittamalla käynneillä. Suomessa arviointia tehdään nautaterveydenhuoltokäyntien yhteydessä (Naseva) kerran vuodessa. Teknologian avulla voitaisiin arvioida automaattisesti useita eri hyvinvointiparametreja, kuten terveys, maidon laatu ja rehun saatavuus. Tämä edellyttää kuitenkin uusien mallien kehittämistä tiloilta olevien tietolähteiden perusteella. Lisäksi tiedon liittäminen osaksi kansallista järjestelmää ja sen saaminen elintarviketeollisuuden käyttöön edellyttää standardoitua tiedonsiirtoa.

Eläinten terveyden automaattinen seuranta on mahdollista toteuttaa käyttäytymisen jatkuvalla mittauksella. Käyttäytymisen muutoksia seuraamalla voidaan ennustaa esimerkiksi muutoksia lehmän jalkaterveydessä. Mallinnuksen tavoitteena on usein tunnistaa ongelmalliset eläimet ja antaa niistä hälytys käyttäjälle, joka vastaa informaation hyödyntämisestä. Anturilla tai mittalaitteilla voi mitata liikettä, asentoa, matkaa, lämpötilaa, kosteutta ja muita kemiallisia ja biologisia suureita. Laskentaa voi toteuttaa integroidulla prosessorilla, ja data liikkuu eteenpäin joko langallisesti tai langattomasti. Langaton teknologia, vähäinen virrankäyttö sekä komponenttien suurista volyymeistä seuraava edullinen kustannustaso mahdollistavat hajautetun mittauksen.

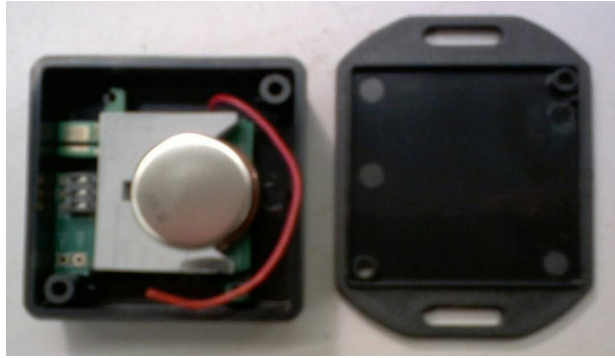
Edullisimmat anturit perustuvat printattuun elektroniikkaan tai muihin mikro- ja nanoteknologioita hyödyntäviin valmistusprosesseihin. Näillä teknologioilla antureista voidaan valmistaa kertakäyttöisiä, ja käyttökohde voisi olla esimerkiksi rehupaalin pakkaukseen integroitu tägi. Anturi- ja mittalaitte voi myös olla monimutkaisempi laite, joka mahdollistaa haastavamman suureen, kuten rehun proteiinipitoisuuden mittaamisen. Kustannustaso tällaiselle laitteelle on kuitenkin sadoissa tai tuhansissa euroissa, ja niiden käyttötapa poikkeaa siten halvoista antureista. Monimutkaisia mittalaitteita voidaan käyttää prosessiin integroituna tai käsikäyttöisesti mittaushetkellä.

Tällä aihealueella tutkimustulokset ovat siirtymässä kaupallistamisvaiheeseen. VTT:ltä on lähtenyt muutamia spin-off-yrityksiä tuotteistamaan mittaussovelluksia. Oululainen Grainsense Oy kaupallistaa VTT:llä kehitettyä käsikäyttöistä ja kenttäkelpoista mittaria viljan ja rehun proteiinipitoisuuden mittauksiin ja Quanturi Oy kaupallistaa IoT-järjestelmää heinäpaalien säilytyksen monitorointiin. Sille luo tarvetta erityisesti kuivan heinän tulipaloriski eteläisen Euroopan karjataloilla.

### Esimerkki 2: Eläinten seuranta kiihtyvyyssantureiden avulla

Luonnonvarakeskuksen SowMonitor-hankkeessa kehitettiin emakon kaulapantaan kiinnitettävä kiihtyvyyssanturi, jolla mitattiin porsimista edeltävää aktiivisuutta. Kehitettyjen mallien avulla pystyttiin havaitsemaan lisääntynyt aktiivisuus automaattisesti n. 12 tuntia ennen porsimista sekä häkeissä että vapaana porsivilta emakoilta.

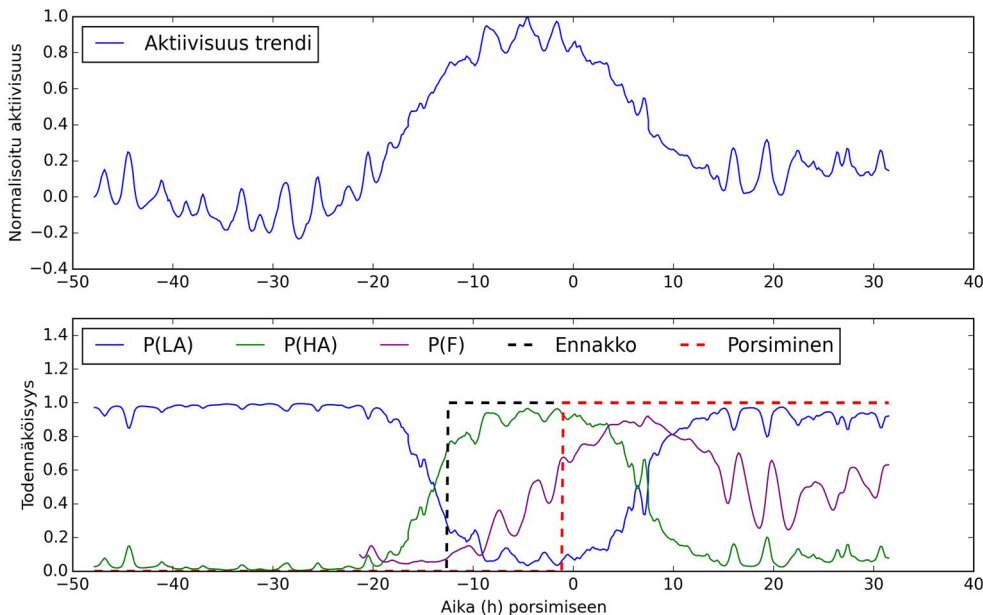
Kiihtyvyyssanturi on luotettava ja edullinen mittaushetkellä, mutta kiinnitys kaulapantaan ei ole täysin luotettava. Jatkossa olisi mahdollista kehittää esimerkiksi emakon korvaan kiinnitettävä anturi.



Kuva 10. Mittauksissa käytetty 3D-kiihtyvyyssanturi.



Kuva 11. Emakon aktiivisuus lisääntyy ennen porsimista. Kiihtyvyyssanturin avulla pystyttiin havaitsemaan porsimisajan lähestyminen.



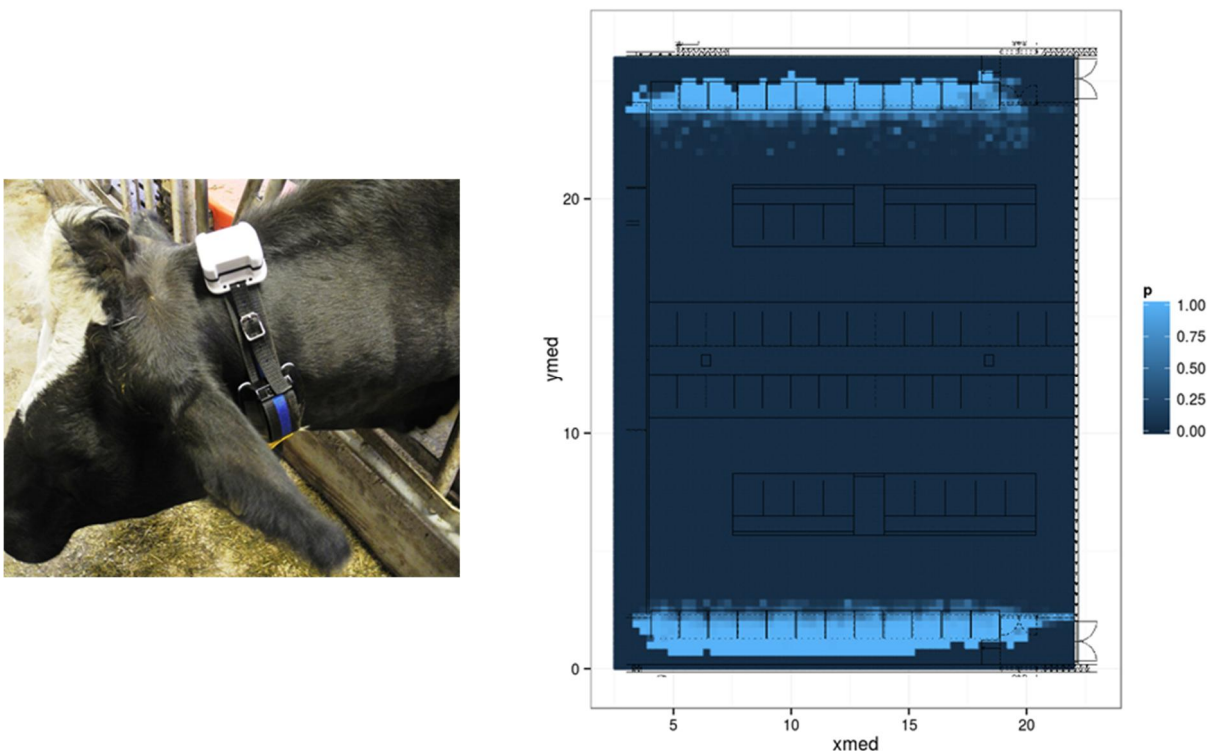
Kuva 12. Aktiivisuustrendi, tilojen todennäköisyydet ja estimoitu tila yhdelle emakolle.  $P(LA)$  on porsimista edeltävän matalan aktiivisuuden todennäköisyys,  $P(HA)$  on porsimista edeltävän korkean aktiivisuuden todennäköisyys,  $P(F)$  on porsimisen alkamisen todennäköisyys, *Ennakko* kuvaa ennakkohälytyksen ajankohtaa, *Porsiminen* kuvaa porsimishälytyksen ajankohtaa.

VTT on myös ollut mukana kehittämässä aktiivisuusmittaukseen perustuvaa eläinten seuranta. EU:n ICT-Agri-ohjelman HappyCow-hankeessa kehitettiin lehmän kaulapanta, jonka aktiivisuusantureilla monitoroitiin kiimaa, sairauksia, ontumista ja märehdintää. VTT kehitti hankkeessa langattoman sensorijärjestelmän elektroniikan ja sulautetun ohjelmiston ratkaisut. Hanke toteutettiin yhteistyössä hollantilaisen start-up-yrityksen Connecterran sekä Wageningenin (Hollanti) ja Aarhusin (Tanska) yliopistojen kanssa. Connecterra on kaupallistamassa teknologiaa.

### Esimerkki 3: Lehmien syöntiajan mittaaminen sisätilapaikannuksen avulla

Luonnonvarakeskuksen hankkeessa ”SILF – Smart Integrated Livestock Farming” kehitettiin menetelmiä navetassa käytettävän sisätilapaikannuksen analysointiin. Lehmien liikkumista navetassa seurattiin UWB-signaalin perustuvan Ubisense-paikannusjärjestelmän avulla. Järjestelmässä on seinillä vastaanottimet ja lehmillä on niskassa kaulapantaan kiinnitettynä paikannuslähettäin (kuva 13). Järjestelmä mittaa jokaisen eläimen paikan navetassa 1,2 Hz:n taajuudella.

Hankkeessa kehitettiin malli eläinten päivittäisen syöntiajan mittaamiseen sisätilapaikannuksen avulla. Eläinten syöntiaikaa paikannusaineiston perusteella ennustava malli ennusti lehmien syöntiaikaa  $94,6 \% \pm 6,2\%$  tarkkuudella (lehmien keskiarvo  $\pm$  hajonta). Lehmien syöntiajan laskemiseen kehitettyä mallia voidaan hyödyntää suoraan kaupallisten tilatason paikannusjärjestelmien ohjelmistoissa.



**Kuva 13. Ubisense-sisätilapaikannusjärjestelmän lähettimet kiinnitetään lehmille kaulapannalla. Oikealla on paikannuslaitteiston tuottamasta datasta saatu kuvaus syönnin todennäköisyydestä navetan eri kohdissa.**

## Kuvantamisteknologiat – eläinten kasvu, hyvinvointi ja muut tuotannon prosessit

Älypuhelimien myötä kamerateknologia on tullut pienikokoiseksi ja kustannustehokkaaksi ja edelleen saataville osaksi erilaisia järjestelmiä. Kasvava dataliikennekapasiteetti, hajautetun laskennan ja tiedon käsittelyn mahdollisuudet sekä yleistyvä pilvilaskenta mahdollistavat kuvantamisen laajamittaisen hyödyntämisen. Kuvata voi lähes mitä tahansa: pellon kasvua, kasvien lehtiä, eläimiä, tuotteita, toimintoja, rehua, QR-koodeja, sivuvirtoja (lantaa, muuta jätettä), raaka-aineita tai prosesseja. Teknisiä haasteita ovat lähinnä linssien puhtaana pito, energian tarve sekä luotettavuus kylmissä olosuhteissa sekä edelleen monissa haja-asutusalueen tapauksissa puutteelliset tietoliikenneyhteydet.

VTT on kehittänyt jo pitkän aikaa spektrikuvantamista. VTT:n oma Fabry-Perot-interferometriteknologia mahdollistaa kuvantavan spektrometrian pienikokoisilla kameroilla, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi pienissä lennokeissa. VTT on demonstroinut lämpö- ja spektrikuvantamista mm. metsien puulajien ja tuhojen kartoituksessa sekä peltojen kasvun ja vesistöjen tilan monitoroinnissa. Yhteistyökumppaneina hankkeissa ovat olleet mm. Luonnonvarakeskus ja Suomen ympäristökeskus.

Lennokeiden hyödyntämiseen ja muuhun kuvantamiseen perustuva maa- ja metsätilojen toimintojen seuranta on kasvussa oleva digitaalisten palvelujen liiketoimintamalli. Mahdollistajia ovat lennokeiden ja kameroiden saatavuus ja toisaalta niiden erityisosaamista vaativa käyttäminen. Esteitä kehitykselle ovat kuvaamiseen liittyvä yksityisyyden tietosuoja sekä lennokeiden käyttöön liittyvät säännöt ja rajoitteet.

### Esimerkki 4: Kuva-analyysi teurastamolla

Lihanautojen teurastamoyrityksen tuotto määräytyy ruhon painon ja koostumuksen perusteella. Naudan elopaino lisääntyy kasvuajan lisääntymisen myötä S-muotoisena funktiona. Tuoton maksimi määräytyy lähinnä tuotettujen teuraskilojen määrän ja ruhon lihapitoisuuden ja sen sisältämän pintarasvan perusteella. Teuraskilojen määrää voidaan arvioida seuraamalla eläinten elopainon kehittymistä ja mittaamalla ruhon pintarasvan määrää sekä ruhon lihapitoisuutta ultraäänimittauksin. Käytännössä tämä menettely ei ole laajasti käytössä, vaikka se olisi keskeinen keino vaikuttaa naudanlihan tuotannon kannattavuuteen, rehujen ravintoaineiden tehokkaaseen hyväksikäyttöön ja tuotannosta aiheutuvien ympäristöhaittojen minimointiin. Naudanlihan kuluttajien ostopäätöksiin vaikuttaa lihan syöntilaatu, joka voidaan arvioida lihan pH:n, värin (=punaisuusasteen) ja lihaksen sisäisen rasvan määrän perusteella. Lihan väri voidaan määrittää konenäön perusteella (esim. high spectral photography) ja lihaksen sisäinen rasva ultraäänellä.

Nykyteknologialla on mahdollista toteuttaa sovellus, jolla kasvatetun teuraseläimen teuraspaino sekä ruhon ja lihan laatu voidaan arvioida elävästä eläimestä otetun kuvan perusteella hyödyntäen edellä olevia mittauksia. Sovelluksen kehittäminen edellyttäisi kuitenkin suuren kehitysdatan keräämistä ja vaatii siten eläinten kasvattajien sitoutumisen asian edistämiseen. Kansallisella tasolla ongelmaksi saattaa koitua myös liian pieni eläinmäärä. Tarvittavia kehitysvaiheita ovat:

- 1) mallinnukseen tarvittavan datan kerääminen teurastettavista naudoista (elopaino; ultraäänimittaus: selkälihaksen paksuus ja pinta-ala, rasvakudoksen paksuus selkälihaksesta ja lihaksen sisäinen rasva; valokuva edestä, takaa ja molemmilta sivuilta; teuraspaino)
- 2) pintarasvan paksuuden määrittäminen, selkälihaksen paksuus, pinta-ala
- 3) mallin laatiminen
- 4) mallin toiminnan testaus
- 5) helppokäyttöisen applikaation luominen.

Sovelluksen hyötyjä ovat naudanlihantuotannon kattavuuden maksimointi eli mahdollisuus hyödyntää rehun ravintoaineet maksimaalisesti, tuotannon hyväksyttävyyden lisääminen pienentämällä vesistökuormitusta ja kasvihuonekaasupäästöjä sekä kuluttajien ostohalukkuuden säilyttäminen varmistamalla lihan pieni rasvapitoisuus.

### Eläintuotannon sivuvirrat

Eläintuotannon sivuvirroista lantaa ja virtsaa hyödynnetään jo runsaasti paikallisessa biokaasun tuotannossa. Lannan hyödyntämiseen liittyy muitakin mahdollisuuksia, kuten sen jalostaminen lannoitteeksi tai pidemmällä aikavälillä hyödyntäminen ravintohyönteisten tuotannossa. Jälkimmäisen esteenä on regulaatio. Eläintuotannon sivuvirta on myös teurasjäte, jota Neste Oyj hyödyntää Suomessa jo aktiivisesti biodieselin tuotannossa.

### Esimerkki 5: Lannan tehokkaampi hyödyntäminen

Lannassa oleva fosfori ei ole sellaisessa muodossa, että pellon kasvustot voisivat sitä tehokkaasti ja ajallisesti oikein hyödyntää. Siksi fosfori valuu helposti vesistöihin mm. maapartikkeleiden mukana. Jotta ravinteet saadaan paremmin hyötykäyttöön, on kehitettävä uusia prosesseja, jotka jalostavat lantaa tehokkaammin lannoitteeksi ja energiaksi. Digitalisaatio tuo mahdollisuuksia sitä kautta, että lannan ja muiden runsaasti ravinteita sisältävien jätteiden alueellinen tai paikallinen satavuustieto voidaan toteuttaa karttapohjaisena avoimena datana. Tällaisella sovelluksella lantaa ja ravinnepitoisia jätteitä vastaanottavat ja jalostavat toimijat olisivat helposti löydettävissä. Sovelluksen avulla tulisi toteuttaa helppo ja hyvin ohjeistettu asiointi ja logistiikka.

Toteutuksessa tarvittavia kehitysvaiheita ovat:

1. uusien prosessien kehitys: lannan jalostaminen lannoitteeksi, kemikaaleiksi ja energiaksi tehokkaammin (biokaasutus, pyrolyysiprosessit, toukat, hyönteiset)
2. lannan ja jätteiden esikäsittely maatilalla jatkoprosessia varten järkevän logistiikan aikaansaamiseksi ja siihen liittyvä laitekehitys (esim. separointi, kompostointi yms.)
3. lannan ja jätteiden sekä ravinnetuotteiden ja jalostettujen kemikaalien karttapohjaiset saatavuustiedot avoimena datana (esim. Biomassa-atlas)
4. kaupallisen toiminnan pilotointi: Sähköistä liiketoimintaa / verkkokauppaa tuote-erillä; logistiikan monitorointi ja optimointi; lannan ja jätteen jäljitettävyys, prosessidatan keruu kirjanpitoon
5. ratkaisun täysimittainen kaupallistaminen ja kansainvälistäminen.



## Case 7: Tiedonkulku verkostoissa ja verkostoitunut toiminta elintarvikeketjussa

**Liisa Pesonen, Emilia Nordlund & Pasi Suomi**

Biotalousalan alkutuotanto on hyvin hajautettua toimintaa. Käytännön prosesseja hoitavat mikro- tai pienet yritykset. Suomessa oli vuonna 2014 maa-, metsä- ja kalatalousyrityksiä yhteensä 80 629, mikä on 22 % kaikkien toimialojen yrityksistä, työllistäen 57 000 henkilöä. Näistä yli 63 % oli maatalousyrityksiä, joista puolestaan perheviljelmää 86 %. Metsäsektorilla urakoitsijat hoitavat suurelta osin metsänhoito- ja puunkorjuutyöt. Metsänomistajien oma työpanos pienenee jatkuvasti uusien metsänomistajasukupolvien ja lisääntyvien kaupunkimetsänomistajien myötä. Myös luonnon uusiutuvia aineellisia ja aineettomia anteja hyödyntävät luonnonvarayrittäjät ovat suurimmaksi osaksi pieniä toimijoita.

### Visio

Tässä esimerkissä hahmotellaan digitalisaation mahdollistamaa tulevaisuutta, jossa alkutuotannon yrittäjät (esim. viljelijä, urakoitsija, kalastaja, luonnonvarayrittäjä) hakevat aktiivisesti yritysten kilpailukykyä parantavia ratkaisuja tuotantoprosessien tarkentamiseen. Yrittäjät ovat järjestäytyneet ns. virtuaaliseksi osuuskunnaksi, joka mahdollistaa yrittäjien yhteistyön ja toiminnan ennustettavuuden sekä joustavuuden yrityksen sijainnista riippumatta. Tätä tavoitetta voidaan hahmottaa kolmella liiketoimintamallilla.

### Liiketoimintamalli 1: Alkutuottajien virtuaalivertaisverkko (VVV)

Viljelijä voi jakaa jo kasvukauden aikana ennusteita tulevasta satoeristä ja niiden ennakoituista laaduista ja määrästä viljelijäyhteisön Satoatlas-palveluun. Yhteisö voi alkaa tunnustella markkinoita ja tarvittavia logistisia järjestelyjä valmiiksi sadonkorjuun ajankohtaa silmällä pitäen. Sadonkorjuun jälkeen viljelijän tuotannonohjausjärjestelmä päivittää Satoatlas-palveluun toteutuneet laatuerät ja niiden määrät ja varastojen sijainnit.

Palvelu analysoi kertyneet erät laatu- alkuperä-, tuotantotapa-, tuotantokustannus- ja mahdollisten logistiikkakustannustietojen suhteen, vertaa markkinoiden kysyntään ja hintoihin ja ehdottaa myös yhteismarkkinoitavia eriä viljelijöille. Yhteismarkkinointiin mukaan lähtevät viljelijät ilmoittavat viljaerän myyntiin virtuaaliselle markkinapaikalle. Kauppojen synnyttyä viljaerä kerätään ja toimitetaan ostajalle ostajan ja viljelijöiden yhdessä sopimalla tavalla. Tuotot ja kustannukset jaetaan ja rahavirrat ohjataan viljelijöiden keskenään sopimalla tavalla, palvelun tukemana

### Liiketoimintamalli 2: Virtuaaliyhteisön joustava sopimustuotanto

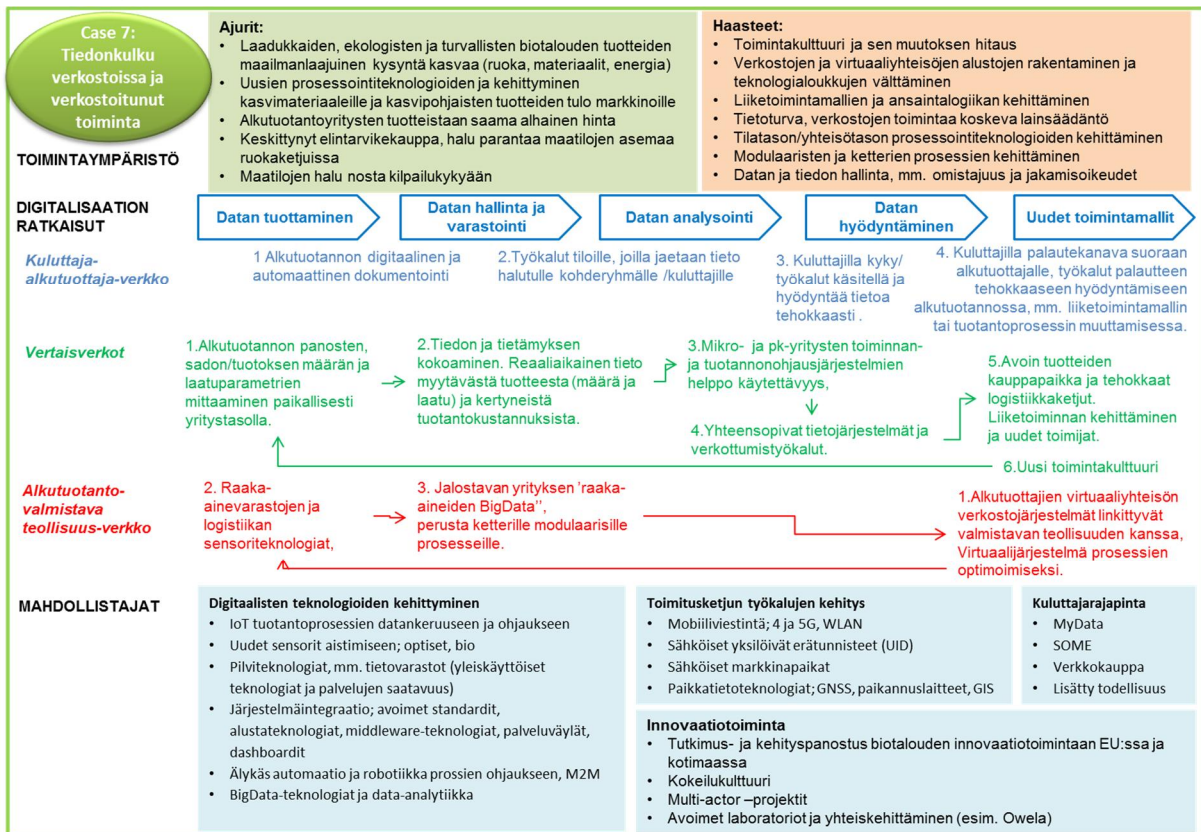
Toinen liiketoimintamalli on viljelijäyhteisön ja jalostavan teollisuuden välinen sopimustuotanto, jossa viljelijäyhteisö yhteisvastuullisena toimittaa suuren homogeenisen erän jalostukseen sopimuksen mukaan. Tällaisella yhteisöllä on paremmat neuvottelumahdollisuudet sopimustuotannon hinnasta ja toimitusehdoista. Valmistava teollisuus ja virtuaalinen viljelijäverkosto voivat ennakoivasti ja joustavasti vaihtaa tietoa kasvukauden aikana Satoatlas-palvelun kautta siitä, minkälaisista viljasta teollisuudelle on tulossa. Uudet modulaariset prosessointiteknologiat tukevat yhteisöjä tuottamaan korkeanarvon viljatuotteita satokaudesta riippumatta.

## Liiketoimintamalli 3: Viljelijä-kuluttajaverkosto

Viljaerillä on yksilöivä tunniste, johon voidaan liittää alkuperä- ja taustatietoja yritysten tuotannon-ohjausjärjestelmistä ja tietovarannoista. Tunniste kulkee jalostusprosessissa mukana aina lopputuotteeseen saakka. Tällöin kuluttajalle voidaan jakaa yksityiskohtaistakin tietoa ruuan raaka-aineesta ja ruuan vaiheista vaikkapa lisätyn todellisuuden keinoin. Kuluttaja voi ostopäätöstä tehdessään perehtyä häntä kiinnostaviin yksityiskohtiin tuotteesta ja sen raaka-aineesta. Tässä avustaa kuluttajan oma MyData-palvelu, johon hän on tallentanut omat kulutusmieltymyksensä ja valintojen priorisointikriteerit ja johon lisätyn todellisuuden sovellus on yhteydessä.

Kuluttaja voi halutessaan antaa palautetta tuotteesta suoraan tuotantoketjun eri toimijoille tai kertoa toiveitaan tuotteen parantamiseksi, mukaan lukien raaka-aineiden tuotantotavat. Hän voi liittää palautteeseen automaattisesti erilaisia taustatietoja itsestään tai tiedon siitä, ostiko hän tuotteen, ja/tai ostopaikan. Palautteen perusteella ruokaketjun toimijat ja etenkin viljelijät voivat ketterämmin suunnata toimintaansa kysynnän mukaan. Parhaimmillaan kuluttaja vaikuttaa näin suoraan viljelijän päätöksentekoon ja siten osaltaan ohjaa alkutuotantoa haluamaansa suuntaan.

## Ratkaisu ja kehitystarpeet



Kuva 14. Digitaaliset ratkaisut elintarvikeketjun yhteistoimintamallien edistämiseen.

Edellä hahmoteltujen liiketoimintamallien toteuttamiseksi tarvitaan kehitystä eri toimijoiden (alkutuotanto, teollisuus, kuluttaja) tietojärjestelmissä ja niiden keskinäisessä integraatiossa. Kuva 14 esittelee digitaaliset ratkaisut elintarvikeketjun yhteistoimintamallien kehittämiseen sekä niihin liittyvät ajurit haasteet.

Alkutuotannossa annosteltujen panosten sekä sadon/tuotoksen määrän ja laatuparametrien mittaaminen paikallisesti yritystasolla haastaa sensorien ja sensoriverkkojen kehittämisen. Optiset

sensorit, kuten spektrikamerat, NIR ja Grain Sense, ovat lupaavia. Lisäksi viljely- ja tuotantoprosesseista sekä olosuhteista (maaperä, sää, taudit ja tuholaiset, ympäröivä ekosysteemi, markkinahinnat) kerätään dataa tuotantotavan dokumentointia ja edelleen kehittämistä varten. Kaikelle datalle on aika ja paikka, työntekijä, osaprosessin nimi, mahdolliset koneet ja laitteet sekä käytettyjen panosten määrä ja laatu. Kerätty ja tuotettu yritysکوhtaainen data täytyy varastoida ja sitä tulee kyetä jakamaan turvallisesti. Jatkuvasti kerättävästä datasta muodostuu yrityksen historiadataa, jota hyödynnetään tuotannon suunnittelussa ja tuotetiedon tuottamisessa.

Esineiden Internet (IoT) ja avoimet standardit tuovat lupaavia yleisiä ja kustannustehokkaita teknologioita tähän sekä alkutuotannon että teollisuuden tiedonkeruun ongelmaan. Tällä hetkellä dataa on saatavissa tehokkaasti automaatiota hyödyntävistä prosesseista. Niitä ovat lypsy- ja ruokinta-automaatit, täsmäviljelykoneet, sadonkorjuukoneet ja metsäkoneet. Lisäksi kaukokartoitusdata, kuten satelliitti-, ilma- tai RPAS-kuvat, ovat hyödyllisiä. Viljaesimerkissä ilmakehän perusteella kasvustosta käydään tekemässä varmentavia lisämittauksia mielenkiintoisimmista paikoista saatoennusteiden laatimiseksi sekä mahdollisten lisäpanostarpeiden, kuten lisätypen, hivenaineiden tai kasvinsuojeluaineiden tarpeen, selvittämiseksi.

Sadon kypsyessä tehdään paikkakohtaisia havaintoja sadonmuodostuksesta ja laaditaan ennusteita korjuuajankohdasta, sadon määrästä ja laadusta sadonkorjuun logistiikan suunnittelemiseksi. Tämä edellyttää kuitenkin panostamista mikro- ja pk-yritysten toiminnan- ja tuotannonohjauksjärjestelmien kehittämiseen, sillä ne ovat tällä hetkellä puutteellisia.

Yleisesti tuotantotapatiedot maataloudessa nojaavat maatalojen lohkokirjanpitoon tai kotieläinrekistereihin ja karjantarkkailutietoihin. Näitä tietoja tallennetaan vielä paljon manuaalisesti sinällään sähköisiin ja jopa pilvipalveluna tarjottaviin järjestelmiin. Metsätietojen osalta tilanne on samankaltainen.

Vision tavoitetilassa digitaalisessa muodossa olevaa tietoa voidaan liittää raaka-aine-eriin ja tuotteisiin ja jakaa vertaisverkoissa sekä alkutuotannosta teollisuudelle sekä kuluttajalle. Eri raaka-aine-erät pyritään erottamaan mitatun laadun mukaan toisistaan jo pellolla ja niille annetaan kullekin oma yksilöivä tunniste (UID). Tunnisteeseen liitetään automaattisesti paikkatieto siitä, miltä pellon alueilta erä on peräisin, sekä erän laatu-tieto. Erät kuljetetaan laadunmukaisesti varastoihin odottamaan kullekin laadulle sopivinta ja tehokkainta jatkokäsittelyä ja loppuvarastointia. Aina kun erä yhdistetään, uusi syntynyt erä saa uuden tunnisteen, joka linkitetään alkuperäisiin erätunnisteisiin. Yksilöivän tunnisteen avulla raaka-aine-erään kytetään liittämään sen kasvu-/tuotantopaikka ja -alueet ja niihin kytketyt tuotantotapa-, panos- ja olosuhtetiedot. Tietojen avulla tuote-erille voidaan laskea esimerkiksi ympäristövaikutusarvot ja resurssitehokkuus tai osoittaa tuote-erän puhkaus kasvintuhoojien ja/tai kemikaalien käytön suhteen.

Myös jalostava ja valmistava teollisuus hyötyy sensoriteknologioiden kehittämisestä raaka-ainevarastojen ja logistiikan seurantaan, jäljitettävyyteen ja laadun tarkkailuun. Jalostavalle yritykselle ne mahdollistavat "raaka-aineiden big data" -virtuaalijärjestelmän luomisen raaka-aine-prosessien optimoimiseksi (mitä laatua/lajiketta tulossa, milloin ja mistä). Uudet modulaariset prosessointiteknologiat mahdollistavat eri laatuisten (jopa eri kypsyysasteen) viljojen keruun ja hyödyntämisen kannattavasti.

Järjestelmien tulee olla helppokäyttöisiä, luotettavia ja keskenään yhteensopivia. Yhteensopivuus edellyttää mm. sektorikohtaisten ontologioiden ja semantiikan kehittämistä. Tietojärjestelmien tulee mahdollistaa tiedon ja tietämyksen kokoaminen, jakaminen ja hyödyntäminen sektorilla, eräänlainen Tietämyksen Internet (Internet of Knowledge, IoK). Muun muassa reaaliaikainen tieto myytä-

västä tuotteesta (määrä ja laatu) ja kertyneistä tuotantokustannuksista on tärkeää alkutuotannossa päätöksenteon perustana. Verkottuminen niin vertaistoimijoiden, teollisuuden kuin kuluttajienkin kanssa edellyttää pitkälle keskenään integroitavia tietojärjestelmiä sekä verkottumis- ja tilannetietoisuuden jakamisen työkaluja. Viljaesimerkissä virtuaalinen yrittäjäyhteisö kommunikoi reaaliaikaisesti satotilanteesta ja ennusteista mahdollisille sopimuskuppaneilleen, kuten viljateollisuudelle, ja ryhtyy tarvittaessa ennakoivasti toimenpiteisiin. Tarvittaessa logistiikka- ja viljateollisuus sekä myös kuluttajat voidaan linkittää virtuaaliyhteisöön, jolloin ne pystyvät ennakoimaan ja arvioimaan omia tarpeitaan. Sekä kontekstitietoiset että paikkatietosovellukset ja -palvelut ovat tärkeitä tehokkaan verkoston mahdollistavia teknologioita.

Tärkeä osa uutta toimintakulttuuria ovat avoimet tuotteiden (virtuaaliset) kauppapaikat ja tehokkaat logistiikkaketjut. Lisäksi tarvitaan palveluja (palveluväylät ja -alustat) ja sovelluksia, joiden avulla alkutuotannon yksittäinen toimija voi jakaa ketjun eri toimijoille haluttua tietoa tuotteestaan. Tällä hetkellä maatilayrityksille on tarjolla neuvontapalveluiden toimesta tarjolla Lohkotietopankki-järjestelmä, josta maatilayrityksen ovat saaneet benchmark-tietoa luovuttaessaan dataansa viljelysunnitteluohjelmastaan järjestelmään. USA:ssa puolestaan viljelijäverkostojen käyttöön on tarjolla järjestelmiä, joilla ne itse hallinnoivat ja jakavat omaa kone- ja prosessidataansa (Farmobile, <https://www.farmobile.com/>) ja esimerkiksi benchmarkkaavat ja vaihtavat kokemustietoa sekä verkottuvat kilpailuttamaan tuotantopanon hintoja (FBN, <https://www.farmersbusinessnetwork.com>)

Vastaavasti kuluttaja tarvitsee esimerkiksi lisättyä (AR) tai sekoitettua todellisuutta (MR) hyödyntäviä työkaluja kyetäkseen käsittelemään ja hyödyntämään tietoa tehokkaasti sekä esimerkiksi palveluväyliä hyödyntäviä sovelluksia antaakseen palautetta suoraan alkutuottajalle. Raaka-aine-erille ja tuotteille annettavat yksilölliset sähköiset tunnisteet ja niihin toimijoiden järjestelmistä esimerkiksi erilaisten palveluväylien kautta linkitettävä tuotetieto ovat avainroolissa. Tämä mahdollistaisi nykyistä ketterämmän tuotteiden ja tuotantotapojen uudistamisen kysyntää vastaavaksi, lisäisi avoimuutta ketjussa ja auttaisi tasaamaan sen voimasuhteita. Uuteen toimintakulttuuriin kuuluvat myös erilaiset avoimeen yhteiskehittämiseen (Open innovation 2.0, OI2) tarkoitetut virtuaaliset palvelut, kuten VTT:n Owela-alusta.

## Case 8: Digitalisoitu ravinnekierto

**Liisa Pesonen, Mikko Utriainen & Raija Lantto**

Ravinteiden käytön tehostaminen alkutuotannossa on tärkeää monesta syystä. Osa ravinteista, kuten fosfori, on määrältään rajallista maapallolla, ja neitseellisten fosforivarantojen (apatiittiesiintymät) on arvioitu loppuvan 2030-luvulla. Tämän jälkeen fosforia on saatavissa vain kierrättämällä tai keräämällä sitä hajallaan sijaitsevista, tuotantoprosesseista karanneiden fosforipäästöjen kasaantumipaikoista, kuten maatalouden yhteydessä vesistöistä tai niiden pohjasedimenteistä.

Ennen pohjasedimenttiin päätymistä fosfori on ehtinyt yhdessä muiden ravinnepäästöjen, kuten typen, kanssa toimia ravinteena vesieliöstöille rehevöittäen vesistöjä ja aiheuttaen mm. leväkukintoja. Tuotantoprosesseista karkaava typpi aiheuttaa etenkin nitraattimuotoisena paitsi pintavesien rehevöitymistä myös riskin pohjavesien pilaantumiselle, ja kaasumuotoisina typpioksiduulina ja ammoniakkinä se edistää ilmastonmuutosta.

Typen hajakuormitus vesistöihin on vuosittain 36 000 tonnia, josta maatalouden osuus on 83 % ja metsätalouden osuus 9 %<sup>20</sup>. Fosforin hajakuormitus on vuosittain 2 400 t, josta maatalouden osuus on 74 % ja metsätalouden osuus 9,5 %. Maatalous tuo Suomessa väkilannoitteina ravinnekiertoon vuosittain typpeä noin 180 000 t ja fosforia 9000 t. Tämän lisäksi maahan tuodaan vuosittain 200 000 t soijaa täydennysproteiiniksi. Tämä määrä sisältää noin 13 000 t typpeä. Maatalouden vuotuiset typpipäästöt ilmaan ovat 33,8 Gg ammoniakkaa (yli 90 % Suomen päästöistä) ja 0,1 Gg typen oksideja (0,07 % Suomen päästöistä)<sup>21</sup>.

Ravinteiden käytön tehostamisessa tulisi pyrkiä suljettuun kiertoon, jolloin ravinteita kierrätetään yhteiskunnassa eri sektorien yhteistyönä tehokkaasti ja päästöt ympäristöön olivat minimaalisia (kuva 15).

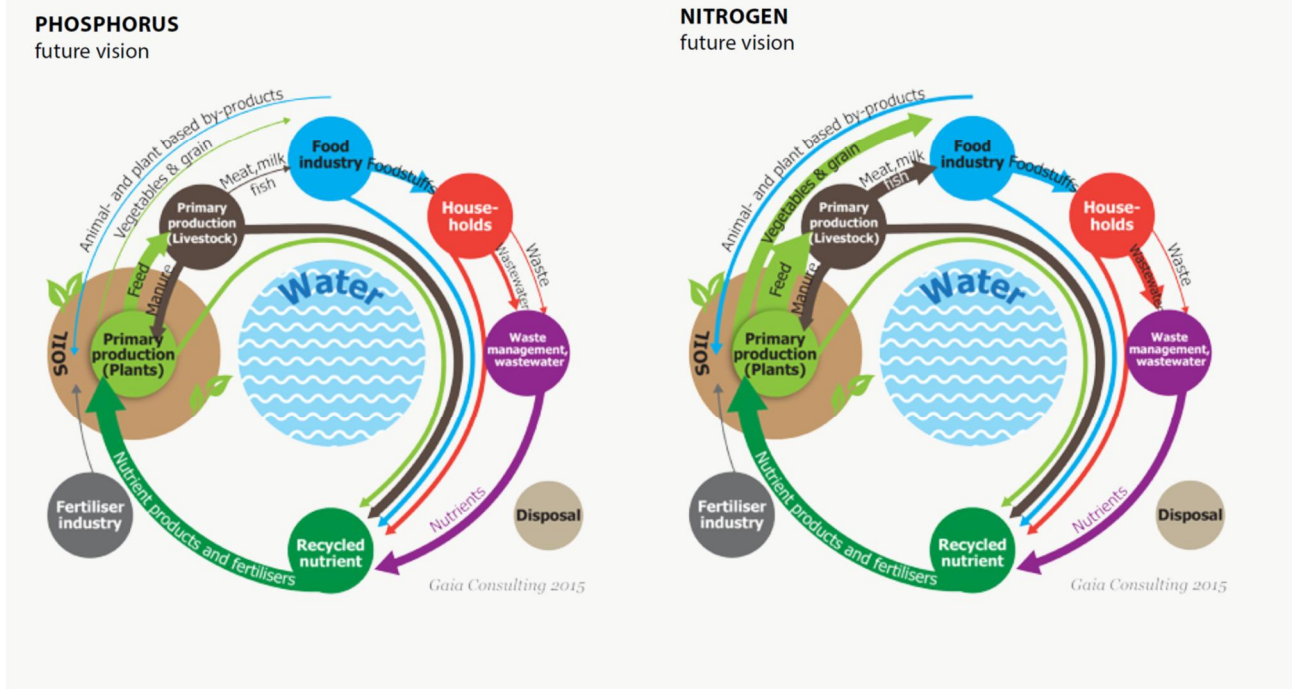
---

<sup>20</sup> SYKE (2016a) Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Vesistojen\\_ravinnekuormitus\\_ja\\_luonnon\\_huuhtouma](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma)

<sup>21</sup> SYKE (2016b) Ilman epäpuhtauksien päästöjen jakautuminen Suomessa sektoreittain vuonna 2013. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Ilman\\_epapuhtauksien\\_paastot](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot)

**Figure 4. Circular phosphorus and nitrogen economy** <sup>11</sup>

Source and graphics: Gaia Consulting 2015



**Kuva 15. Tavoitetila fosforin ja typen kierrättämiseksi yhteiskunnassa** <sup>22</sup>.

Sitran raportin mukaan ravinteiden kierrätyksessä nähdään 0,5 Mrd euron arvonmuodostus-potentiaali vuoteen 2030 mennessä <sup>23</sup>. Esimerkkejä potentiaalisista taloudellista arvonlisää tuovista kohteista ovat mm. ”lannoitteet palveluna” -liiketoimintamalli lannoitteiden käytön tehostamiseksi, tuontisoijan korvaaminen härkävauilla tai muilla kotimaisilla kasviproteiiniähteillä, vähäarvoisen kalan käyttö rehujen raaka-aineena, anaerobisen mädätyksen ja siihen liitettävän termisen konver-sion laaja hyödyntäminen ravinteiden kierrätyksen edistäjänä sekä Itämeren rehevöitymisen vä-hentäminen.

Sipilän hallitusohjelman tavoitteena on saattaa Itämeren ja muiden vesistöjen kannalta herkillä alueilla vähintään 50 % Suomessa syntyvästä lannasta ja yhdyskuntajätevesiliitteestä kehittyneen prosessoinnin piiriin vuoteen 2025 mennessä. Viljelijöiden maataloustukien ympäristösitoumuks-teen on sisällytetty ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättäminen yhtenä perustason element-tinä.

*Jätedirektiivi* (2008/98/EC) velvoittaa priorisointijärjestykseen: jätteen synnyn ehkäisy, valmistelu uudelleenkäyttöön, kierrätys, muu hyödyntäminen ja loppukäsittely. Kansallinen *jätelaki* 646/2011 ja *VNA 179/2012* velvoittaa asianmukaiseen kuljettamiseen sekä kirjanpitoon määrästä, ominai-suuksista ja koostumuksesta. *Nitraattidirektiivi* (91/67/EEC) säätelee typpilannoitteiden käyttöä vesien suojelemiseksi. *Maa- ja metsätalousministeriön asetukset* koskevat lannoitevalmisteita, niitä koskevan toiminnan harjoittamista ja valvontaa, ml. jäljitettävyyden ja omavalvonta.

<sup>22</sup> Aho M., Pursula T., Saario M., Miller T., Kumpulainen A., Päällysaho M., Kontiokari V., Autio M., Hillgren A., Descombes L. Gaia Consulting. (2015) The economic value and opportunities of nutrient cycling for Finland. Sitra Studies 104. 48 p. Available at (9.11.2016) <http://www.sitra.fi/en/julkaisu/2015/economic-value-and-opportunities-nutrient-cycling-finland>

<sup>23</sup> Ks. ed. viite.

## Visio

Tulevaisuudessa ravinteet käytetään nykyistä tarkemmin ja toimijoilla on parempi tilannetietoisuus mm. fosforin ja typen tilasta ja taseista prosesseissa, mikä on avain tehokkaampaan ravinnevirtojen hallintaan. Toimijat tietävät raaka-aineiden, rehujen ja ruoan tai lopputuotteiden laadun ja ravinnepitoisuudet. He valitsevat kuhunkin käyttötarkoitukseen oikeanlaisen kemiallisen koostumuksen omaavan tuotteen, jotta taataan rehujen ja ruoan terveellisyys ja vältytään ravinteiden päästöriskejä lisäävältä liiallisten ravinteiden kierrätykseltä läpi prosessien.

Tiedolla ohjataan ja säädetään prosesseja ravinteiden käytön suhteen optimaalisiksi joko annostelemalla ravinteita prosessin suorituskyvyn mukaan täsmäsäätönä tai kohentamalla prosessin suorituskykyä hyödyntämään ravinteet tehokkaammin täsmäsäätämällä muita tuotannon tekijöitä, kuten kastelu, ajoitus, muut ravinteet tai ravintoaineet, kasvinsuojelu tai eläinlääkintä.

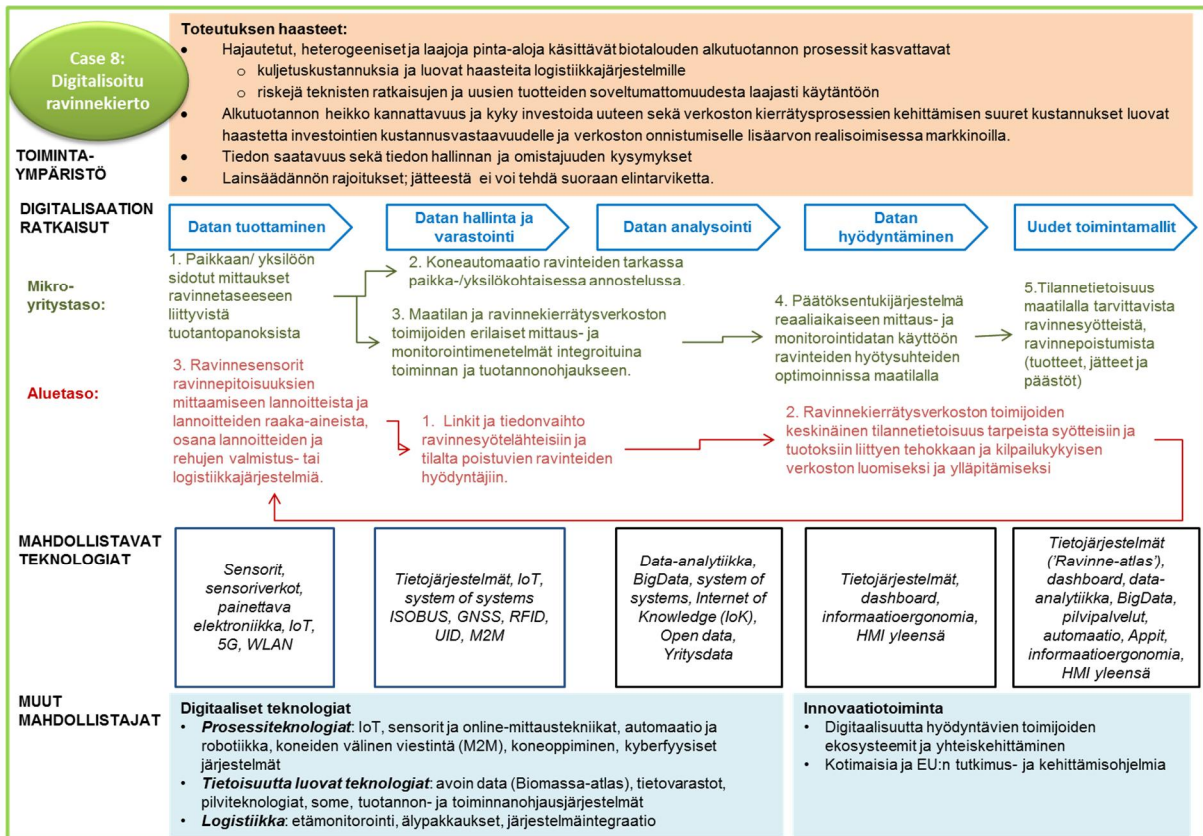
Alkutuotannon, teollisuuden sivuvirtojen sekä soveltuvien osin yhdyskuntajätteen sisältämien ravinteiden kierrätys joko teollisuuden käyttöön tai takaisin lannoitteiksi ja eläinten tai ihmisten ravintoaineiksi on yleistä. Toimijat ovat muodostaneet ekosysteemejä, jotka jakavat tilannetietoisuutta saatavilla olevista monimuotoisista sivuvirroista, ravinnepitoisista sekä tarpeista. Ekosysteemit ovat avoimia ”pop-up”-sivuvirtaerille sekä ravinnepitoisten tarpeiden tarvisijoille.

Hävikit on vähennetty tuotantoverkoissa minimiin ja rehujen ja ruoan pilaantumisprosesseja osataan tunnistaa ja ennustaa varhaisessa vaiheessa varastoinnin, kuljetusten ja kulutuksen yhteydessä. Suomi on tuotantoeläinten rehujen suhteen omavarainen, joten maatalouteen ei virtaa ravinteita maan rajojen ulkopuolelta.

## Digitalisaatioon perustuva ratkaisu

Vision toteuttamiseksi tarvittavat prosessit voidaan jakaa kahteen tasoon: **maatila- ja mikroyritystaso** sekä **aluetaso verkostoinen** (kuva 16). Maatila- ja mikroyritystason tarkastelussa huomio on tuotantoprosessin (viljan, kasvien, rehun, lihan, maidon, munien, kalan, marjojen, puun) ja kulloisenkin osatehtävän suorittamisessa ja siihen liittyvässä päätöksenteon taustalla olevassa tilannetiedossa. Tehtävä voi olla täysin automatisoitu, jolloin kone tekee päätökset.

Aluetasolla toimijoina ovat maatilat ja muut alkutuotannon yritykset sekä jalostavan teollisuuden yritykset, jotka tuottavat ravinnepitoisia sivuvirtoja sekä sivuvirroista tuotteita, mm. lannoitteita ja teollisuuden kemikaaleja valmistavia yritykset sekä kuljetus- ja logistiikkayritykset. Toimijat muodostavat aluetason toiminnallisen ekosysteemin. Alueen koko vaihtelee yleensä logistiikkakustannusten sanelemana. Huomio on verkoston keskinäisen tilannetietoisuuden luomisessa niin alueella syntyvistä sivuvirroista kuin ravinnepitoisten tuotteiden tarpeista reaaliaikaisena paikkatietona. Näin verkoston toimijat saavat edellytykset toimia tehokkaasti ja saada aikaan määrältään ja laadultaan oikeanlaiset ja oikea-aikaiset ravinnevirrat oikeassa paikassa.



Kuva 16. Digitalisoitu ravinnekierto -vision toteutus.

## Nykytila

Alkutuotannossa ravinteiden käytöstä ja ravinnevirroista tuotetaan intensiivisimmin ja tarkimmin dataa automaatiota hyödyntävistä prosesseista. Tällaisia ovat lypsy- ja ruokinta-automaatit, täsmäviljelykoneet, sadonkorjuukoneet, metsäkoneet. Lisäksi kaukokartoitusdata, kuten satelliitti-, ilma- tai RPAS-kuvat, voivat palvella tarkoitusta. Yleisesti ravinnevirtatiedot perustuvat maataloudessa lohkokirjanpitoon tai ruokintasuunnitelmiin ja metsätaloudessa metsänlannoitussuunnitelmiin ja levitysurakoitsijoiden raportteihin. Tietoja tallennetaan vielä paljon manuaalisesti, vaikka järjestelmät ovatkin jo sähköisiä ja usein jopa pilvipalveluna toteutettuja.

Ravinnevirtojen seuranta perustuu yleensä aineiden (lannoitteiden, kasvustojen, tuotteiden, jätteiden ja päästöjen) massavirtoihin ja siten määrän mittaamiseen. Varsinaiset ravinnepitoisuuksien määrittämiset ovat usein eräkohtaisia otosmaisia ravinnepitoisuusmittauksia. Kaupallisissa ravinnepanoksissa, kuten lannoitteissa ja rehuissa, ravinnepitoisuudet on ilmoitettu eräkohtaisina tuoteselosteessa ja materiaalin oletetaan olevan homogeenista. Ravinteiden tarkka annostelu tuotantoprosessissa perustuu tällöin annosteltavan määrän säätöön sekä annostelulaitteiden kalibrointiin. Täsmätuotannossa lannoitteiden ja rehujen annostelusta otetaan huomioon paikka- tai eläinkohdainen ravinteiden tarpeen vaihtelu, mikäli ne ovat tiedossa.

Alkutuotantoyrityksissä ongelman ravinnevirtojen seurantaan muodostavat yrityksen sisällä tuotetut tai muilta vertaisyrityksiltä suoraan ostetut rehut (rehuviljat, nurmirehut, palkokasvit), joiden erien homogeenisuutta ei useinkaan voida todentaa, vaikka laatu- ja ravinnepitoisuusmäärittämisä otostyypillisesti olisikin tehty. Tilanne on sama lannan, kompostin ja muiden jätteiden hyödyntämisessä lannoitteina ja maanparannusaineina. Tuotteiden, jätteiden, lannan ja päästöjen (esim. valumavedet) ravinnepitoisuusmäärittäykset perustuvat yleensä näytteisiin perustuviin off-line-laboratorio-



analyysieihin. Digitaalisia on-line-mittauslaitteita on kehitetty lähinnä typpipitoisuuden määrittämiseen. Menetelmät ovat optisia, kuten viljan laadun (proteiini/typpi) mittaukseen kehitetyt Zeltex Accuraharvest, Grain Sense ja lietalannan mittaamiseen lietevaunuissa tarkoitettu JD Manure Sensing (kuiva-aine, typpi, fosfori ja ammonium).

Yleisesti tuotantotapatiedot maataloudessa nojaavat maatalojen lohkokirjanpitoon tai kotieläinrekistereihin ja karjantarkkailutietoihin. Tetoja tallennetaan vielä paljon manuaalisesti. Kattavat tuotannonohjausjärjestelmät puuttuvat, samoin kuin tuotteiden laadun mittaaminen maatilatasolla. Tosin maidon tiettyjä ominaisuuksia mitataan jo mm. robottilypsyn yhteydessä. Metsäkoneissa laatua mitataan lähinnä puun runkojen fyysisiin mittoihin perustuen rungon jakamiseksi tukki- ja kuituainekseen. Alkutuotannossa tapahtuvat tuotteiden laadunmittausmenetelmät ovat laajasti tutkimus- ja kehitystoiminnan alla. Monet optisiin mittauksiin perustuvat menetelmät yhdistettynä IoT-teknologioihin ovat lupaavia biotalouden alkutuotannossa (spektrikamerat, NIR, Grain Sense). Viljaerien sähköinen yksilöivien tunnisteen järjestelmä pellolta teollisuuteen on tällä hetkellä prototyyppiasteella (Sähköinen viljapassi).

Alueatasolla toimii joitakin ravinteiden kierrätykseen erikoistuneita yrityksiä, jotka ottavat vastaan ravinnepitoisia sivuvirtoja, kuten maatilan lantaa ja kasvijätteitä, sekä teollisuuden ja palvelusektorin (kauppa, joukkoruokailu) sivuvirtoja. Osa syntyvistä kierrätysravinnetuotteista kulutetaan alueella mm. maataloilla lannoitteina ja maanparannusaineina, mutta osa tai ylijäämä myydään myös alueen ulkopuolelle. Lisäksi osa kierrätysraaka-aineista syntyvistä uusista tuotteista, kuten ammoniumsulfaatti, käytetään teollisuuden kemikaaleina teollisuuden prosesseissa.

Liiketoiminta, materiaalien valinta ajoituksineen sekä logistiikka eri toimijoiden välillä perustuu kahdenvälisiin sopimuksiin. Toimitusten ja materiaalivirtojen säätäminen tapahtuu pitkälti manuaalisesti perinteisen keskinäisen viestinnän keinoin. Tutkimuksessa kaavaillaan Biomassa-atlakseen linkitettävää Ravinne-atlas-järjestelmää, jonka välityksellä toimijat voivat tuoda ravinnepitoisia sivutuotteita ja jätteitä avoimesti muiden tietoon tai tarjolle karttapohjalla.

### Kehityksen haasteet ja esteet

Biotalousalkutuotannon prosessit ovat hajautettuja, ja siksi tarvitaan lukuisia järjestelmiä hoitamaan ravinnevirtoja, jotka ovat sinällään pieniä verrattuna teollisuuslaitosten järjestelmiin. Tämä tuo kustannuspainetta kaikille ravinnevirtojen tarkentamiseen tähtääville järjestelmille. Prosessit koskevat yleensä laajoja pinta-aloja, mistä seuraa pitkät materiaalien kuljetusmatkat kustannuksineen. Tämä haastaa osaltaan oikea-aikaisuuteen pyrkivät logistiikkajärjestelmät.

Biotalousalkutuotannon heikko kannattavuus rajoittaa investoimista uuteen teknologiaan. Tuotettu lisäarvo olisi voitava realisoida markkinoilla suurella todennäköisyydellä. Tämä heijastuu koko kierrätysprosessin kehittämisen ja käytännön toteuttamiseen. Kyetäänkö kantamaan riski, saadaanko investoinnit katettua markkinoilta saatavalla tuotteiden hinnalla ja menekillä? Alkutuotannon yritykset prosesseineen ovat hyvin heterogeenisiä, mikä nostaa kierrätysteknologioiden ja digitaalisten ratkaisujen kehittämisen riskejä käytännön teknisen toimivuuden ja soveltuvuuden suhteen.

Ravinteiden statuksesta on vielä nykyisin haasteellista saada tietoa digitaalisessa muodossa kieron eri prosesseissa. Ammonium-typen, typpioksiduulin ja sulfaattien mittaamiseen hajautetuissa järjestelmissä soveltuvat edulliset sensoriratkaisut puuttuvat vielä, joten tiedon tuottaminen on kallista ja hidasta. Usein tyydytään epäsuoriin määrittäisiin ja siten epätarkkaan tietoon. Kehitettävien sensoreiden tulee olla valmistuskustannuksiltaan edullisia, mikä on mahdollista esim. painettavan

elektroniikan avulla. Ravinteiden kierrätysprosesseista kerättävän tiedon hallinta (varastointi, jakaminen, hyödyntämistavat) ja tiedon omistajuuden kysymykset on myös sovittava, jotta toimijoiden kesken syntyy uuden teknologian hyödyntämisen edellyttämä luottamus.

Lainsäädäntö asettaa rajoitteita ravinteiden kierrätykseen. On muun muassa kiellettyä tuottaa elintarvikkeita suoraan jätteestä (lanta). *Kansallinen lannoitevalmistelaki* ohjaa ja asettaa kriteerit lietteitä käsitteleville laitoksille, niistä jalostettujen lannoitevalmisteiden käytölle sekä lietteen levitykselle. Lannoitevalmistelain tarkoituksena on varmistaa, että Suomessa käytetään elintarviketuotannon ja ympäristön kannalta hyvälaatuisia ja turvallisia lannoitevalmisteita. *Lietedirektiivi* (86/278/ETY) puolestaan rajoittaa puhdistamolietteen käyttöä maataloudessa raskasmetallien ja muiden haitta-aineiden sekä hygieniariskin vuoksi.

### Digitaaliset ratkaisut

Ravinnekierrätysverkoston käyttöön kehitetään laaja valikoima mittaus- ja monitorointimenetelmiä ja työkaluja. Tällaisia ovat mm. *sensorit ravinteiden mittaamiseen* lannoitteista ja lannasta, lannoitteiden raaka-aineista, kasvustoista, korjatusta peltoraaka-aineesta ja rehuista tai lopputuotteesta. Alkutuotannon *maatila- ja mikroyritystasolla* sensoreita hyödynnetään *koneautomaatiassa* sekä toimenpiteiden *reaaliaikaisessa monitoroinnissa* ja *tilannetietoisuuden* luomisessa muun muassa erilaisista ravinteiden annosteluprosesseista ja kasvustojen/eläinten ravitsemustilasta. Sensorit liitetään joko työkoneisiin, käsimittareihin tai RPAS:iin (Remotely Piloted Aircraft Systems). Myös massojen *määrät mitataan*. Mittaukset ovat aina paikkaan/yksilöön sidottuja.

Sensoreita hyödynnetään samoin aluetasolla osana lannoitteiden ja rehujen *valmistuksen sekä logistiikan automaatio- ja monitorointijärjestelmiä*. Tietoja hyödynnetään *tuotannon- ja toiminnanohjauksessa päätöksenteon* tukena mm. ravinteiden käytön optimointiin maatilatasolla sekä tasalaa-  
tuisten lannoitetuotteiden valmistamiseen verkostossa. Tilannetietoa maatilalla tarvittavista ravinnesyötteistä ja ravinnepoistumista (tuotteet, jätteet ja päästöt) välitetään muille ravinnekierrätysverkoston toimijoille tehokkaan ja kilpailukykyisen verkoston luomiseksi ja ylläpitämiseksi.

## VTT:n julkaisut

VTT:läiset julkaisevat tutkimustuloksia ulkomaisissa ja kotimaisissa tieteellisissä lehdissä, ammattilehdissä ja julkaisusarjoissa, kirjoina, konferenssisitelminä, patenteina sekä VTT:n omissa sarjoissa. VTT:n julkaisusarjat ovat VTT Visions, VTT Science, VTT Technology ja VTT Research Highlights. Sarjoissa ilmestyy vuosittain noin sata korkeatasoista tiede- ja ammattijulkaisua. Julkaisut ilmestyvät verkossa ja suurin osa myös painettuna.

### VTT Visions

Sarja sisältää tulevaisuudennäkymiä ja ennakoiteja VTT:n näkemyksen mukaan merkittävistä teknologisista, yhteiskunnallisista ja liiketoiminnallisista teemoista. Sarja on suunnattu erityisesti yritysten ja julkishallinnon päättäjille ja asiantuntijoille.

### VTT Science

Sarja tuo esille VTT:n tieteellistä osaamista. Siinä ilmestyy väitöskirjoja ja muita vertaisarvioituja julkaisuja. Sarja on suunnattu erityisesti tutkijoille ja tiedeyhteisölle.

### VTT Technology

Sarja sisältää julkisten tutkimusprojektien tuloksia, teknologia- ja markkinakatsauksia, kirjallisuustutkimuksia, oppaita ja VTT:n järjestämien konferenssien esitelmää. Sarja on suunnattu ammattipiireille, kehittäjille ja soveltajille.

### VTT Research Highlights

Sarjassa esitellään tiiviissä muodossa VTT:n valittujen tutkimusalueiden uusimpia tuloksia, ratkaisuja ja vaikuttavuutta. Kohderyhmänä ovat asiakkaat, päättäjät ja yhteistyökumppanit.

# Bittejä ja biomassaa

## Tiekartta digitalisaation vauhdittamaan biotalouteen

Robotit peltotöissä, räätälöityä ruokaa, etäohjattuja biojalostamoja ja joukkoistettua metsätuhojen hallintaa – tätä kaikkea voi tulevaisuuden biotalous olla, kun avuksi otetaan digitalisaatio.

Biotalouskehittämisessä on totuttu ajattelemaan metsien, peltojen ja vesistöjen tarjoamia tuotantomahdollisuuksia ja hyvinvointivaikutuksia. Sensoriteknologian halpeneminen, mobiililaitteiden kehitys, datan varastoinnin ja siirron helpottuminen sekä data-analytiikan tehostuminen lisäävät luonnonvaroja koskevaa tietoa kiihtyvällä vauhdilla. Tulevaisuuden biotaloudessa tieto nouseekin luonnonvarojen rinnalle entistä tärkeämmäksi tuotantopanokseksi.

”Bittejä ja biomassaa” on Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n ja Luonnonvarakeskuksen yhteistyönä tekemä tiekartta kohti älykästä biotaloutta. Tiekartassa esitellään muutospolkuja kohti joustavaa, datavetoista ja verkottunutta biotaloutta sekä esimerkkejä siitä, millaisia sovelluksia ja toimintamalleja tulevaisuuden digitalisoituneessa biotaloudessa voidaan hyödyntää.



ISBN 978-951-38-8604-2 (painettu)  
ISBN 978-951-38-8605-9 (sähköinen)  
ISSN-L 2242-1157  
ISSN 2242-1157 (painettu)  
ISSN 2242-1165 (sähköinen)  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8605-9>