

## IoT–teknologiat kasvintuotannossa

Tatu Polvinen



<b>Tekijä</b> Tatu Polvinen	
<b>Koulutusohjelma</b> Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma	
<b>Raportin/Opinnäytetyön nimi</b> IoT–teknologiat kasvintuotannossa	<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b> 152 + 15
<p>Kasvintuotannon ja maatalouden IoT-sovellukset eivät ole tunnettuja maatalousalan ulkopuolella, vaikka niillä tulee todennäköisesti olemaan keskeinen asema sekä globaalin elintarviketuotannon haasteisiin vastaamisessa että suomalaisen kasvintuotannon kannattavuuden kehittämisessä.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on antaa lukijalle ajankohtainen yleiskuva kasvintuotannossa käytettävistä IoT:in teknologiasovelluksista ja niiden tutkimuksesta. Opinnäytetyössä on toteutettu narratiivinen kirjallisuuskatsaus ja viisi asiantuntijoiden teemahaastattelua. Teemahaastatteluista saatu aineisto on analysoitu sisällönanalyysin keinoin, jolla on pyritty tukemaan aineiston laadullista kuvailua.</p> <p>Tuloksien mukaan lähivuosina voidaan odottaa IoT-teknologioiden voimakasta yleistymistä kasvintuotannon käytössä. Maatalouden IoT-teknologioiden laajan omaksumisen tiellä on kuitenkin huomattavia haasteita.</p> <p>Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tiedonhaun lähtökohtana kasvintuotannossa käytettävien IoT:in teknologiasovelluksiin sekä niitä käsitteleviin tutkimuksiin tutustuttaessa. Lisäksi opinnäytetyössä esitetyjä tietoja voidaan hyödyntää pohdittaessa jatkotutkimuksen aiheita ja tarpeellisuutta.</p> <p>Tällä opinnäytetyöllä ei ole toimeksiantajaa.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä käytetään lähdeviittausten tyylinä mukailtua Södertörns högskola - Harvard -tyyliä.</p>	
<b>Asiasanat</b> esineiden internet, IoT, kasvintuotanto, maatalous, teollinen internet, IIoT	

## Sisällys

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Opinnäytetyön rakenne .....	2
1.2	Keskeiset käsitteet .....	3
2	ESINEIDEN INTERNET KASVINTUOTANNOSSA.....	6
2.1	Kasvintuotannon teknologiakehitys .....	6
2.2	Internet of Things .....	11
2.2.1	Industrial Internet of Things.....	27
2.2.2	Agricultural Internet of Things .....	32
3	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE, RAJAUKSET, TUTKIMUSKYSYMYKSET JA -MENETELMÄT .....	38
3.1	Tutkimuskysymykset .....	39
3.2	Tutkimusmenetelmien valinta .....	39
3.3	Kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä.....	41
3.4	Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä.....	42
3.5	Teemahaastattelu tutkimusmenetelmänä .....	43
3.6	Sisällönanalyysi tutkimusmenetelmänä.....	44
4	AINEISTO JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	47
4.1	Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen toteutus .....	47
4.2	Teemahaastattelujen toteutus .....	49
4.2.1	Haastateltavien valinta .....	50
4.2.2	Haastattelujen toteutukset.....	51
4.2.3	Haastatteluaineiston analyysimenetelmä .....	51
5	TUTKIMUSTULOKSET .....	58
5.1	Kirjallisuuskatsauksen tulokset.....	58
5.1.1	Yleinen kuvailu .....	58
5.1.2	AIoT:in teknologiat .....	63
5.1.3	AIoT:in sovellusalueet .....	66
5.1.4	AIoT:in avoimet haasteet kirjallisuudessa .....	73
5.1.5	Esitetyt AIoT-arkkitehtuurit .....	84
5.2	Haastattelujen tulokset.....	88
5.2.1	Haastatteluaineiston sisällönanalyysin tulokset teemoittain.....	88
5.2.2	Haastatteluaineiston kuvaus .....	104
5.3	Tutkimustulosten yhteenveto.....	131
5.3.1	Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen tulokset .....	131
5.3.2	Tutkimuskysymyksiä vastaukset .....	135
6	POHDINTA .....	143
6.1	Tavoitteiden saavuttaminen .....	145

6.2 Johtopäätökset .....	146
6.3 Luotettavuus.....	147
6.4 Hyödynnettävyys ja jatkotutkimusaiheet .....	148
6.5 Oppiminen .....	149
LÄHTEET .....	152
LIITTEET .....	161
Liite 1. IoT:in historia -infografiikka .....	161
Liite 2. Hakulauseiden muodostus.....	162
Liite 3. Koodien havainnot taulukoituna .....	163
Liite 4. Havaintojen määrät kategorioittain .....	164
Liite 5. Tekniikka-kategorian havainnot .....	165
Liite 6. Maataloustuotanto-kategorian havainnot.....	166
Liite 7. Toimintaympäristö-kategorian havainnot .....	167
Liite 8. Sanamäärät .....	168
Liite 9. R heatmap.2 .....	169
Liite 10. Koodien havainnot haastatteluaineistossa.....	170



# 1 JOHDANTO

Ajattele mitä olet tänään syönyt. Vaikka olemme kuluttajina aikaisempaa tiedostavampia ruokamme alkuperästä, emme yleensä tiedä kovin paljoa sen tuotantotavoista. Samoin emme yleensä ole tietoisia siitä, millaisia teknologioita ruokamme tuotannossa on käytetty. Pitäisikö? Maatalouden teknologioiden kehitys on ensisijaisen tärkeää sekä globaalille että paikalliselle elintarviketuotannolle. Maatalous on yksi voimakkaimmin uusia digitaalisia teknologioita omaksuva teollisuuden ala, jonka toimintatavoissa on todennäköisesti lähivuosina tapahtumassa niin huomattavia muutoksia, että yleisesti puhutaan neljännestä maatalouden vallankumouksesta.

Maailman väkiluvun ennustetaan kasvavan 8,6 miljardiin vuoteen 2030 mennessä. Vuonna 2050 väkiluvun ennustetaan olevan jo 9,8 miljardia ja vuonna 2100 11,2 miljardia. (DESA 2017; FAO 2017c) Vuonna 2050 maailman tulisi pystyä tuottamaan 70 % enemmän ruokaa vuoden 2006 tuotantoon verrattuna (ks. FAO 2018a, 2009). Elintarviketuotannon rajalliset resurssit yhdistettyinä kasvaviin vaatimuksiin asettavat huomattavia haasteita maataloudelle. Resurssien rajallisuus näkyy jo ruoan hinnoissa ja vuoden 2010 jälkeen hintojen nousu on ajanut yli 40 miljoonaa ihmistä köyhyyteen. Aikaisempaa tehokkaammat toimet tilanteeseen puuttumiseksi ovat maataloudelle olennaisen tärkeitä. (World Bank 2017, s. 3) Nykyisessä muodossaan maatalous ei enää kykene ruokkimaan maailman väestöä vuonna 2050. (IoF2020 2018a) Toiminnan jatkaminen entiseen tapaan ei enää ole vaihtoehto, vaan tulee laajamittaisesti pyrkiä uusien ratkaisuiden ja innovatiivisten uusien teknologioiden käyttöönottoon (FAO 2018a, 2017a).

Monien tahojen mukaan erityisesti internet-pohjaiset teknologiat ovat keskeisiä uudelle maatalouden vallankumoukselle. Yleisesti nähdään, että IoT (engl. Internet of Things, esineiden internet), massadata ja asiantuntijajärjestelmät tulevat olemaan maatalouden seuraavan "version" keskeisiä osia (Lee 2017), joista IoT-ratkaisut tulevat olemaan avainasemassa tulevaisuuden maataloustuotannossa. Anturilaitteiden avulla voidaan tuottaa dataa maaperästä, vedestä, ajoneuvoista, työkoneista jne. ja tallentaa sitä pilvipalveluihin analysoitavaksi. AIoT:in (engl. Agricultural Internet of Things) avulla voidaan tehostaa tuotantoa, välttää satotappioita, parantaa viljelysuunnittelua ja tukea viljelijän päätöksentekoa. (FAO 2016, s. 7, 2017b) Maatalouden käytössä olevien AIoT-laitteiden määrän ennustetaan kasvavan 75 miljoonaan laitteeseen vuoteen 2020 mennessä, keskimääräisen vuosittaisen kasvun ollessa 20 % (Meola 2016).

Satoisuuden parantaminen, viljelymaan laajentumisen pysäyttäminen, maatalouden resurssien hallinnoinnin parantaminen ja ruokahävikin vähentäminen ovat keskeisiä strategioita globaalien elintarviketuotannon tehostamiseksi (Foley ym. 2011). Tukemalla näitä

strategioita AIoT-sovelluksilla voidaan vastata globaalin ruoan saatavuuden haasteisiin, samalla vähentäen veden liikaottoa ja saastumista, hiilidioksidipäästöjä ja suojellen luonnon monimuotoisuutta (IoF2020 2018a). Lisäksi Townsend (2015) mukaan maatalouden kasvu on köyhimpien väestönosien tulotason nostamisessa muiden sektoreiden kasvua kahdesta neljään kertaan tehokkaampaa (ks. World Bank 2007).

AIoT-sovelluksien laajamittaisen käyttöönoton tiellä on kuitenkin useita avoimia haasteita. Tietoliikenneyhteyksien, tietoturvan, yhteisien standardien ja alustojen, data- ja järjestelmäintegraatioiden, laitteiden kestävyuden ja järjestelmien helppokäyttöisyyden kehittäminen sekä AIoT-omaksunnan laajentaminen ovat muutamia keskeisimpiä avoimia haasteita.

Meneillään on uuden maatalouden vallankumouksen ja AIoT:in teknologia-aallon alkuvaihe, jossa uusia AIoT-teknologioita kehitetään, tuodaan markkinoille ja otetaan käyttöön huomattavalla nopeudella. Maatalouden digitalisaation ja AIoT-sovelluksien potentiaalista eduista huolimatta vaikuttaa siltä, että maatalouden teknologiakehityksen näkyvyys alan ulkopuolella on vähäistä eikä suuri osa esimerkiksi IT-alalla toimivista asiantuntijoista ole tietoisia alan tarjoamista haasteista ja mahdollisuuksista.

Samalla kun AIoT:in yleisestä näkyvyys on vähäistä, myös aihetta käsittelevät opinnäytetyöt ovat harvinaisia. Esimerkiksi Theseus-tietokannasta (<http://www.theseus.fi>) on löytenyt tätä kirjoitettaessa vain pari aihetta sivuavaa julkaisua. Tällä kartoittavalla yleiskatsauksella pyritään paikkaamaan tätä puutetta ja avaamaan näkymiä AIoT:in ja kasvintuotannon teknologiakehityksen tilanteeseen. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tiedonhaun lähtökohtana kasvintuotannossa käytettävien IoT:in teknologiasovelluksien sekä niitä käsittelevien tutkimusten kartoituksessa. Lisäksi opinnäytetyössä esitetyjä tietoja voidaan hyödyntää pohdittaessa jatkotutkimuksen aiheita ja tarpeellisuutta.

## **1.1 Opinnäytetyön rakenne**

Tämä on laadullisin menetelmin toteutettu tutkimustyyppinen opinnäytetyö, jonka tavoitteena on tuottaa ajankohtainen kartoittava katsaus kasvintuotannossa sovellettavien IoT-ratkaisuiden tilanteesta ja niiden tarjoamista mahdollisuuksista. Työn tavoitteena on antaa lukijalle ajankohtainen yleiskuva kasvintuotannossa käytettävistä IoT:in teknologiasovelluksista ja niiden tutkimuksesta. Opinnäytetyössä on toteutettu narratiivinen kirjallisuuskatsaus sekä haastateltu asiaan perehtyneitä tutkijoita ja yritysten edustajia. Opinnäytetyö koostuu johdannosta, taustoittavasta teoriaosasta, tutkimusosasta ja pohdinnasta.

Teoriaosa pitää sisällään luvun 2 "Esineiden internet kasvintuotannossa", jossa kuvaillaan kasvintuotannon IoT:in taustaa ja sen osailmiöitä. Osailmiöinä käsitellään kasvintuotannon

teknologiakehitystä, IoT:iä, teollisen esineiden internetiä (IIoT, engl. Industrial Internet of Things) ja AIIoT:iä, joiden taustaa, määrittelyä, historiaa ja nykytilaa kuvaillaan lyhyesti. Tutkimusosa puolestaan pitää sisällään luvut 3 “Opinnäytetyön tarkoitus, tavoite, rajaukset, tutkimuskysymykset ja -menetelmät”, 4 “Aineisto ja tutkimuksen toteutus” sekä 5 “Tutkimustulokset”.

Yleisestä opinnäytetyön rakenteesta poiketen opinnäytetyön tarkoitus, tavoite, rajaukset, tutkimusongelma, tutkimuskysymykset, -menetelmät ja menetelmien valintaperusteet käsitellään johdannon sijaan tutkimusosan luvussa 3 “Opinnäytetyön tarkoitus, tavoite, rajaukset, tutkimuskysymykset ja -menetelmät”. Tutkimusosa jatkuu luvulla 4 “Aineisto ja tutkimuksen toteutus”, jossa kuvaillaan aineiston hankinnassa ja tutkimuksessa käytetyt menetelmät. Kuvailevasta kirjallisuuskatsauksesta kuvaillaan lyhyesti sen alustava työvaihe ja toteutus, aineiston haku, haussa käytettyjen asiasanojen valintaperusteet ja aineiston valinta. Asiantuntijoiden teemahaastatteluista kuvaillaan lyhyesti, miten teemahaastattelun yleisiä käytänteitä on sovellettu, haastateltavien valinnan perusteet, haastattelujen toteutus järjestelyineen, haastatteluaineiston analyysimenetelmä ja johtopäätösten perustelut. Tutkimusosa päättyy lukuun 5 “Tutkimustulokset”, jossa kuvaillaan tutkimuksen tulokset. Kirjallisuuskatsauksen ja teemahaastatteluiden tuloksia tarkastellaan erikseen ja tuloksista tehdään kuvaileva yhteenveto. Lopuksi tuloksista tehtyjen havaintojen ja johtopäätösten perusteella esitellään vastaukset tutkimuskysymyksiin.

Opinnäytetyön viimeinen osa on luku 6 “Pohdinta”, jossa käsitellään työlle asetettujen tavoitteiden saavuttaminen ja työn tuloksista tehdyt johtopäätökset, joiden jälkeen tarkastellaan tutkimuksen luotettavuutta sekä hyödynnettävyyttä ja käsitellään ehdotetut jatko-tutkimusaiheet. Lopuksi kuvaillaan tekijän oppimisprosessia työn aikana.

## 1.2 Keskeiset käsitteet

**Agricultural Internet of Things (AIIoT)** - Maatalouden esineiden internet, IoT:in maatalouden sovelluksiin keskittynyt osa.

**Aktuaattori, toimilaite** - Automaatiossa toimielintä kuten venttiiliä käyttävä laite, joka vaikuttaa ohjattavaan prosessiin toimielimen kautta.

**Anturiverkko** - Yhteen liitettyjen ympäristöään havainnoivien anturilaitteiden verkko.

**Industrial Internet of Things (IIoT)** - Teollisuuden esineiden internet, IoT:in teollisuuden sovelluksiin keskittynyt osa.

**Internet of Things (IoT)**, esineiden internet - Vaihtelevasti määritelty teknologiaparadigma, jossa yhteen kytkettävät, kontekstittietoiset, tunnistettavat, havainnoitavat, älykkäät

laitteet yhdistetään tietoliikenneverkkojen ylitse älykkäiksi verkoiksi ja joiden toimintaa ihmiset voivat ohjata tarvittaessa etäisesti. Pohjautuu suurelta osin älykkäiden laitteiden, tietoliikenneteknologioiden, pilvipalveluiden, data-analytiikan ja automatiikan yhdistymiseen.

**ISOBUS**, ISO 11783 - AEF:n kehitettävä standardi traktorien ja työkoneiden väliseen tiedonsiirtoon ja laitteiden hallintaan.

**Kyberfysikaalinen järjestelmä**, engl. Cyber Physical System (CSP) - Fyysisten prosessien ja tietotekniikan yhdistelmä.

**Laitteiden välinen viestintä**, M2M-viestintä, engl. Machine-to-Machine (M2M) - Automaattinen tietoliikenne päätelaitteiden välillä.

**Langaton anturi- ja aktuaattoriverkko**, engl. Wireless Sensor and Actuator Network (WSAN) - Langattomaan tietoliikennetekniikkaan perustuva anturi- ja aktuaattorilaitteiden verkko.

**Maatilan tiedonhallintajärjestelmä**, engl. Farm Management Information System (FMIS) - Hallinnon tietojärjestelmä, jolla suunnitellaan, seurataan ja kerätään tietoa maatilan toiminnasta.

**Massadata**, engl. Big Data - Termi, jolla viitataan datasetteihin, jotka ovat liian suuria perinteisten tietojenkäsittelyn keinoin käsiteltäviksi. Data, jota on paljon (Volume), jota tulee nopeasti lisää (Velocity) ja joka on muodoltaan vaihtelevaa (Variety & Veracity).

**Monikerrosviljely** - Useissa päällekkäisissä tasoissa tapahtuvaa viljelyä, vrt. tavallisen kasvihuoneen yhdessä tasossa tapahtuva viljely.

**Ortokuva**, engl. orthophoto - Kartan kaltaiseksi geometrisesti yhtenäiseen mittakaavaan korjattu ilmakekuva, jossa ei ole korjaamattoman ilmakekuvan vääristymiä kuten linssivääristymää ja kamerakulman aiheuttamaa perspektiivivääristymää.

**Ortomosaikki**, engl. orthomosaic - useista ortokuvista koottu kartan kaltainen ilmakekuvien kooste.

**Palvelukeskeinen arkkitehtuurimalli**, engl. Service Oriented Architecture (SOA) - tietojärjestelmien arkkitehtuuritason suunnittelutapa, jolla tietojärjestelmien toiminnot ja prosessit on suunniteltu itsenäisiksi, avoimiksi ja joustaviksi palveluiksi.

**Päätöksenteon tukijärjestelmä**, engl. Decision Support System - Tietojärjestelmä ja tarvittava data, joiden avulla analysoidaan ja esitetään tietoa päätöksenteon helpottamiseksi.

**Referenssiarkkitehtuuri** - Tietyn arkkitehtuurikonaisuuden esitys, joka toteutusneutraalisti kuvailee kokonaisuuden loogiset osat ja niiden väliset suhteet. Referenssiarkkitehtuurilla ohjataan arkkitehtuurisuunnittelua toivottuun toteutusrakenteeseen.

**RFID**, engl. Radio Frequency IDentification - Yleisnimitys radiotaajuuksilla toimiville tekniikoille, joita käytetään etätunnistukseen, tiedon etälukuun ja -tallentamiseen.

**Ruoan turvallisuus** - Käytänteet, joiden avulla pyritään takaamaan ruoan turvallisuus.

**Ruokaturva** - Tila, jolloin kaikilla ihmisillä on kaikkina aikoina riittävästi turvallista ja ravitsevaa ruokaa elääkseen terveellisen ja aktiivisen elämän. Rakentuu ruuan saatavuudesta, hankittavuudesta ja käytettävyydestä.

**Satoisuus** - Kuinka tuottoisa sato on, mittayksikkönä esimerkiksi kiloa/hehtaari, muuttuja joka koostuu osatekijöistä kuten kasvukausi, kasteluveden, lannoitteiden määrät jne.

**Smart Farming / Smart Agriculture**, älykäs viljely - Täsmäviljelystä kehittynyt älykkäitä, verkottuneita laitteita ja tietojärjestelmiä käyttävä viljelytapa.

**Sumutietojenkäsittely**, engl. fog computing - Hajautetussa ympäristössä verkon reunan laitteilla, usein lähellä datan lähdettä ja/tai osana pilvipalvelua tapahtuva tietojenkäsittely.

**Telemetry** - Laitetietojen automaattinen kaukosiiro radioaaltojen, puhelimen tai tietoverkon välityksellä.

**Tuotantoketju** - Tuottajien muodostama ketju, joka valmistaa tuotteen tarjottavaksi markkinoille ja kuluttajien hankittavaksi.

**Tuotantopanos** - Tuotantoprosessin panokset kuten tuotantovälineet, työ, raaka-aineet, ostopalvelut jne. jotka tarvitaan tuotteen valmistamiseksi.

**Täsmäviljely**, engl. Precision Agriculture (PA) - Viljelytekniikat, joilla pyritään viljelyolosuhteiden vaihtelun hallintaan tarkan havainnoinnin, kontrolloinnin ja käsittelyn avulla.

**UA-laite**, drone, engl. Unmanned Aircraft (UA) - Miehittämätön ilma-alus, joita ohjaa kauko-ohjaaja. Usein pienikokoinen neliroottoripienoiskopteri. Vanhentunut: UAV-laite, Unmanned Aerial Vehicle.

## 2 ESINEIDEN INTERNET KASVINTUOTANNOSSA

Tässä luvussa kuvaillaan kasvintuotannon IoT:in taustaa ja sen osailmiöitä. Ensin tutustutaan osailmiönä kasvintuotannon teknologiakehitykseen, IoT:iin, IIoT:iin ja AIoT:iin joiden taustaa, määrittelyä, historiaa ja nykytilaa kuvaillaan lyhyesti.

### 2.1 Kasvintuotannon teknologiakehitys

Tässä alaluvussa käsitellään lyhyesti kasvintuotannon taustaa maatalouden teknologiakehityksen viitekehityksessä, keskittyen AIoT:in teknologiasovelluksiin johtavaan kehityskulkuun.

Maatalouden ensimmäinen vallankumous on neoliittinen vallankumous, toisen vallankumouksen ollessa englannin maatalouden vallankumous. Neoliittinen vallankumous oli tuhansien vuosien kehityskulku n. 11000–8500 eaa., jossa maanviljely sai alkunsa useilla toisistaan riippumattomilla alueilla. Englannin maatalouden vallankumous puolestaan kesti noin sadan vuoden ajan n. 1690–1800, jolloin maatalouden tuottavuus kasvoi voimakkaasti koneistuneiden viljelytekniikoiden sekä sosiaalisten ja taloudellisten muutosten vaikutuksesta. Erityisesti traktorin kehitys mahdollisti viljelytoimien suorittamisen aikaisempaa nopeammin ja tehokkaammin. (Heikkonen 1989, s. 182–186; New World Encyclopedia 2015)

Maatalouden kolmas vallankumous on niin sanottu vihreä vallankumous n. 1960–1985 (vrt. FAO (2017b) mukaan 1930-1960). Vihreän vallankumouksen keskiössä olivat maataloustuotannon kasvattaminen ja mekanisointi. Vallankumouksen tuloksena tuotanto kasvoi huomattavasti, ruokaturva parani ja viljelyn tulosten riippuvuus luonnon olosuhteista väheni. Maataloudessa siirryttiin käyttämään teollisia viljely- ja kastelumenetelmiä, saatoisampia kasvilajikkeita, teollisesti valmistettuja epäorgaanisia lannoitteita sekä rikkakasvien ja tuhohyönteisten torjunta-aineita. (FAO 2017b; Flachs 2016; Helsingin yliopisto 2017; Pingali 2012) Vihreän vallankumouksen tehotuotannon teknologioiden sekä maatalouden aikaisempaa selkeästi suurempi luonnonvarojen käyttö on osaltaan vaikuttanut maataloustuotannon kasvuun yli kolminkertaiseksi vuosien 1960 ja 2015 välillä. Tällä aikavälillä on tapahtunut elintarviketuotannon ja maatalouden teollistuminen, jonka vaikutuksesta ruoan tuotantoketjut ja fyysiset välimatkat pellolta pöytään ovat pidentyneet samalla kun prosessoidun, pakatun ja esivalmistetun ruoan kulutus on lisääntynyt. Viljelyaluetta on tällä aikavälillä otettu käyttöön vain 30 % enemmän vaikka väestömäärä on yli kaksinkertaistunut ja tuotanto yli kolminkertaistunut. Edistyksestä huolimatta nälkä ja virheravitsemus ovat edelleen avoimia haasteita useissa osissa maailmaa, eikä nykyinen kehitystahti tule riittämään nälän hävittämiseen maailmasta vuoteen 2050 mennessä. (FAO 2017a, s. 4)

Vihreän vallankumouksen vaikutukset ja sen jälkeinen maatalouden laajentuminen on todennäköisesti estänyt miljoonien ihmisten nälänhädän ja säästänyt tuhansien hehtaarien maa-alan muuttamisen viljelymaaksi. Laajamittaisen tehotuotannon hinta on kuitenkin ollut kallis ja negatiiviset vaikutukset ympäristölle ovat olleet raskaat metsien hakkuun, biodiversiteetin ja maaperän köyhtymisen, kasteluveden liikaoton ja kemikaalihuutoumien myötä. Negatiiviset vaikutukset eivät sinänsä ole johtuneet käytetyistä teknologioista vaan niiden harkitsemattomasta käytöstä ja poliittisista linjauksista pyrittäessä seurauksista välittämättä nopeaan maataloustuotannon tehostamiseen. Ympäristövaikutusten lisäksi vihreän vallankumouksen ja maatalouden tehotuotannon yhteiskunnalliset vaikutukset ovat usein olleet erityisen negatiivisia köyhimmille väestöosille ja monille huonosti teho-  
viljelyyn soveltuvilla alueilla. (FAO 2017a, s. 4; Pingali 2012)

OECD:n (engl. Organisation for Economic Cooperation and Development) ja YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestön (FAO, engl. Food and Agriculture Organization) OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027 -raportin julkaisutilaisuudessa puhuneen FAO:n johtaja José Graziano da Silvan mukaan vihreä vallankumous vahvisti maailman kykyä ruokkia itsensä, mutta seuraavaksi tarvitaan kestäväen maataloustuotannon vallankumousta. Korkeiden tuotantopanosten ja runsaasti resursseja vaativien tuotantojärjestelmien asettama hinta ympäristölle on kallis ja vaatii muutosta. Maailman tulee omaksua kestäviä ja tehokkaita ruoan tuotantojärjestelmiä, jotka mahdollistavat terveellisen ja ravitsevan ruokavalion varmistamisen samalla biodiversiteetin säilymisen ja ympäristön suojelun. (FAO 2018b; ks. World Bank 2017, s. 3)

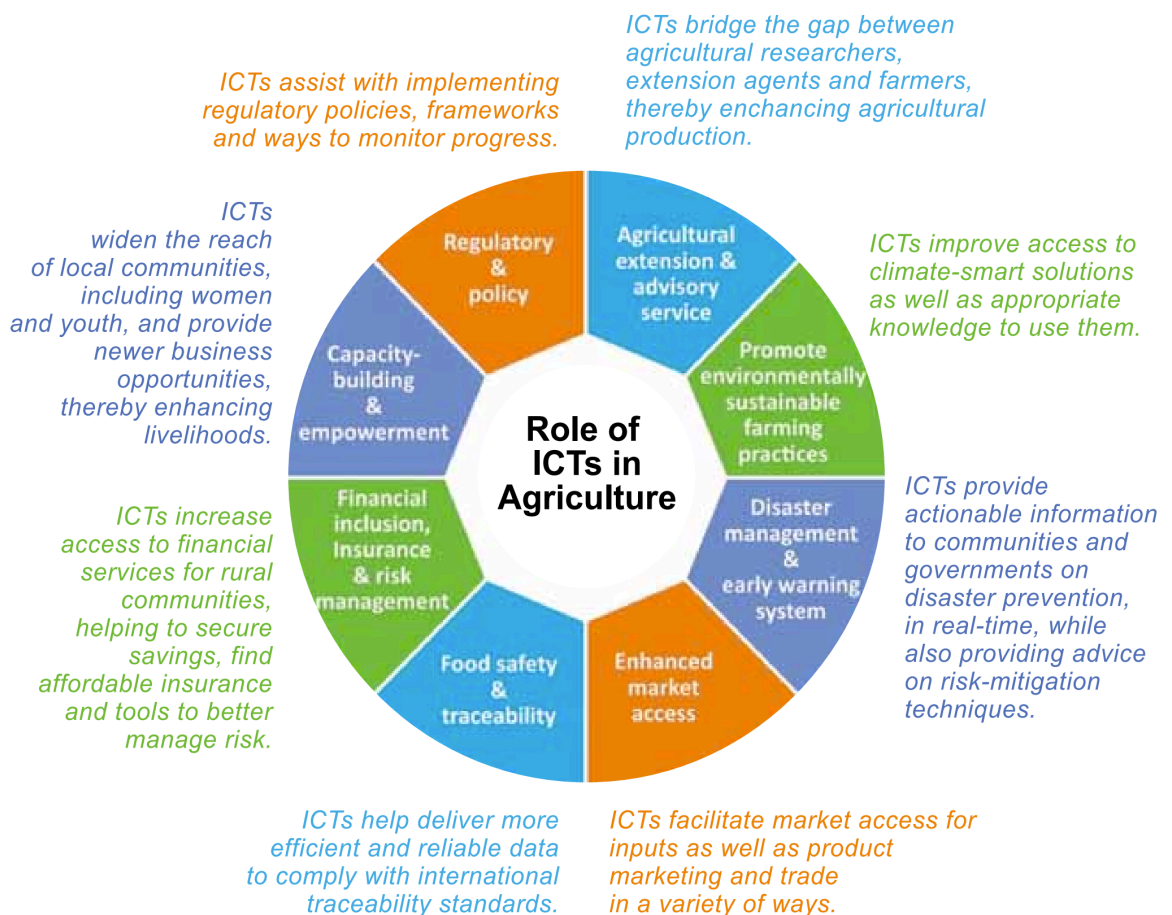
Maataloustuotannon kestäväen tehostamisen saavuttamiseksi tarvitaan huomattavaa lähestymistapojen muutosta jotta ihmisten kasvavat tarpeet voidaan sovittaa yhteen biosfääriin sietokyvyn ja kestävyuden kehittämisen tarpeiden kanssa (ks. FAO 2018a, s. 148; Rockström ym. 2017, s. 4). Tuotantojärjestelmien ekologisen tehokkuuden parantamiseksi vaaditaan rohkeita muutoksia. Pitkän aikavälin strategioiden, politiikkojen ja ohjelmien tulee edistää muiden muassa vähäisten tuotantopanosten ja täsmäviljelyn (PA, engl. Precision Agriculture) viljelytekniikoiden sekä tietotekniikan (ICT, engl. Information and Communication Technologies) käyttöä uusien innovaatioiden omaksunnan laajentamiseksi ja nopeuttamiseksi. (FAO 2018a, s. 148) Lisäksi tarvitaan voimakasta panostusta tutkimus- ja kehityshankkeisiin, joissa yhdistetään eri alojen tietämys ja pyritään eroon nykyisestä ala-, sektori- ja mittakaavakohtaisesta siiloutumisesta. Nämä ovat haastavia, innovatiivisia ja järjestelmiä integroivia hankkeita jotka ovat tulevaisuuden kannalta keskeisen tarpeellisia. (Rockström ym. 2017, s. 14)

ICT:in leviämisen ajoitus on suotuisa maatalouden haasteisiin vastaamiseen. Uuden maatalouden vallankumouksen tulisi mahdollistaa kuluttajahintojen laskeminen hävikin vähen-

tämisen ja tehokkaampien tuotantoketjujen avulla, edesauttaa älykkään maatalouden (engl. smart agriculture, digital agriculture, smart farming yms.) kehitystä ja kannustaa viljelijöitä tuotannon kasvattamiseen. ICT:in avulla voidaan kehittää tehokkaita ratkaisuita maatalouden haasteisiin mobiililaitteita, langattomia tietoliikennetähtäjäitä ja internet-palveluita soveltamalla. (World Bank 2017, s. 3) Tulevaisuuden globaalien elintarviketuotannon vaatimusten täyttämiseksi näillä ICT-ratkaisuilla voi olla keskeinen rooli. Ratkaisuilla voidaan pyrkiä esimerkiksi: (Rapsomanikis 2017, s. 2)

- Oikea-aikaisen ja tarkan tiedon keräämiseen säätilasta, tuotantopanoksista, markkinatilanteesta ja hinnoista.
- Tiedon tuottamiseen tutkimus- ja kehityshankkeille.
- Tiedon jakamiseen viljelijöille.
- Tuottajien ja kuluttajien välisten viestintäkanavien toteuttamiseen.

ICT-ratkaisuiden roolit maataloudessa ovat moninaiset (ks. kuva 1) ja maataloudessa voidaan soveltaa useita muilla aloilla kehitettyjä ratkaisuita. Esimerkiksi säätietojen kerääminen ja analysoiminen voi parantaa mikrovakuutuksien toiminnallisuutta sekä pankkien mobiiliratkaisut voivat tehdä pientilojen rahoituksesta sujuvampaa. (FAO 2016, s. 10)

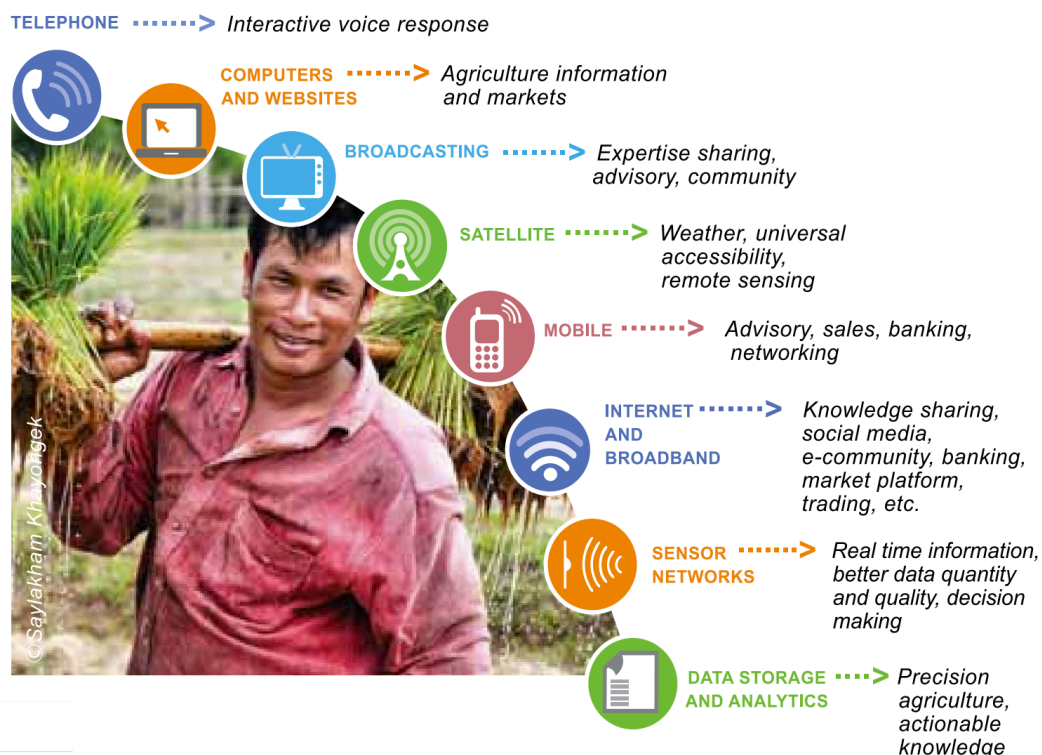


Kuva 1. ICT-ratkaisuiden rooleja maataloudessa (FAO 2016)



Yleisellä tasolla ICT-ratkaisut tarjoavat uusia mahdollisuuksia tiedon jakamiseen ja vastaanottamiseen. Edistyvän digitalisaation avulla voidaan toteuttaa olemassa olevien teknologioiden yhdistäminen uusiin kuten laitteiden väliseen viestintään (M2M, engl. Machine-to-Machine), IoT:iin, pilvipalveluihin (engl. Cloud computing), massadataan (engl. Big Data), data-analytiikkaan jne. Yhdistettyinä datan saatavuuteen, sovelluksiin ja nämä mahdollistavaan toimintaympäristöön voidaan maataloudessa realisoida huomattavia kehityspotentiaaleja (ks. kuva 2). ICT-vetoisilla ratkaisulla voidaan parantaa maatalouden tuotantoketjujen toimintaa tuotantojärjestelmien hallinnoinnin, markkinayhteyksien kehittämisen sekä rahoitus- ja julkisten palveluiden käytön mahdollistamisen avulla. Tällöin voidaan mahdollistaa (FAO 2016, s. 7–9)

- tuotantoprosessien parannuksia
- investointien keräämistä
- markkinoiden toiminnan tehostamista
- arvoketjun toimijoiden yhteyksien parannuksia
- tiedonjakoverkostojen toiminnan mahdollistamista
- arvoa lisääviä palveluita
- riskien vähentämistä
- ruoan turvallisuuden ja ruokaturvan parannuksia.

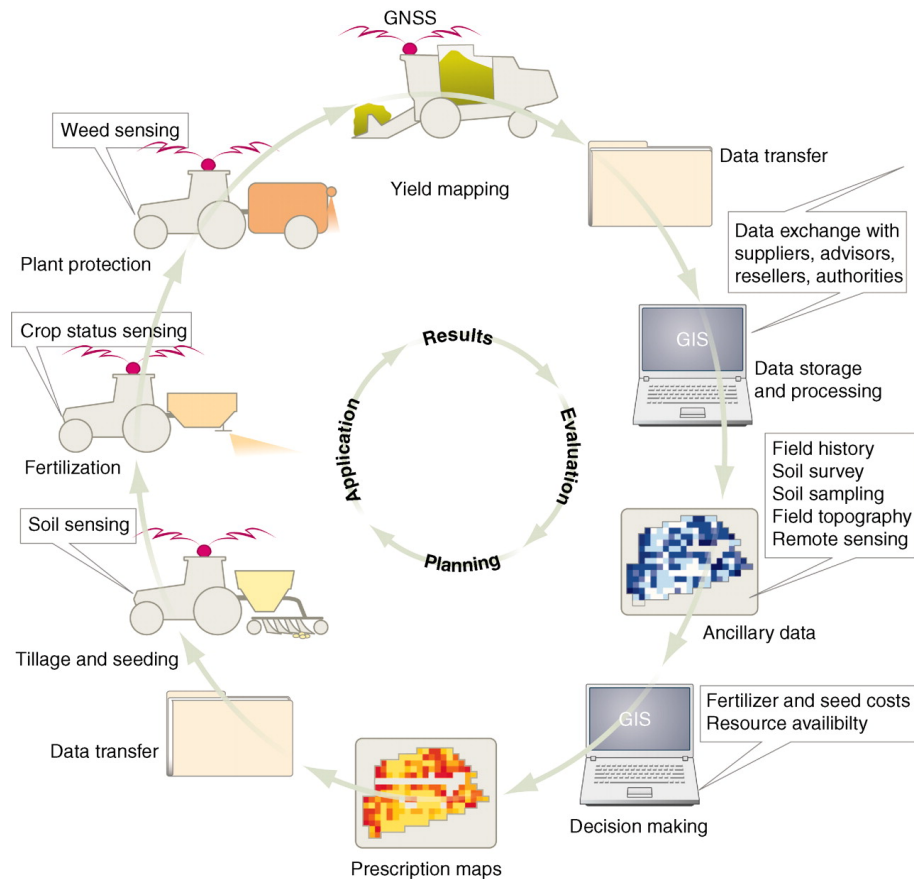


Kuva 2. Keskeisiä ICT-ratkaisuita maataloudessa (FAO 2016)

Viimeisten 20 vuoden aikana ICT-ratkaisuita on otettu käyttöön maataloudessa suuressa mittakaavassa täsmäviljelyn ratkaisuisa. Haapala (2016) määrittelee täsmäviljelyn seuraavasti: “Täsmäviljely on tarkka tuotantomuoto, joka perustuu tilan olosuhteista kerättyyn

tarkkaan paikkatietoon. Paikkatiedon perusteella säädetään tuotantopanosten käyttöä siten, että käyttö vastaa tarkasti maaperän ja kasvustojen tarpeita.” (ks. kuva 3). Täsmäviljelyn keskeisiä ajureita ovat satelliittinavigaatiojärjestelmät (GNSS, engl. Global Navigation Satellite Systems), paikkatietojärjestelmät (GIS, engl. Geographic Information System) ja mikrotietokoneet. Täsmäviljely kehitettiin aluksi sovittamaan lannoitepanosten määrä maan kunnon vaihteluihin pellolla, joilla veden ja ravinteiden saatavuus voi vaihdella huomattavasti ajanhetken ja paikan mukaan. Myöhemmin lannoitelevityksen lisäksi on kehitetty useita uusia täsmäviljelytekniikoita, kuten traktoreiden ja työkoneiden automaatiohjaus, autonomisesti toimivia koneita ja prosesseja, tuotteiden jäljitettävyyden järjestelmiä, maataloilla toteutettavaa tutkimusta ja ohjelmistoja maatalouden tuotantojärjestelmien hallintaan. (Gebbers & Adamchuk 2010)

Täsmäviljelyssä sovelletaan ICT-ratkaisuita esimerkiksi maa-analyysissä, keinokastelussa, kalustonhallinnassa ja sääennusteiden laadinnassa. Täsmäviljelyn avulla pyritään ennen kaikkea maataloustuotannossa tehokkuuden, mutta myös terveyden ja turvallisuuden parantamiseen sekä ympäristövaikutusten parempaan hallintaan. Välittömien etujen kuten sadonlisän, tuotantopanosten vähentämisen ja paremman tuotantotehon lisäksi täsmäviljely usein tuottaa massadataa, jota analysoimalla voidaan tulkita menneitä ja ennustaa tulevia tapahtumia. Data-analytiikan avulla voidaan tuottaa uusia tehokkaita maatalouden päätöksenteon työvälineitä, jotka avustavat paitsi tuotannon kehittämisessä, myös biodiversiteetin suojelussa. (ks. Gebbers & Adamchuk 2010; Rapsomanikis 2017) Nämä työvälineet ovat yleensä päätöksenteon tukijärjestelmiä (DSS, engl. Decision Support System), jotka ovat ohjelmistojärjestelmiä jotka keräävät dataa erilaisista lähteistä ja joiden avulla pyritään tukemaan päätöksentekoa hallinnoinnissa, toiminnassa, suunnittelussa tai parhaiden ratkaisuiden kartoittamisessa. Maataloudessa DSS-ratkaisut soveltavat agronomista mallinnusta ja laskentaa vedestä, ilmastosta, energiasta ja geeneistä kerätystä datasta. Näiden lisäksi DSS-ratkaisut usein ottavat huomioon taloudelliset ja ihmisten tuottamat syötteet. (IoF2020 2018b)



Kuva 3. Täsmäviljelyn informaatiokierto kasvintuotannossa (Gebbers & Adamchuk 2010)

Peltoviljelyn lisäksi täsmäviljelyn ratkaisuita on otettu käyttöön muun muassa viinin- ja puutarhaviljelyssä, sovelluksien käyttökohteiden vaihdella Tansanian ja Sri Lankan teeviljelmiltä brasilialaiseen sokeriruohon tuotantoon, Kiinan, Intian ja Japanin riisiviljelmiltä Argentiinan, Australian, Euroopan ja Yhdysvaltojen sokerijuurikaspelloille. (Gebbers & Adamchuk 2010) On olemassa kasvava ymmärrys siitä, että maatalouden seuraavan "version" keskeinen osa tulee olemaan täsmäviljely, joka syntyy IoT:in, massadatan ja asiantuntijajärjestelmien omaksunnan myötä ja IoT-ratkaisut tulevat olemaan avainasemassa tulevassa maataloustuotannossa. (FAO 2017b; Lee 2017)

## 2.2 Internet of Things

Tässä aluvuossa käsitellään ensin IoT:in historiaa, määrittelyjä, referenssiarkkitehtuureja ja yleistä luonnehdintaa. Seuraavaksi aluvuossa 2.2.1 "Industrial Internet of Things" käsitellään vastaavasti teollista IoT:iä ja lopuksi aluvuossa 2.2.2 "Agricultural Internet of Things" maatalouden IoT:iä.

Internetin laajamittainen käyttö on kahden viime vuosikymmenen aikana tuottanut globaalisti lukemattoman määrän etuja ja hyötyä ihmisille ja organisaatioille. Näistä eduista todennäköisesti tärkein on kyky kuluttaa ja tuottaa dataa sekä palveluita tosiaikaisesti. (Ta-

lavera ym. 2017, s. 284) Internetin kehityksen fokus on siirtymässä ihmisten välisestä kommunikaatiosta ja verkottumisesta ihmisten ja laitteiden saumattomaan integraatioon, jossa ajasta ja paikasta riippumaton yhteys keiden tahansa käyttäjien välillä on laajentumassa yhteyksillä mihin tahansa objektiin. Tässä integraatiossa pyritään fyysisen maailman ja ihmisten luoman virtuaalisten ympäristöjen yhdistämisen avulla kohti niin sanottua esineiden internetin (IoT) maailman toteuttamista. Toteutuessaan IoT-visiolla voi olla huomattavia teknologisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia. (ITU 2012)

Kulutus- ja kestokulutustavaroiden, autojen ja kuorma-autojen, teollisuuden ja kunnallistekniiikan laitteiden, antureiden ja muiden arkipäiväisten objektien yhdistäminen internetin ja tehokkaan data-analytiikan kanssa voi muuttaa työmme, elämämme ja vapaa-aikamme. IoT:istä laaditut ennusteet ovat vaikuttavia: joidenkin odotusten mukaan vuoteen 2025 mennessä IoT-laitteita voisi olla käytössä jopa 100 miljardia ja globaali taloudellinen vaikutus voi olla jopa \$11 biljoonaa. IoT:in etujen saavuttamisen tiellä on kuitenkin huomattavia haasteita. IoT-laitteiden tietoturvan puutteet, yksityisyyden suojan epävarmuudet ja valvonnan pelot ovat tulleet selkeästi julkisuuteen. Monet teknologiset haasteet ovat vielä avoimina, samalla kun uudet poliittiset, lainsäädännön ja kehityksen haasteet ovat vastanousemassa esiin. (Rose, Eldridge & Chapin 2015, s. 4)

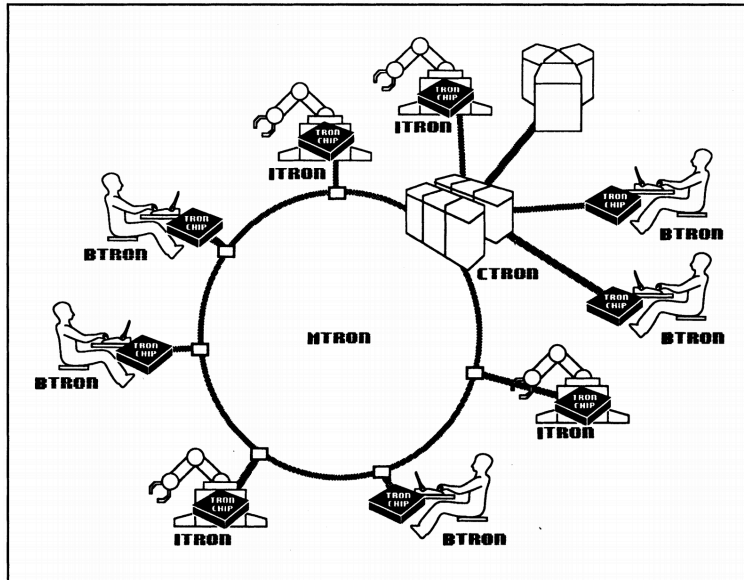
“Internet of Things” -termi mainittiin todennäköisesti ensimmäistä kertaa julkisesti Kevin Ashtonin Procter & Gamble:lle (P&G) vuonna 1999 pitämässä esityksessä, johon liittyen hän vuonna 2009 kirjoitti IoT:in mahdollisuuksista: (Ashton 2009)

If we had computers that knew everything there was to know about things — using data they gathered without any help from us — we would be able to track and count everything, and greatly reduce waste, loss and cost. We would know when things needed replacing, repairing or recalling, and whether they were fresh or past their best. (Ashton 2009)

Ensimmäisenä IoT-laitteena tai “esineenä” on IBM:n blogikirjoituksessa (Teicher 2018) viitattu Carnegie Mellon -yliopiston tietojenkäsittelytieteen osaston Coca-Cola -automaattiin, jonka merkkivaloihin vuonna 1982 silloiset opiskelijat David Nichols, Mike Kazar, Ivor Durham ja John Zsarnay liittivät anturit (ks. Nichols 2018). Anturit kytkettiin osaston päätietokoneeseen, jossa toimivan ohjelman avulla käyttäjät pystyivät tarkistamaan automaatin tilan ARPANETin ylitse. Näin käyttäjä pystyi tarkastamaan miltä tahansa ARPANETiin kytketyltä tietokoneelta oliko automaatissa tarjolla juomia ja jos, olivatko juomat automaatin täytön jälkeen ehtineet jäähtyä tarpeeksi.

IoT:in historia ulottuu kuitenkin näitä ensimmäisiä nimenomaisia IoT:in ilmentymiä pidemmälle. RFID-tunnisteiden (radiotaajuinen etätunnistus, engl. Radio Frequency IDentification) kehittämiseen (ks. Stockman 1948) viitataan usein ensimmäisenä askeleena kohti

fyysisen maailman ja tietojenkäsittelyn virtuaalisen maailman yhdistymistä. Näiden maailmojen yhdistämisen edistymisestä selkeä esimerkki on –edellä mainitun juoma-automaatin lisäksi– vuonna 1987 TRON-hankkeessa esitetty avoin kerroksellinen arkkitehtuuri (kuva 4), jonka avulla pyrittiin erilaisten teollisuuden sulautettujen järjestelmien yhdistämiseen liiketoiminnan tietojärjestelmien, verkotettujen tiedostopalvelimien sekä älykkäiden objektien kanssa. (Sakamura 1987) Arkkitehtuurien kerroksellisuus, järjestelmien yhteenliitettävyyden ja älykkäät objektit tai esineet ovat edelleen keskeisiä IoT-ratkaisuiden ominaisuuksia –ja kaksi viimeksi mainittua usein myös avoimia haasteita.



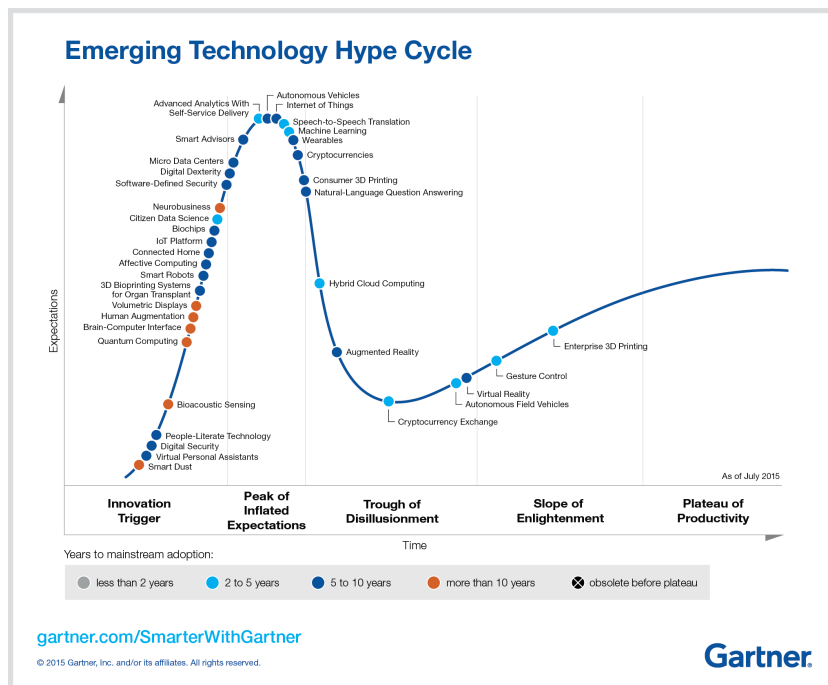
Kuva 4. TRON-arkkitehtuurien yhdistäminen (Sakamura 1987): ITRON (industrial TRON) ja BTRON (business TRON) voidaan yhdistää tiedostopalvelimeen CTRON eri tavoilla

Muita kirjallisuudessa mainittuja IoT:in historian tapahtumia ovat olleet Gillen, Li, Dahlgren & Chang (1999) esittämä ensimmäinen sähköinen siltojen käyttömaksujen keräysjärjestelmä Oklahomassa sekä Gates & Ottavino (1995) kuvailu älykkäiden, verkottuneiden laitteiden järjestelmän toiminnasta kirjassa *The Road Ahead*. IoT:in historiassa RFID-tunnisteet ovat olleet keskeisessä osassa niiden kehittämisestä alkaen nykyhetken asti. Wal-Martin, IBM:n, Tescon ja Microsoftin vuonna 2005 toteuttamat RFID-tunnisteiden käyttöönotot ovat olleet osoituksia tunnisteiden käytön laajenemisesta ja kehittymisestä. (Tao, Wang, Zuo, Yang & Zhang 2016) Lisäksi kirjallisuudessa on yleisesti huomioitu vuonna 2012 Kansainvälisen televiestintäliiton (ITU, engl. International Telecommunication Union) julkaisema suositus ITU-T Y.2060, jossa on määritelty IoT-referenssiarkkitehtuuri (ITU 2012). Lisää IoT:in historian tapahtumia ja ennusteita on kuvailtu Nolter (2016) julkaisemassa IoT Timeline -infografikassa (liite 1).

Vuonna 2008 järjestettiin Zurichissä ensimmäinen kansainvälinen Internet of Things -konferenssi (IoT 2008). Tuolloin keskeisimpinä IoT-teknologioina mainittiin RFID, lyhyen

kantaman langattomat kommunikaatioteknologiat, tosiaikainen paikantaminen ja anturi-verkot, joiden sovellukset tuovat IoT:in teolliseen, kaupalliseen ja kotitalouksien käyttöön. (IoT Conference 2008) Tämän jälkeen Internet of Things -konferensseja on järjestetty lähes vuosittain, vuoden 2018 konferenssin ollessa kahdeksas. Keskeisimpinä vuoden 2018 konferenssin aiheina on mainittu anturitekniikan kehitys ja halpeneminen sekä datavetoisten liiketoimintamallien yleistyminen. Näiden lisäksi käsiteltyjä aiheita olivat IoT:in kehitys ja sosiaalinen omaksunta kuten IoT:in arkkitehtuurit, yksityisyyden suoja ja turvallisuus IoT:ssä, IoT:in sovellukset, ihmisen ja objektin välinen vuorovaikutus (HOI, engl. Human-Object Interactions) ja objektien välinen vuorovaikutus (OOI, engl. Object-Object Interactions). (IoT Conference 2018)

Gartnerin vuosittain julkaisemalla Hype Cycle -käyrällä IoT on edennyt alkuvaiheen noususta huipulle, minkä jälkeen se on kadonnut käyrältä. Vuonna 2011 (Cuccureddu 2011) IoT oli käyrällä ensimmäisen vaiheen suuren julkisuuden nousussa. Vuonna 2014 (Gartner 2014) IoT oli edennyt käyrän huipulle suurten odotusten vaiheeseen, missä se pysyi myös vuonna 2015 (kuva 5) (Gartner 2015a). Vuonna 2016 (Gartner 2016) IoT oli kadonnut, mutta IoT-alustat (engl. IoT platforms) olivat alkuvaiheen nousussa ja vuonna 2017 (Gartner 2017) IoT-alustat olivat nousseet käyrän huipulle. Vuonna 2018 (Gartner 2018) IoT-alustat olivat edenneet huipun toiselle puolelle, mutteivät vielä niin sanotun pettymysten laakson rajan ylitse.

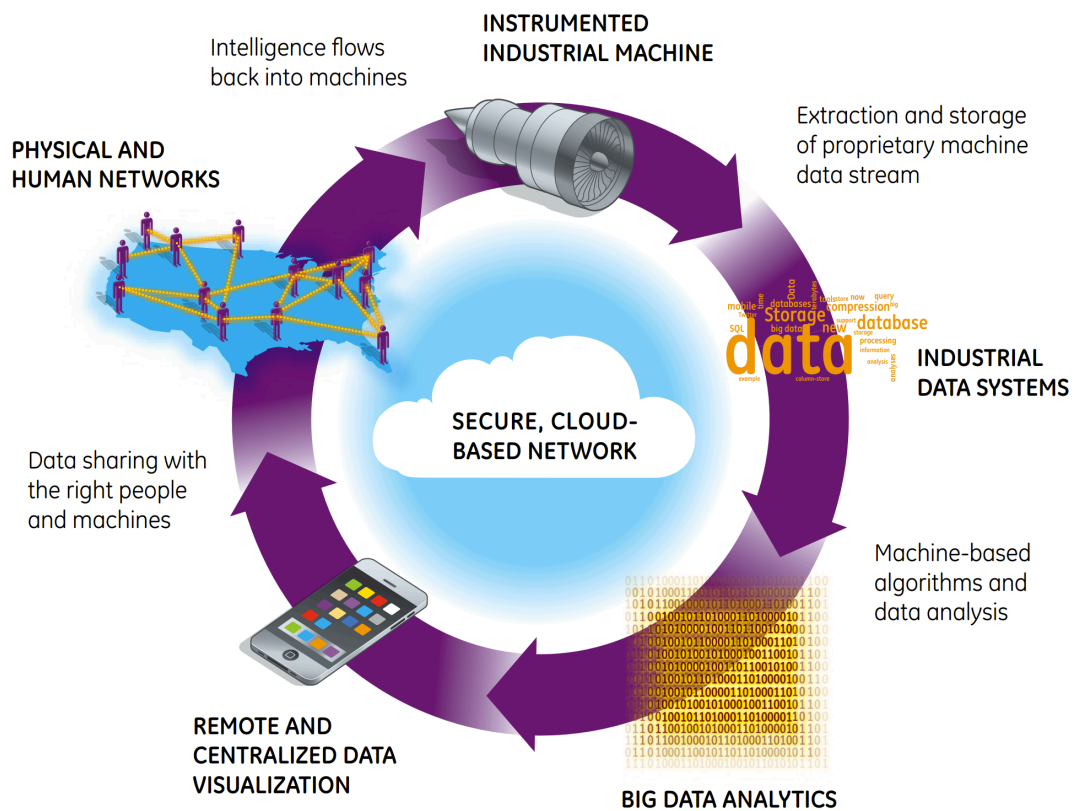


Kuva 5. IoT vuoden 2015 Gartnerin Hype Cycle -käyrän huipulla (Gartner 2015b)

IoT:lle on esitetty useita erilaisia määritelmiä ja IoT-sovelluksien kehitys ylittää usein yksittäisten määritelmien rajat (Pradilla & Palau 2016, s. 127). Yleisesti IoT viittaa skenaarioi-

hin, joissa tietoliikenneyhteydet ja tietojenkäsittelykyky liittyy objekteihin, antureihin ja arkipäiväisiin esineisiin joita ei yleensä pidetä tietokoneina, mahdollistaen näille laitteille datan tuottamisen, vaihdannan ja kuluttamisen minimaalisilla ihmisen tekemillä toimenpiteillä. Yksittäistä yleispätevää määritelmää ei kuitenkaan ole. (Rose, Eldridge & Chapin 2015)

Atzori, Iera & Morabito (2010, s. 2788) arvelevat, että kirjallisuutta selailevalla kiinnostuneella lukijalla voi olla vaikeuksia käsittää mitä IoT todellisuudessa tarkoittaa, mitä käsitteitä se pitää sisällään ja millaisia vaikutuksia sen täysimittaisella toteutumisella tulee olemaan. Joskus suuretkin erot IoT-visioiden välillä johtuvat niiden tuottamisessa mukana olevien sidosryhmien lähestymistavoista ja näkökulmista, jotka ovat joko "internetlähtöisiä" tai "esinelähtöisiä" riippuen sidosryhmien kiinnostuksen kohteista ja taustoista. Näiden kahden lisäksi kolmantena on vielä semanttinen näkökulma. (Atzori, Iera & Morabito 2010, s. 2788). Semanttisesta näkökulmasta "Internet of Things" tarkoittaa globaalia verkottuneiden ja yksilöllisesti osoitettavissa olevien objektien verkkoa, joka perustuu standardoituun tietoliikenneprotokolliin (Bassi & Horn 2008, s. 4). Lisäksi IoT voidaan määritellä kyberfysikaalisen järjestelmän (CPS, engl. Cyber Physical System; ks. Sunder & Lee (2018)) suuren mittakaavan erityistapaukseksi, jossa automatisoidussa ja yhteistoiminnallisessa prosessissa keskenään viestivät koneet tuottavat anturiverkkojen avulla dataa, jota tietojärjestelmät tallentavat ja analysoivat. Tästä datasta tuotetaan konsolidoitua hyödyllistä tietoa ihmisille ja koneille, jotka tekevät päätöksiä tai suorittavat toimintoja aktuaattorien, UA-laitteiden ja robottien avulla. Nämä päätökset ja toiminnot vaikuttavat koko järjestelmän toimintaan, muodostaen näin takaisinkytkentäpiirin ja suljetun informaation kierron (ks. kuva 6). Kyberfysikaalisen järjestelmän erityistapauksen IoT:istä tekee vaatimus sekä objektien tunnistettavuudesta että globaalista yhteenliitettävyydestä. (Pradilla & Palau 2016, s. 126–128)



Kuva 6. IoT:in suljettu informaatiokierto, esimerkkinä teollinen IoT-ratkaisu (Evans & Anunziata 2012)

Määrittelyjen lisäksi IoT:tä voidaan luonnehtia myös sen ominaispiirteiden avulla, joihin kuuluvat: (Tao ym. 2016)

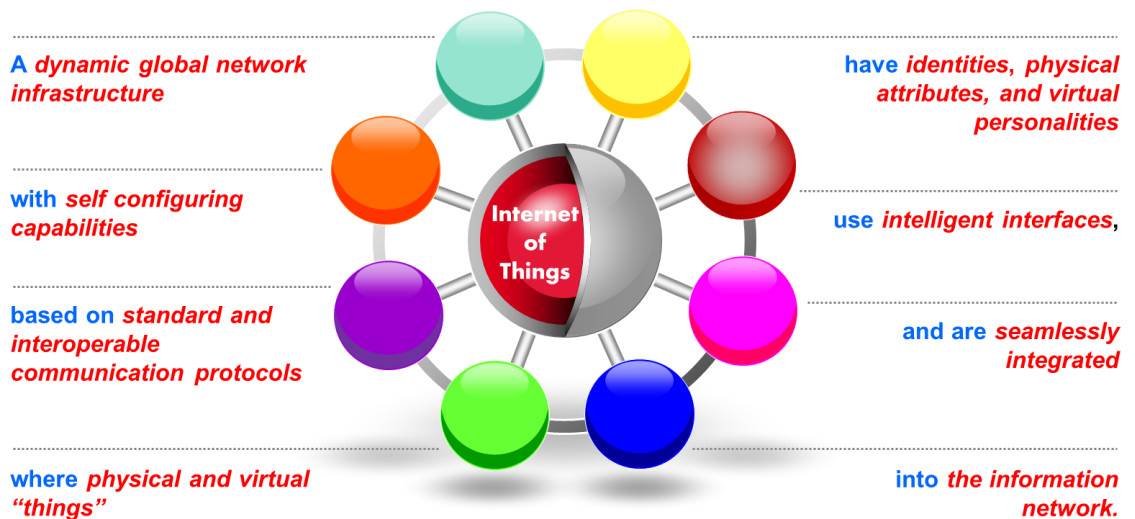
- **Avoimuus**, jonka avulla kolmannet osapuolet voivat kehittää rajapintoihin perustuvia uusia palveluita.
- **3C**-teknologiayhdistelmä (engl. Communication, Cloud computing, Control) joka mahdollistaa havainnoinnin, keinoälyn, automaation ja edistyneiden tietoliikenneteknologioiden yhteistoiminnan.
- **Kompleksisuus**, jolla materiaalien, energian ja tiedon virtaukset muodostavat yhteiskäyttöisiä verkostoja.
- **Yhdistetty, koostettu ekosysteemi** jossa elämän ja elinympäristön, työn, yhteisön, kulttuurin ja aineellisen tuotannon koordinoitu kehitys on IoT:in, samoin kuin kestävä kehityksen, tarkoitus.
- **Yhteentoinivuus**, joka IoT-ratkaisuissa mahdollistaa yhteistoiminnan suurelle määrälle heterogeenisiä laitteita ja teknologioita.
- **Skaalautuvuus** ja laajennettavuus, jotka on otettava huomioon IoT-järjestelmien suunnittelussa jatkuvasti tuotettavan datan suuren määrän takia.
- **Dynamiikka**, jolla IoT-järjestelmien komponenttien tulee olla uudelleenkonfiguroitavissa missä vaiheessa tahansa.

Useat määritelmät keskittyvät IoT:in perustavanlaatuisiin vaatimuksiin verkottuneisuudesta ja antureista. Uusimmissa määrittelyissä on aiempaa enemmän painotettu yhteenliitettävien laitteiden ubiikkien ja autonomisten verkkojen tarvetta, joissa objektien tunnistetta-



vuudella ja palveluiden integraatiolla on keskeisen tärkeä rooli. Laitteiden verkkojen lisäksi viime aikaisissa IoT:in määrittelyissä laitteiden ja verkkojen älykkyys (engl. smartness) on usein esillä. Juuri älykkyys erottaa IoT:in määritelmän useista samankaltaisista konsepteista kuten anturiverkoista. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 5) Esimerkiksi European Research Cluster on the Internet of Things:in (IERC) vuonna 2014 julkaisema IoT:in kuvaileva määritelmä (kuva 7) korostaa globaalaa tietoliikenneverkkoa sekä virtuaalisten että fyysisten “esineiden” integraatiota seuraavasti:

A dynamic global network infrastructure with self-configuring capabilities based on standard and interoperable communication protocols where physical and virtual “things” have identities, physical attributes, and virtual personalities and use intelligent interfaces, and are seamlessly integrated into the information network. (IERC 2014; Pradilla & Palau 2016, s. 126–127)



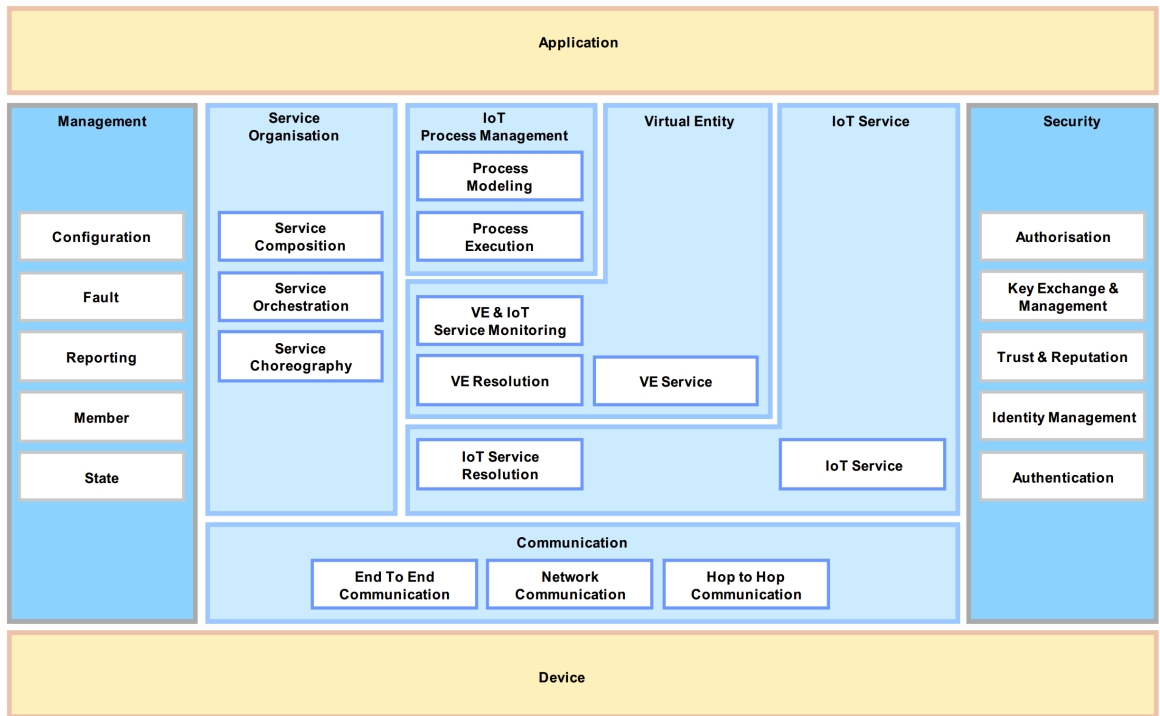
Kuva 7. IERC (2014) julkaisema IoT:in kuvaileva määritelmä

IoT:in kontekstissa termillä “esine” tai “thing” tarkoitetaan kokonaisuutta, joka on sekä tietoinen kontekstistaan että kykenevä viestimään toisten kokonaisuuksien kanssa ja joka on saatavilla milloin ja mistä tahansa (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 3). Toisaalta termiä “thing” ei Bassi & Horn (2008, s. 4) mukaan voida tarkasti määritellä, mikä jättää tulkinnan varaa myös IoT:in määrittelyyn. Koska termillä “thing” voidaan tarkoittaa muun muassa älykkäitä laitteita, anturilaitteita ja joissain tapauksissa myös ihmisiä, terminä “esineiden internet” voi antaa lukijalle käsityksen etteivät ihmiset sekä ihmisten tekemät toimet ja päätökset kuuluisi IoT:in toimintaan. Tämän takia olen tässä opinnäytetyössä suosinut lyhennettä “IoT” termin “esineiden internet” sijaan.

Rose, Eldridge & Chapin (2015, s. 5) mukaan IoT:in mahdollistavia teknologioita ovat kaikkialle sulautettu tietotekniikka, laajamittainen IP-verkkojen omaksunta, tietojenkäsitte-

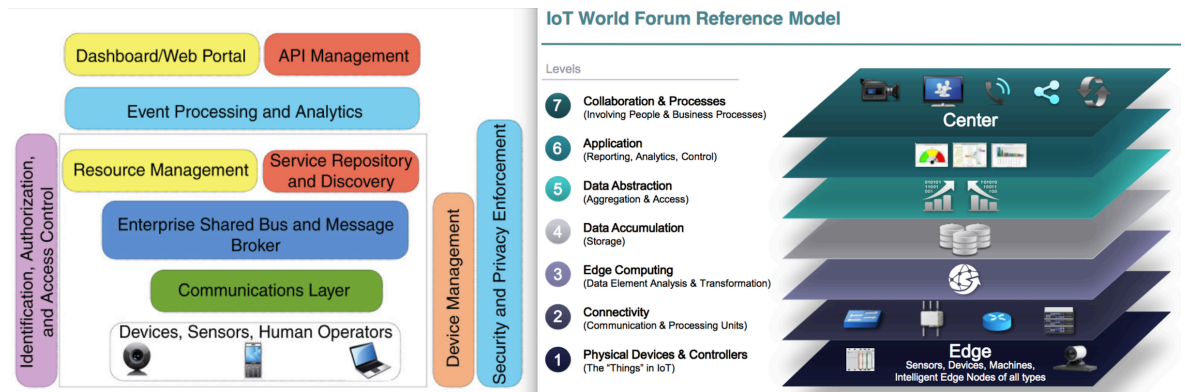
lytalous, miniatyrisaatio, data-analytiikan edistyminen ja pilvipalveluiden nousu. IoT-arkkitehtuurien keskeisiä osia puolestaan ovat anturit, etäpalveluiden käyttö, tietoliikenneverkot ja toimintaympäristöstä/kontekstista tietoinen tapahtumien käsittely. Erillisinä teknologioina nämä kaikki ovat olleet olemassa jo kauan, mutta IoT pyrkii yhdistämään nämä älykkäiden laitteiden verkoksi, joita ihmiset tarpeen mukaan ohjaavat ja jotka pystyvät viestimään toistensa kanssa. Hajautetuissa toimintaympäristöissä, joita IoT-ratkaisut yleensä ovat, yksiköiden yhteenliitettävyys on järjestelmien toiminnalle kriittisen tärkeää. Järjestelmien osien saumattoman yhteistoiminnan varmistamiseksi tarvitaan holistista järjestelmäarkkitehtuuria, jonka avulla fyysinen ja virtuaalinen toimintaympäristö voidaan yhdistää. Lisäksi IoT-arkkitehtuurissa tulee huomioida virhetilanteista toipuminen eri tasoilla sekä järjestelmän skaalautuvuus ja sopeutuvuus käyttöympäristöjen muutoksiin. Hajautetuissa järjestelmissä resurssien hallinnointi on palvelunlaadulle (QOS, engl. Quality of Service) keskeistä, mikä korostuu IoT-ratkaisuissa. Resurssien hallinnointi kattaa resurssien löydettävyyden ja tunnistamisen, toimintojen ajoituksen ja resurssien jaottelun hyödyllisyyden maksimoimiseksi hinnan, energiankulutuksen, tehokkuuden jne. mukaan. Eri-tyisen haastavaksi resurssien hallinnoinnista IoT-ratkaisuissa tekee ratkaisuiden käyttämien resurssien heterogeeninen ja dynaaminen luonne, mikä edelleen korostuu suuren mittakaavan ratkaisussa. Tällöin tehokas resurssien hallinnointi edellyttää varmatoimista, energiatehokasta ja skaalautuvaa ratkaisua. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 7, 10; Yoon, Ban, Han, An & Heo 2016, s. 59)

Samoin kuin määritelmästä, myös IoT:in referenssiarkkitehtuurista on esitetty useita ehdotuksia. Referenssiarkkitehtuuri antaa järjestelmästä muita arkkitehtuurimalleja paremman ja korkeamman tason abstrahoinnin ja piilottaa suuren osan teknisistä rajoitteista ja sovellettavien ratkaisuiden yksityiskohdista. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 8) Esimerkiksi IoT-A-hanke tuotti IoT-arkkitehtuurin referenssimallin osana IoT-referenssiarkkitehtuurin, joka esittelee IoT-arkkitehtuuria eri näkökulmista erilaisille sidosryhmille (Bauer ym. 2013). Hankkeen loppuraportissa esiteltiin yhtenä näkökulmana IoT-referenssiarkkitehtuurin toiminnallinen jaottelu (kuva 8).



Kuva 8. IoT-A-hankkeen referenssiarkkitehtuurin toiminnallinen näkökulma (Bauer ym. 2013)

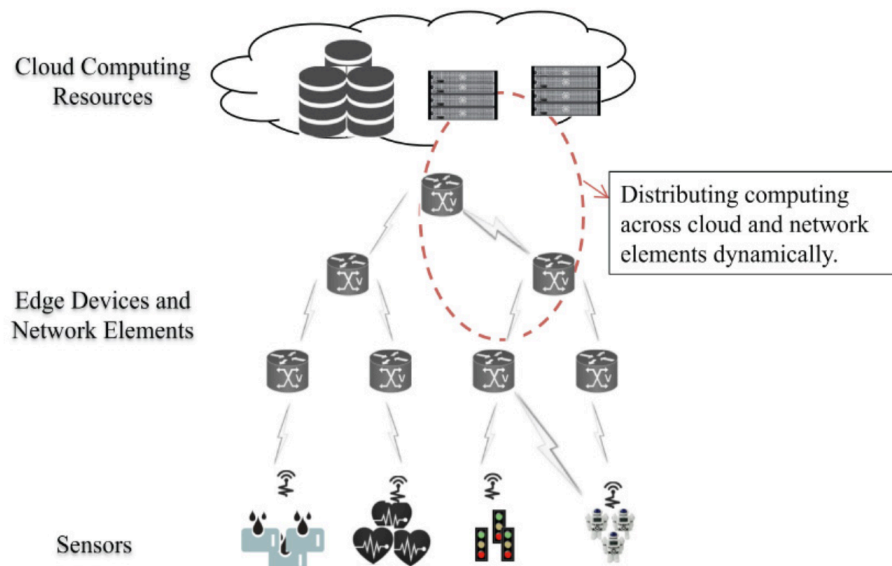
Toisena esimerkkinä IoT-referenssiarkkitehtuurista Khodadadi, Dastjerdi & Buyya (2016, s. 8) esittelivät laajennetun IoT-referenssiarkkitehtuurin, jossa käytetään kirjallisuudessa yleistä palvelukeskeisen arkkitehtuurimallin (SOA, engl. Service Oriented Architecture) mukaista kerroksellista jaottelua (kuva 9). Yleisesti palvelukeskeisen arkkitehtuurimallin mukaiset ja toiminnallisuuksien perusteella jaotellut kerrokset ovat havainnointi-, tietoliikenne-, palvelu- ja liittymäkerros. Kerrosten jaottelu vaihtelee jonkin verran eri referenssiarkkitehtuurien välillä. Esimerkiksi Internet of Things World Forum:in arkkitehtuurikomitealle (Green 2014) esittämässä IoT-referenssiarkkitehtuurissa oli seitsemän kerrosta (kuva 9), joista verkon reunan laskenta, datan tallennus, datan abstrahointi sekä yhteistoiminta ja prosessit oli jaoteltu omiksi kerroksikseen. Arkkitehtuurimallissa kolme alinta kerrosta käsittelevät dataa liikkeessä ja ylemmät kerrokset datayksiköistä jalostettua tietoa. (Chellappan & Sivalingam 2016, s. 184)



Kuva 9. Laajennettu IoT-referenssiarkkitehtuuri (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016) verrattuna (Green 2014) IoT World Forum:ille esittämään referenssiarkkitehtuuriin

Verkottuneista, älykkäistä ja yksilöllisesti tunnistettavista objekteista rakentuva IoT-infrastruktuuri muodostaa alustan IoT-tekniologioiden sovelluksille. Näiden teknologiasovelluksien kirjo on huomattavan laaja niiden mittakaavan ulottuessa yksittäisistä esineistä ja kodin automatiikasta älykkääseen kaupunkiin (engl. smart city). Suuren mittakaavan IoT-ratkaisuissa miljoonien anturien tuottaman datan analytiikan ratkaisut keskittyvät yleensä massadatan (engl. Big Data) analyysimenetelmiin. Tuotetun datan tosiaikainen käsittely ja prosessointi on kuitenkin vielä haastavaa. Pilvipalveluratkaisut joita käytetään yleensä datan prosessointiin ja tallennukseen eivät ole aina tarpeeksi skaalautuvia eivätkä aina pysty prosessoimaan tuotettua dataa tiukkojen latenssivaatimusten puitteissa, erityisesti jos käsiteltävä data on hajautettu useisiin kohteisiin. Tosiaikaisen prosessoinnin vaatimukset ja verkon reunan laitteiden laskentakapasiteetin kasvu ohjaavat ratkaisuita enenevässä määrin sumutietojenkäsittelyyn (engl. fog computing) käyttöön. Sumutietojenkäsittelyn ratkaisulla voidaan dynaamisesti jakaa datan prosessointia lähelle käyttäjiä ja datan tuotantoa (ks. kuva 10). Tällöin voidaan vähentää verkon aiheuttamaa latenssia, säästää prosessointi- ja tallennuskuluissa, aggregoida dataa sekä estää arkaluontoisen datan vienti paikallisen verkon ulkopuolelle. Sumutietojenkäsittelyn avulla järjestelmien skaalautuvuutta voidaan lisätä ja samalla pienentää pilvipalveluiden pullonkauloiksi muodostumisen uhkaa raakadatan määrien kasvaessa. Koska suuri osa älykkäiden laitteiden hake- mista tiedoista liittyy laitteiden läheisyyteen ne voidaan yleensä toimittaa ilman globaalien pilvipalveluiden apua. (Dastjerdi, Gupta, Calheiros, Ghosh & Buyya 2016, s. 61, 64; Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 14) Lisäksi IoT-ratkaisuissa pilvipalveluiden ja laitejärjestelmien yhteistoiminnallisen kehysympäristön avulla voidaan vähentää pilvipalvelujärjestelmien ylläpitokustannuksia kun osa järjestelmän tietojenkäsittelystä suoritetaan sumutietojenkäsittelyä päätelaitteilla kuten älypuhelimilla. Tällöin voidaan myös parantaa käyttäjien yksityisyyden suojaa kun arkaluontoisen tiedon käsittely joko suoritetaan päätelaitteilla tai pelkästään obfuskoitu tieto lähetetään pilvipalvelun analysoitavaksi. (Yoon ym. 2016, s. 49, 59)

IoT ja sumutietojenkäsittely ovat kehittyneet erillään, IoT:in keskittyessä tietoliikenneverkkojen palveluiden, tosiaikaisten tietojärjestelmien ja langattomien anturi- ja aktuaattori-verkkojen teknologioihin (WSAN, engl. Wireless Sensor and Actuator Network). Sumutietojenkäsittelyn ratkaisut ovat puolestaan keskittyneet tietoliikenneverkkojen palveluiden, sosiaalisten verkostojen ja tietojenkäsittelyn teknologioihin. (Bardhi, Claudi, Spalazzi, Taccari & Taccari 2016, s. 103) Sumutietojenkäsittelyn suurimpia etuja on IoT:in ja pilvipalveluiden yhteen liittäminen, mutta tämä vaatii vielä useiden haasteiden voittamista. IoT-järjestelmien tuottaman valtavan datamäärän karsiminen ja esikäsittely (ks. kuva 10) runkoverkon ja palvelinkeskusten ruuhkautumisen estämiseksi tulee muodostumaan paitsi haastavaksi myös välttämättömäksi. Sumutietojenkäsittelyn muita keskeisiä avoimia haasteita ovat tietoturvan valvonta, laitteiden usein hyvin rajallisten resurssien sekä niiden energiankulutuksen hallinnointi. Haasteista huolimatta sumutietojenkäsittely on muodostumassa puoleensavetäväksi ratkaisuksi moniin IoT:in tietojenkäsittelyn haasteisiin. (Dastjerdi ym. 2016, s. 68, 74)



Kuva 10. Sumutietojenkäsittelyn paradigma (Dastjerdi ym. 2016)

Tietoliikennetekniikan näkökulmasta IoT voidaan nähdä heterogeenisten verkkoteknologioiden kasautumana tai yhdistelmänä. WSAN:it ovat NFC-lähitiedonsiirtoteknologiaan (engl. Near-Field Communication) perustuvan NFC-tunnistuksen ja RFID-tunnisteiden ohella atomaarisia osia, joiden avulla todellinen ja virtuaalinen maailma voidaan yhdistää (Atzori, Iera & Morabito 2010, s. 2789). Yleisiä IoT-ratkaisuissa käytettyjä tietoliikenneprotokollia ja viestintäratkaisuita ovat muun muassa matkapuhelinverkot (3G, 4G, CDMA jne.), RFID, IEEE 802.11 (WLAN), IEEE 802.15.4 (ZigBee), NFC, IEEE 802.15.1 (Bluetooth), 6LoWPAN, MQTT sekä IPv4 ja IPv6. Saumattomasti toimiva yhteenliitettävyys ja -toimivuus ovat IoT-ratkaisuiden keskeisiä toiminnallisia vaatimuksia. Tietoliikenneverkon

nopeus, luotettavuus ja yhteyksien kestävyys vaikuttavat suoraan järjestelmän toimintaan ja käyttökokemukseen. Nopeiden mobiiliyhteyksien sekä paikallisten langattomien tietoliikenneprotokollien kuten WiFi, Bluetooth ja WiMax yleistyessä IoT-paradigman mukaisten verkottuneiden objektien verkostojen toteuttaminen vaikuttaa mahdolliselta, vaikka heterogeenisten tietoliikenneprotokollien yhteistoiminnassa on vielä avoimia haasteita. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 15–16)

IoT mahdollistaa suuren määrän sovelluksia, joista monet voivat parantaa käyttäjien elämänlaatua tai organisaatioiden toimintaa useilla eri alueilla. IoT-sovelluksien jako keskeisiin alueisiin vaihtelee julkaisusta toiseen samaan tapaan kuin IoT-referenssiarkkitehtuurit tai IoT:in määrittelyt. Yleisesti keskeisimpiä IoT-sovelluksien alueita ovat ympäristön valvonta, tuotantoympäristöjen tai -prosessien valvonta ja hallinta, kotien ja rakennusten valvonta ja automaatio, älykkäät kaupunkien infrastruktuurien ja liikenteen hallinta sekä terveydenhuollon sovellukset. Khodadadi, Dastjerdi & Buyya (2016, s. 18–19) jaottelevat IoT-sovellukset niiden käyttötarkoitusten mukaan tarkkailun ja aktiivisuuden, liiketoimintaprosessien ja data-analytiikan sekä informaation keräämisen ja yhteisöllinen käytön sovelluksiin. Teollisuudenalojen mukaan luokiteltuina keskeisiä IoT-sovelluksia ovat logistiikan ja liikenteen, toimitusketjun, kaluston seurannan, lentoliikenteen ja yritysten automaation sovellukset. Elämänlaadun parantamiseen kohdistuvia järjestelmiä sekä yksilön että yhteiskunnan tasolla ovat muiden muassa terveydenhuollon, älykkäiden kaupunkien ja rakennusten sekä yhteisöllisen IoT:in sovellukset. Ympäristöön suuntautuvia sovelluksia puolestaan ovat suuronnettomuuksien hallinnan, ympäristöntarkkailun, älykkään kastelun ja energianjakelun sovellukset. Toisaalta IoT-sovellukset voidaan Atzori, Iera & Morabito (2010, s. 2793–2974) mukaan jaotella seuraavasti: liikenteen ja logistiikan, terveydenhoidon, älykkäiden ympäristöjen, henkilökohtaisen ja sosiaalisen alueeseen sekä futuristisiin sovelluksiin. Vastaavasti Smith, Vermesan, Friess & Furness (2012) jaottelivat IoT-sovellukset 12:sta alueeseen ja niissä oleviin 54:ään keskeiseen sovellukseen (kuva 11) (ks. Tao ym. 2016).



Kuva 11. Tao ym. (2016) visualisoima kuvaaja keskeisimmistä 54:stä IoT:in sovelluksesta Smith ym. (2012) mukaan

Samoin kuin muissakin tietojärjestelmissä, myös IoT-sovelluksissa luotettavuuden, saataavuuden ja korjattavuuden (engl. serviceability) vaatimukset ovat keskeisessä asemassa. IoT-sovelluksissa käytettävät laitteet on sulautettu aikaisempaa syvemmälle liiketoimintaja tuotantoympäristöön, niiden usein suuri lukumäärä sekä dynaaminen, virhealtis ja ennalta arvaamaton käyttöympäristö asettavat haasteita järjestelmäsuunnittelulle, erityisesti kun järjestelmän odotetaan usein toimivan pitkiä aikoja virheettömästi. Luotettavuuden ja saatavuuden vaatimukset vaihtelevat eri järjestelmien välillä, usein käyttötarkoitusten ja toimintakriittisyyden mukaan. IoT-sovellukset voidaan luokitella luotettavuuden ja saatavuuden näkökulmasta nollatoleranssin, uudelleenikäynnistettäviin ja virhesietoiisiin järjestelmiin. Nollatoleranssin järjestelmiä ovat erityisesti terveydenhuollon järjestelmät, jotka valvovat potilaiden elintoimintoja ja joissa ei saa ilmetä vikoja niiden käytön aikana. Uudel-

leenkäynnistettävät järjestelmät kuten kaupungin liikenteenohjaus, voidaan tarvittaessa käynnistää uudelleen katastrofaalisen vian takia. Virhesietoiset järjestelmät voivat puolestaan toimia virheellisesti ennen kuin vika on korjattava. (Sarkar 2016, s. 201–204)

Luotettavuuden keskeisiä haasteita ovat käyttäjien kokeman palvelun saatavuus, järjestelmän korjattavuus, tietoliikennetason ja laitetason luotettavuus. Käyttäjien kokeman palvelun saatavuuden varmistamiseksi tulisi varmistaa, että palvelupyyntöihin vastataan poikkeuksetta. Järjestelmien korjattavuus on usein aikaisempia IT-järjestelmiä haastavampaa, koska laitteiden ohjelmistoja ei voida päivittää yhtä helposti vikojen tai tietoturvaaukkojen korjaamiseksi. Esimerkiksi laite voi sijaita toimintakriittisessä kohteessa, jossa sitä ei voida käynnistää uudelleen tai sen rajalliset verkkoyhteydet tai akkukapasiteetti eivät salli ohjelmistopäivityksiä. Verkon ja laitteiden tasolla järjestelmät tulisi suunnitella automaattisesti uudelleenkonfiguroituviksi ja korjautuviksi vikatilanteiden sattuessa. Myös laitteiden yhteentoimivuus standardisaation puuttuessa voi osoittautua järjestelmien luotettavuuden haasteeksi, samoin kuin energiankulutuksen rajoitukset usein rajallisia energialähteitä hyödyntävissä laitteissa. (Sarkar 2016, s. 205–208)

IoT-ekosysteemin ennustetaan kasvavan voimakkaasti, jolloin uusia IoT-laitteita otetaan käyttöön huomattavia määriä. Laitteiden ihmisistä ja ympäristöstä keräämän datan tietoturvan varmistaminen sen siirtämisen ja tallentamisen aikana on erittäin tärkeää. Monet IoT-järjestelmät soveltavat toiminnassaan erilaisia pilvipalveluita tietojen tallennuksessa ja useat organisaatiot ovat esittäneet huolensa pilvipalveluiden suorituskyvyn ja yksityisyyden suojan toiminnasta (Yoon ym. 2016). Lisäksi IoT-järjestelmien ominaispiirteet kuten suuri mittakaava, heterogeenisyys ja laitteiden pieni laskenta- ja muistikapasiteetti tekevät tietoturvan varmistamisesta haasteellista. Järjestelmien suunnittelussa tulisi ottaa huomioon, että IoT-ratkaisuissa sovellettavien tietoturvaratkaisuiden tulisi toimia yhteen kaikkien näiden heterogeenisten osien kanssa. (Hosseinzadeh, Hyrynsalmi & Leppänen 2016, s. 271)

IoT-järjestelmien omaksunnan laajentuessa ja laitteiden määrän kasvaessa hyökkääjät ja pahantahtoiset käyttäjät siirtävät huomiotaan palvelimista kohti päätelaitteita. Tähän vaikuttavat fyysinen pääsy laitteisiin ja kohteena olevien päätelaitteiden määrä, joka voi olla huomattavasti suurempi kuin palvelimien. Lisäksi järjestelmien heterogeeninen ja hajautettu luonne vaikeuttaa ja pitkittää tietoturvapaikkausten asennusta, mikä voi mahdollistaa hyökkääjän pääsyn järjestelmään. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 19) IoT:in kontekstissa järjestelmien reunojen varmistamiseen perustuvilla turvallisuusmekanismeilla on vähän merkitystä. IoT-ratkaisuiden hyökkäyspinta on perinteisiä IT-järjestelmiä huomattavasti laajempi, minkä lisäksi ratkaisuihin liittyy heterogeenisiä järjestelmiä. Suojautumisen tulisi tapahtua paitsi ulkopuolisia, julkisen internetin kautta järjestelmiin kohdistuvia uhkia



vastaan, myös järjestelmien omien verkkojen sisältä nousevia uhkia vastaan. IoT-ratkaisuissa käytetty sulautettu tietotekniikka ja laitteiden fyysinen levinneisyys antavat hyökkääjille erinomaisia mahdollisuuksia järjestelmien hallinnan kaappaamiseen. Lisäksi IoT-ratkaisuissa yleisesti käytetyt tiedonsiirron tiheys, käytetyt tietomallit ja -muodot helpottavat hyökkääjien kryptoanalyysiä. IoT:in tietoturvan varmistamisen vaatimukset ovat monimutkaisia, liittyen useisiin erilaisiin pilvi- ja mobiiliarkkitehtuureihin, teolliseen valvontaan ja automaatioon sekä fyysiseen turvallisuuteen ja eheyteen. Verkottuneiden älykkäiden laitteiden kehityksen suurimpia haasteita ovat turvallisuuden, yksityisyyden ja luottamuksen turvaaminen. (Chellappan & Sivalingam 2016, s. 183, 185–186) Näihin haasteisiin vastaamisessa keskeinen osa on identiteetinhallinnalla, jonka avulla voidaan pyrkiä varmistamaan viestinnän osapuolten oikeellisuus. Identiteetinhallinnan vaikutus korostuu suuressa osassa IoT-ratkaisuita, kuten ajoneuvojen hallintajärjestelmissä, joissa laitteet voivat liittyä ja poistua tietoliikenneverkosta dynaamisesti. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 21; Sarkar 2016, s. 207)

Jokaiseen laitteeseen liittyvät sen käyttämät protokollat, kanavat, menetelmät, tietomuodot ja datayksiköt joihin kaikkiin liittyy potentiaalisia tietoturvauhkia. Ratkaisun mittakaava ja kompleksisuus jokaisella arkkitehtuurin kerroksella määrittävät vaadittavan laskentatehon ja tallennuskapasiteetin vaatimukset, joiden mukaan määräytyvät puolestaan kustannukset ja energiankulutuksen budjetti. Kustannusten ja resurssien välinen kompromissi määrittää puolestaan tietoturvalle kuten kryptografia-algoritmeille, avainten koolle ja menetelmille saatavilla olevien resurssien määrän. (Chellappan & Sivalingam 2016, s. 186) Tällä hetkellä yleisesti käytössä olevat edistyneet kryptografia-algoritmit vaativat laskentatehoa ja energiaa, mitä IoT-ratkaisuissa yleisesti käytetyillä älykkäillä laitteilla on hyvin rajatusti. Laskentatehon ja muistin rajallisuuden takia IoT-ratkaisuissa sovelletaan usein kevyitä kryptografia-algoritmeja, minkä lisäksi tietoturvauhkia voi aiheutua yleisten tietoliikenneprotokollien käytöstä sekä kahdensuuntaisesta tietoliikenteestä. (Chellappan & Sivalingam 2016, s. 183, 185; Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 20) Älykkäiden, verkottuneiden laitteiden kyky viestiä tietoverkkojen ylitse avaa huomattavia mahdollisuuksia IoT-sovelluksille, mutta samalla se lisää organisaation järjestelmien hyökkäyspinta-alaa ja avaa mahdollisuuksia tietoturvan ja yksityisyyden suojan vaarantamiselle. Vaikka IoT mahdollistaa ratkaisulle innovaatiovetoisuuden, IoT-ratkaisu voi lisätä toiminnallista monimutkaisuutta jos sitä ei integroida huolellisesti organisaation keskeisiin prosesseihin. Tietoturvaprosessien tulisi olla suunniteltu myös näihin prosesseihin sopiviksi ja huomoiden, että vankan IoT-tietoturva-arkkitehtuurin suunnittelu on erittäin haastavaa ympäristössä, jossa käytetään monimutkaisia operatiivisia teknologioita. (Chellappan & Sivalingam 2016, s. 183, 186)

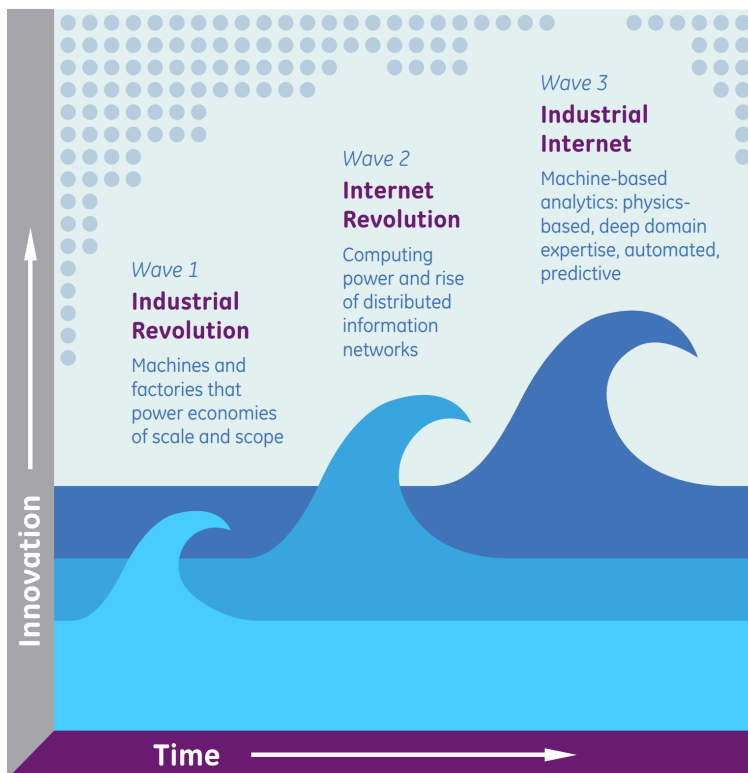
Laitteiden tietoturvakysymysten lisäksi IoT tuo esille yksityisyyden suojaan liittyviä kysymyksiä jotka ovat olleet vähemmän vaikuttavia World Wide Web:issä. Viime aikoina monet käyttäjät ovat usein jakaneet yksityisiä tietojaan sosiaalisen median palveluissa ja näihin tietoihin perustuen palvelut ovat osana liiketoimintaansa voineet tuottaa käyttäjilleen muun muassa kohdennettua mainontaa. Älykkäät IoT-laitteet kuitenkin tuottavat käyttäjistään usein huomattavasti arkaluonteisempaa tietoa, joka ei ole aina yhtä helposti käytävissä vastaavassa liiketoimintamallissa. Tiedon arkaluonteisuuden myötä käyttäjät ovat sekä aikaisempaa haavoittuvaisempia että herkempiä huomioimaan yksityisyyden suojan kysymykset. Johtuen tiedon arkaluonteisuudesta sekä kaupallistamismallien ja yksityisyyden suojan haasteista IoT-ratkaisuiden turvallinen ja yksityisyyden suojasta huolehtiva kaupallistaminen onnistuneesti on vielä hyvin haasteellista. Hajautetuissa IoT-järjestelmissä yksityisyyden suojan ylläpitämiseksi voidaan soveltaa joko keskitettyä mallia tai velvoittamalla jokainen toimija huolehtimaan omasta sisään- ja ulostulevasta dataan sisäänrakennetun yksityisyyden suojan (engl. privacy by design) mallin mukaisesti. Viimeksi mainitussa mallissa kullakin toimijalla on pääsy vain tiettyyn osaan hajautetusta datasta. Näiden hajautettujen tietojen yksityisyyden suojan hallitsemiseksi on kehitetty hajautettuja suojausalgoritmeja, joiden avulla voidaan hallinnoida tiedon hajautumista ja dataan liitettyjä yksityisyystunnisteita. Vaikka lupaavaa kehitystä IoT:in tietoturvan ja yksityisyyden suojan ratkaisuissa on tapahtunut, on vielä matkaa ennen kuin markkinoille tulee saataville laajasti omaksuttuja ja standardoituja ratkaisuita. (Chellappan & Sivalingam 2016, s. 199; Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 21–22)

Viimeaikainen avainteknologioiden ja markkinatrendien yhdistymä ohjailee uuden IoT:in maailman muodostumista, jolloin älykkäiden objektien ja niiden ympäristön sekä objektien ja ihmisten väliset suhteet tiivistyvät. IoT:in kaikkialle sulautuvan ja internetiin yhdistetyn tietotekniikan vaikutus voi olennaisesti muuttaa ihmisten käsitystä mitä verkossa oleminen, "online", voi tarkoittaa. IoT:in potentiaaliset vaikutukset ovat huomattavat. Sen laajentumisesta ja markkina-arvosta on esitetty useita optimistisia ja jopa fantastisia ennusteita, mutta niiden saavuttamisen tiellä on suuria haasteita. Ennusteiden toteutumiseksi tarvitaan monia innovaatioita ja merkittävää edistystä useilla alueilla, joista erityisesti tietoturvan, yksityisyyden suojan, yhteenliitettävyyden ja standardisaation, säännöstelyn ja kehittyvien talouksien osallistavuuden alueet vaativat huomiota. Tämän lisäksi IoT:in kasvun vauhdittamiseksi tarvittaisiin yhteistoimintaa ja tiedonjakoa paitsi kasvuyritysten, myös johtavien teknologiayritysten ja moninaisten sidosryhmien kesken. Valtiollisten toimijoiden strategiat IoT:in suhteen ovat kehittyneet ja IoT:in tutkimukseen on panostettu investointien lisääntyttyä selkeästi. Parhaiden ja tehokkaimpien IoT-ratkaisuiden löytämiseksi vaaditaan kuitenkin vielä paljon työtä. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 6; Rose, Eldridge & Chapin 2015, s. 69)

## 2.2.1 Industrial Internet of Things

Yleisestä IoT:istä erottuvat selkeästi kuluttajien, kaupan, liiketoiminnan ja teollisuuden IoT:in alueet kohderyhmien, teknisten vaatimusten ja toimintastrategioiden perusteella. Näistä suurin teollinen esineiden internet (IIoT vrt. joissakin lähteissä TI, Teollinen internet) keskittyy teollisuuden IoT-sovelluksiin monilla teollisuudenaloilla. Muutamia keskeisiä näistä ovat energiantuotannon, valmistavan teollisuuden, terveydenhoidon, kaupan, liikenteen, logistiikan, lentoliikenteen ja maatalouden alat. (Gilchrist 2016, s. 1–2)

IIoT:in määritelmät vaihtelevat saman kaltaisesti kuin IoT:in. IIoT:iä kuvaillaan yritysten näkökulmaksi digitalisaatioon ja usein kolmanneksi teolliseksi vallankumoukseksi (ks. kuva 12), jonka pääelementit ovat Evans & Annunziata (2012, s. 3) mukaan älykkäät koneet, edistynyt data-analytiikka ja ihmisten työpanos tuotantoprosessien kehitykseen omassa työssään (Ahlqvist ym. 2015, s. 3–4). Keskeisiä IIoT-määrittelyn osia ovat myös koneiden välisen viestinnän (M2M, engl. Machine to Machine), massadatan analytiikan ja koneoptimisen teknologiat (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 5). IIoT:iä pidetään myös Industry 4.0:n osana, Industry 4.0:n muiden osien ollessa massadata ja sen analytiikka, pilvipalvelut, autonomiset robotit, digitaalinen simulointi ja mallinnus, järjestelmäintegraatio, kyberturvallisuus, lisäävä valmistus ja täydennetty todellisuus (Gilchrist 2016, s. 208).



Kuva 12. Teollisen internetin aallon nousu yhtenä teollisena vallankumouksena (Evans & Annunziata 2012)

IIoT:in arvioidaan olevan ajankohtaisista teknologiamurroksista keskeisimpiä (Ahlqvist ym. 2015, s. 2). Useat teollisuuden eturivin toimijat ovat ennustaneet vuosille 2015 - 2025 ennen näkemätöntä kasvua ja tuottavuutta, toivoen internetin mahdollistaman elinkeinonharjoittajien ja kuluttajien välisen kaupan (B2C, engl. Business-to-Consumer) kasvun kaltaisen ilmiön toistuvan valmistavan teollisuuden, maatalouden, energiantuotannon, lentoliikenteen, liikenteen ja logistiikan teollisuudenaloilla. (Gilchrist 2016, s. 2–3). IIoT:in keskeisiä megatrendejä ovat globalisaation myötä kehittyviin kansantalouksiin keskittyvä talouskasvu, fyysisen todellisuuden yhdistyminen virtuaalisen maailman kanssa digitalisaation tuloksena ja kaupungistuminen, joiden yhteisvaikutus muuttaa talousmaantiedettä. Keskeisiä vaikuttimia IIoT:in tulemiselle ovat: (Ahlqvist ym. 2015, s. 3)

- Objektien älykkyyden mahdollistavien teknologioiden kypsyminen ja niiden käyttöönoton vaatimien investointien pienentyminen.
- IIoT-sovelluksien vaatimat nopeat tietoliikenneyhteydet ovat laajentuneet kattamaan suurimman osan teollista maailmaa.
- Globaalit prosessien ja liiketoiminnan hallinnan ratkaisut ovat mahdollistuneet internetin sekä edullisten ja tehokkaiden pilvipalveluiden avulla.
- Suureen tietomäärään perustuvat liiketoimintamallit ovat mahdollistuneet Big Data -alustojen ja data-analytiikan edistymisen myötä.

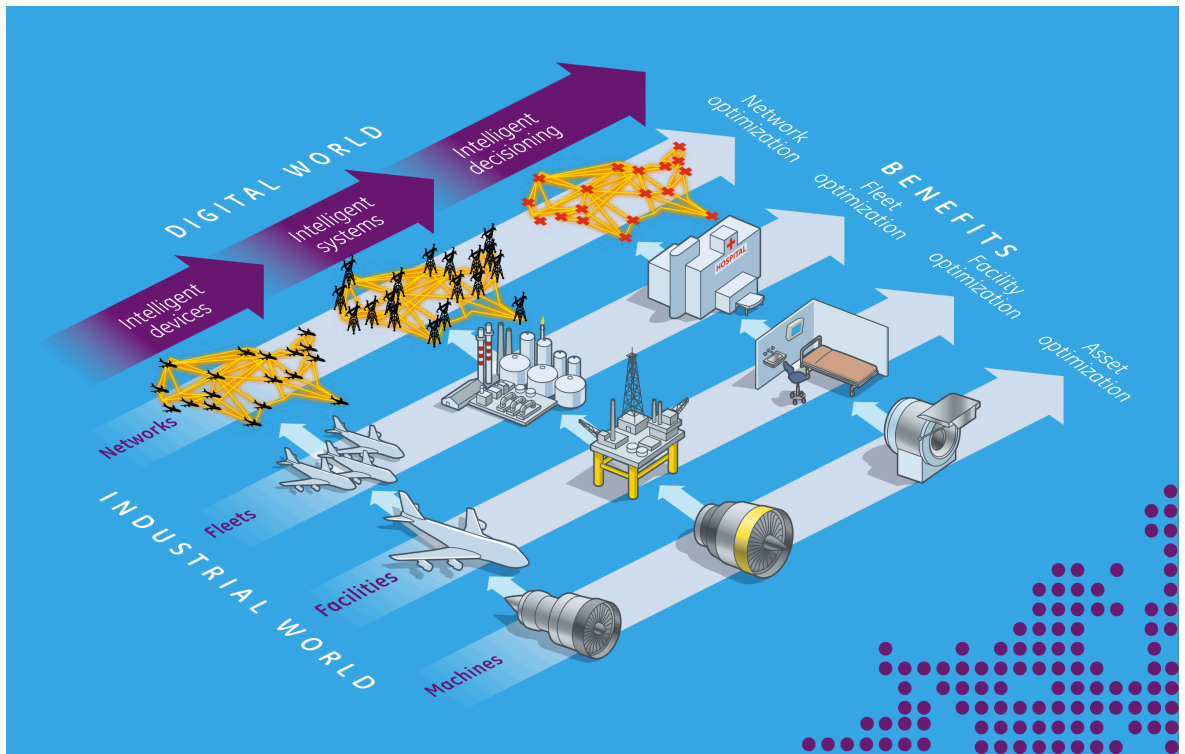
IIoT:in uudet teknologiat tietoliikenteessä, data-analytiikassa, pilvipalveluissa, sumutietojenkäsittelyssä ja kyberfysikaalisissa järjestelmissä ovat saavuttamassa laajenevaa hyväksyntää teollisuudessa. Yksittäisinä nämä teknologiat ovat lupaavia, mutta niiden yhdistelmä tarjoaa ennen näkemättömiä mahdollisuuksia. Yhdessä käytettyinä nämä teknologiat luovat ympäristön joka poistaa useat perinteisten automaatiojärjestelmien tekniset rajoitukset. (Schneider Electric 2015, s. 13) Koneet voivat suorittaa tiettyjä tehtäviä kuten datan keruuta ja viestintää ihmisiä tarkemmin, mikä on osaltaan lisännyt IIoT:in omaksuntaa. Tuotettua dataa voidaan käyttää aikaisempaa nopeampaan ongelmanratkaisuun, mahdollistaen sekä ajallisia että rahallisia säästöjä. Valmistavan teollisuuden yritys voi käyttää IIoT:iä tuotantoketjun tehokkaaseen seurantaan ja hallintaan, laaduntarkkailuun ja -varmistukseen sekä yleiseen energiatehokkuuden parantamiseen. (Khodadadi, Dastjerdi & Buyya 2016, s. 5)

Samoin kuin useat IoT-sovellukset, IIoT mahdollistaa teollisuuden kontekstissa aikaisempaa paremman näkyvyyden ja selkeämmät näkemykset yrityksen toimintaan ja omaisuuden käyttöön. Tähän pyritään koneiden anturien, väliohjelmistojen (engl. middleware), ohjelmistojen ja pilvipalveluiden integraation avulla: älykkäät verkottuneet objektit toimivat suurempien järjestelmien osina, jotka puolestaan muodostavat älykkään teollisuustuotannon kokonaisuuden. Näiden objektien tietojenkäsittelykyky voi vaihdella yksinkertaisesta anturoinnista ja aktuoinnista kontrollointiin, toiminnan optimointiin ja täyteen autonomiseen toimintaan asti. Älykäs teollisuustuotanto puolestaan koostuu älykkäiden tuotantokoneiden, tehtaiden ja valmistustoimien verkottuneista järjestelmistä, jotka perustuvat avoimiin

ja standardoituihin internetin ja pilvipalveluiden teknologioihin, jotka mahdollistavat yhteydet laitteisiin ja niiden tuottamaan tietoon. Tällöin IIoT tarjoaa menetelmän liiketoimintaprosessien muuttamiseen massadatasta analytiikan avulla saatujen tulosten perusteella, jolloin turvallisuutta ja tuotantotehoa voidaan parantaa, tuotantoa voidaan nopeuttaa entisestään ja muuttaa aikaisempaa joustavammaksi. Samalla voidaan myös vähentää päästöjä ja ennakoimattomia seisokkeja. (Gilchrist 2016, s. 3; Schneider Electric 2015, s. 1–3)

IIoT:in avulla tuotannon tehokkuuden lisäämiseen liittyy myös niin sanottu 1 %:n voima. Yleensä teollisuuden toimintakustannusten tai tehokkuuden parantaminen jo yhdellä prosentilla voi tuottaa suuria hyötyjä. Esimerkiksi lentoliikenteessä 1 %:n vuotuinen polttoainesäästö tarkoittaa \$30 miljardin säästöjä. Samoin öljy- ja kaasuteollisuudessa vuotuinen 1 %:n säästö kalustoon käytetystä pääomasta tarkoittaisi arviolta \$90 miljardin palautusta. Tämä pätee myös maatalouden, liikenteen ja terveydenhoidon teollisuudenaloilla. Lisäksi tuotantokustannuksien aleneminen, parantunut tehokkuus ja tuotannon lisäys voi myös tuoda teollisuuden tuotantoa takaisin halvemmän tuotannon maista. (Evans & Annunziata 2012, s. 4; Gilchrist 2016, s. 4, 222)

IIoT:in avulla yritys voi pyrkiä liiketoimintansa tehostamiseen, uuteen liiketoimintaan tai tuotteiden arvon kasvattamiseen. Näiden liiketoimintaprosessien parantamisen lisäksi IIoT mahdollistaa älykkäiden, verkottuneiden tuotteiden avulla yrityksen liiketoiminnan laajenemisen tuotteiden valmistuksesta älykkäiden, verkottuneiden tuotteiden valmistukseen sekä niiden käyttämän palvelun tai tuotejärjestelmän tuottamiseen. Yritys voi myös laajentaa tuotejärjestelmiään useiden järjestelmien systeemipalveluun (engl. system of systems) (ks. kuva 13). Digitaalisaation avulla tehostettu toiminta on muodostumassa globaaleilla markkinoilla menestymiseen edellytykseksi. Uudet älykkäät, verkottuneet tuotteet ja palvelut vaativat kuitenkin yrityksiltä myös IoT-arkkitehtuurin mukaista monikerroksinen teknologiapinon (engl. technology stack) rakentamista, mikä puolestaan vaatii huomattavia investointeja ja osaamista. IIoT:in mahdollisuuksien realisoiminen edellyttää myös tuotantoprosessien hallittua avaamista internetin kautta sidosryhmille, jotka ovat aikaisemmin toimineet erillään tuotantoprosesseista. (Ahlqvist ym. 2015, s. 5–6)



Kuva 13. Teollisen internetin sovellukset tuotteista systeemipalveluihin ja niiden mahdollistamat hyödyt (Evans & Annunziata 2012)

Perinteiset monoliittiset, yhden laitteistotoimittajan hierarkkiset arkkitehtuurit eivät enää ole käyttökelpoisia IIoT-paradiman määrittelemässä toimintaympäristössä. IIoT-järjestelmien käyttöönoton myötä järjestelmäarkkitehtuurit tulevat sulauttamaan tuotantoteknologian (OT, engl. Operations Technology) tietotekniikan (IT, engl. Information Technology) kanssa. Tällöin järjestelmäarkkitehtuurit tulevat muuttumaan automaatiohierarkiaan matalammiksi ja informaatiivetoisiksi. Koska IIoT:in tulevat vaikutukset ovat vielä epävarmoja, tulee käytettävien IIoT-arkkitehtuurien olla joustavia ja kyetä integraatioihin vanhempien tuotantojärjestelmien kanssa. (Schneider Electric 2015, s. 7)

Teollisuudessa IIoT-ratkaisuiden laajan omaksumisen tiellä on vielä useita avoimia haasteita, joista suurimpia ovat: (Schneider Electric 2015, s. 5–6)

- Standardisaation kehittäminen laitteiden, tuotantokoneiden ja -välineiden väliseen löydettävyyteen ja viestintään, mukaan lukien tietoliikenneprotokollien lisäksi standardisoidun semantiikan ja mekanismien luonti.
- Kyberturvallisuuden lähtökohtainen suunnittelu tuotanto- ja automaatiojärjestelmien ja laitteiden “sisään” sekä teollisuuden kyberturvallisuusstandardien kehittäminen suoritettaviksi turvallisuussertifikaatiksi muiden turvallisuusstandardien tapaan.
- Työntekijöiden IIoT-järjestelmien käytössä tarvitsema osaaminen eroaa perinteisten automaatiojärjestelmien käytön vaatimista taidoista ja vanhojen työntekijöiden uudelleen koulutuksen tarpeet voivat olla huomattavia.

Turvallisuuden epävarmuustekijät ovat merkittävimpiä hidastimia IloT:in omaksumulle. Suuri osa teollisuuden tuotantojärjestelmien tietoliikenneverkoista toimii erillään yritysten muista verkoista, jolloin eristyneisyys antaa kohtuullisen suojan useita internetin tietoturvaaukia vastaan. IloT-järjestelmien käyttöönoton myötä tämä tuotantojärjestelmiä suojaava eristyneisyys kadotetaan. Teollisen tuotantoprosessien avaaminen potentiaaliselle häiriöille tai toimintakriittisten liikesalaisuuksien vuotaminen internetiin on niin suuri riski, että useat toimijat eivät näe IloT:in omaksumisen etujen olevan tarpeeksi vaikuttavia. Mielikuva eristyneisyyden suojasta ei kuitenkaan ole täysin totta: teollisuuden tuotantojärjestelmiin yleensä kiristystarkoituksessa tehtyjä tietomurtoja ei yleensä raportoida maineen ja tuotekuvan menetysten pelossa, jolloin yleinen mielikuva järjestelmien turvallisuudesta pysyy yllä. Teollisuuteen kohdistuvien kiristyshyökkäysten laajamittaisuudesta on esitetty tutkimustodisteita ja useita raportteja hyökkäyksistä on julkaistu, mikä vaikuttaa yleisiin mielikuviin ja tietoisuuteen haavoittuvaisuuksista. Teollisuudessa turvallisuuden näkökulmasta IloT-ratkaisuita tarkasteltaessa tulee myös ottaa huomioon, että OT-järjestelmät hankitaan yleensä noin 20 vuoden suunnitellun elinkaaren mukaan. IT- ja OT-järjestelmien yhdistämisessä tulee ottaa huomioon toiminnallinen turvallisuus, mitä ei IT-turvallisuuden luottamuksellisuuden, eheyden ja saatavuuden (CIA, engl. Confidentiality, Integrity, Availability) dogmissa ole huomioitu. Teollisuuden usein vaarallisissa tuotantoympäristöissä turvallisuus ja saatavuus tulevat ennen tietoturvan luottamuksellisuuden ja eheyden vaatimuksia. (Gilchrist 2016, s. 179–181, 184, 186)

IloT:in tarjoamien mahdollisuuksien realisoimiseksi yritysten tulee tehdä muutoksia kaikilla liiketoiminnan alueilla. IloT:in omaksumuksen ensimmäinen ja keskeisin ennakoedellytys on liiketoiminnan muutos saumattomaan toimintaan digitaalisessa maailmassa, mikä vaatii yleensä liiketoimintaprosessien, liiketoimintamallin ja asiakaskokemuksen muuttamista. Tämä edellyttää strategista uudelleenajattelua, teknistä tietoisuutta ja innovaatiota, mutta kaiken tulee perustua vahvaan tekniseen arkkitehtuuriin ja infrastruktuuriin, mikä edellyttää IloT-alustaa. IloT-alusta on vielä kypsytymättömä ja yhteentoimivuudessa ja tiedonjaossa on edelleen puutteita. Tällä hetkellä tämä on keskeinen tekninen haaste IloT:in omaksumuksen tiellä. (Gilchrist 2016, s. 229, 231, 243)

IloT:in hitaasta omaksumisesta huolimatta sen vaikutukset tulevat olemaan huomattavat. IloT-teknologioiden omaksumista tuotteissa ja tuotannon toiminnassa tulee muodostumaan kilpailussa mukana pysymisen ehdoksi. IloT-teknologioiden kypsyminen mahdollistaa niiden asteittaisen käyttöönoton, tietoverkkoihin liitettävien anturilaitteiden hinnat ovat nopeassa laskussa, avoimet IP-perustaiset tietoliikenneprotokollat ovat yleistymässä samoin kuin pilvipalvelutkin. (Schneider Electric 2015, s. 15) IloT on kuitenkin vielä kehityksensä alkuvaiheessa. Teollisuuden toimijat ovat empineet internetin omaksumista osaksi toimin-

taansa, osaksi sen vaikutusten ennalta arvaamattomuuden takia, osaksi uusiin teknologioihin liittyvien liiketoimintamallien tuntemattomuuden takia. (Gilchrist 2016, s. 3)

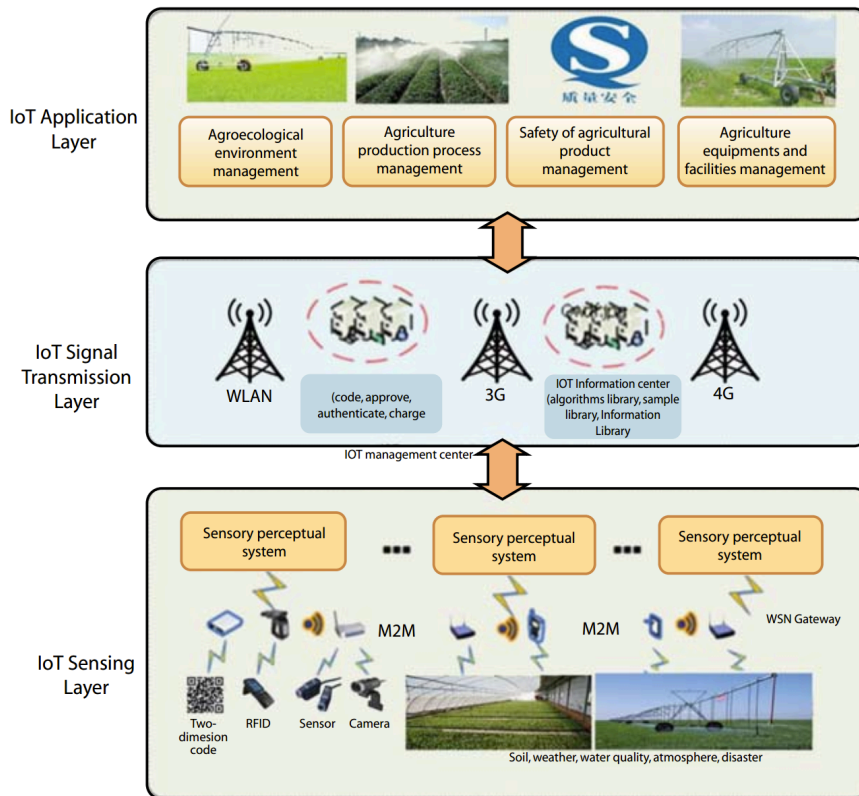
### **2.2.2 Agricultural Internet of Things**

Maatalouden ollessa yksi monista teollisuuden aloista sen IoT-sovelluksia voidaan tarkastella yhtenä IloT:in osana (ks. Gilchrist 2016, s. 2–4). Maatalouden IoT:in sovelluksista käytetään yleisesti lyhennettä AloT (engl. Agricultural Internet of Things).

Maatalous on yksi johtavista teollisuudenaloista IoT:in teknologia-aallon kehityksessä ja omaksunnassa. AloT-sovellukset ovat osoittaneet selkeää vaikuttavuutta ja potentiaalisia liiketoimintaetuja fyysisen ja virtuaalisen maailman yhdistyessä. (IoF2020 2018c) AloT:in uskotaan muuttavan maatalouden toimintaa voimakkaasti kohti IoT-paradigman mukaisen älykkäiden, verkottuneiden laitteiden järjestelmiä. Tämä puolestaan voi muuttaa ratkaisevasti koko ruokaketjun toimintaa lisäten tehokkuutta ja kestävyyttä. (Sundmaeker, Verdouw, Wolfert & Pérez-Freire 2016, s. 131) Pääsy tosiaikaiseen dataan, tosiaikaiset ennusteet ja fyysisten objektien seuranta yhdessä IoT:in kehityksen kanssa maatalousautomaatiossa ja autonomisesti toteutettavissa toiminnoissa tulevat muuttamaan myös yksittäisen maatilan hallinnointia ja toimintaa huomattavalla tavalla. (Wolfert, Ge, Verdouw & Bogaardt 2017) Maatalous on ollut IoT-innovaatioille erinomainen laboratorio, jossa antureiden ja älykkäiden, verkottuneiden laitteiden tuotantoprosesseihin sulauttaminen on edistänyt uusien viljelytekniikoiden ja toimintamallien kuten täsmäviljelyn kehitystä (IoF2020 2018c).

AloT-ratkaisuita voidaan käyttää muun muassa koneiden, eläinten ja varastojen tarkkailussa sekä muissa maatilan toiminnoissa. AloT-ratkaisuissa antureita voidaan lisätä datan keräämiseksi maaperään, veteen, ajoneuvoihin, työkoneisiin jne. Kerätty data voidaan tallentaa palvelimille tai pilvipalveluihin, joihin viljelijällä on pääsy internetin ylitse. Osassa AloT-ratkaisuita viljelijä voi myös vaikuttaa tilan toimintoihin etäohjauksella. (FAO 2017b) Yhdistyessään tällä hetkellä erillään kehittyvät ratkaisut kuten palvelut, prosessit, koneiden ohjausjärjestelmät ja telematiikan ratkaisut muodostavat AloT:in ekosysteemin. Tällöin automaation ja autonomian tason asteittainen nousu mahdollistuu aina täysin autonomisesti toimivien robottien tasolle. (Backman 2015, s. 4) Esimerkiksi Wu Yin, Jinna Zhang, Ming Xiao, Yanping Yu & YongHong He (2017) esittivät AloT-sovelluksien yleiskäyttöisen järjestelmän, jonka arkkitehtuurimallissa (kuva 14) yhdistyvät erilaiset maatalouden sekä tietoliikenne- ja anturiteknologioiden järjestelmät.





Kuva 14. AIoT:in arkkitehtuurimalli Wu Yin ym. (2017) mukaan

Tarkkailemalla tuotantoa AIoT-ratkaisuiden avulla voidaan saada parempi näkemys tuotannon resurssien käytöstä, satokasvien kasvusta ja ruoan prosessoinnista. Samalla voidaan saavuttaa parempi ymmärrys viljelyolosuhteista kuten säästä ja muista ympäristöoloista sekä tuohyönteisten, rikkakasvien ja kasvitautien ilmenemisistä, kasvattaen tietämystä sopivista viljelytoimista. AIoT-ratkaisuilla voidaan myös parantaa maatalon koneiden ohjausta sekä ruoan prosessoinnin ja logistiikan toimintaa aktuaattoreiden ja robotiikan avulla, esimerkiksi kasvinsuojeluaineiden ja lannoitteiden levittämisessä, automaattisessa mekaanisessa kitkennässä tai kuljetusolosuhteiden etähallinnassa. (Sundmaeker ym. 2016, s. 131–132)

AIoT:illä on selkeää potentiaalia kestävän maatalouden kehittämisessä. AIoT-ratkaisuilla voidaan pyrkiä vähentämään tuotantokustannuksia optimoimalla panosten ja kasteluvien käyttöä, välttämään kasvitauteja ja satotappioita sekä parantamaan viljelykasvien tarkkailua ja viljelynsuunnittelua. AIoT-ratkaisuiden avulla voidaan myös kasvattaa satoja tukemalla viljelytoiminnan päätöksentekoa tarkemman tiedon avulla. (FAO 2016, s. 7, 2017b; Lee 2017) Esimerkiksi mikroilmaston hallinnan avulla voidaan maksimoida hedelmien ja vihannesten tuotanto ja laatu. Viinitiloilla voidaan tarkkailla maaperän kosteutta ja köynnösten rungon paksuutta jolloin viljelijät voivat arvioida rypäleiden sokeripitoisuutta ja köynnösten terveydentilaa. (Tao ym. 2016, s. 29) Peltotuotannossa saksalaiset maatilat ovat raportoineet saavuttaneensa edistyneiden digitaalisten teknologioiden kuten auto-

maattiohjauksen käytön avulla aikaisempaa suurempia hehtaarikohtaisia satoja, samalla kun typpitasot ovat laskeneet huomattavasti. Tämän lisäksi kasvinsuojeluaineiden käyttöä on saatu vähennettyä 10 % ja dieselpolttoaineen käyttöä vastaavasti 20 %. (CEMA 2015; Ulrich 2016)

Tuotantokustannuksien vähentämisen ja satoisuuden parantamisen lisäksi AIoT-ratkaisut voivat auttaa viljelijöitä muuttamaan viljelytoimintaansa kokonaisuutta kohti datavetoista viljelyä, jota päätöksentekotyökalut tukevat ajankohtaisella ja tarkalla tiedolla. Tämän seurauksena maatilat voivat poiketa perinteisestä tuotanto-orientoituneesta, kustannushintavetoisesta ja anonyymistä lähestymistavasta kohti arvoperustaista ja informaatorikasta lähestymistapaa jossa kysyntä ja tarjonta on jatkuvasti kohdennettu toisiinsa. Lopulta maatilat ja elintarviketuotantoketjut voivat tulla itsemukautuviksi järjestelmiksi joissa älykkäät, itsenäiset objektit, mukaan lukien maataloustyökoneet, voivat toimia, päättää ja jopa oppia ilman paikan päällä tapahtuvaa tai etäisesti tehtävää ihmisen puuttumista. (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Ruoan tuotannon, prosessoinnin ja logistiikan etävalvonnalla voidaan myös parantaa ruoan turvallisuutta laadunvalvonnan ja jäljitettävyyden parantuessa. Tuotantoketjun etävalvonnan myötä AIoT-ratkaisut mahdollistavat virtualisoihiin ruokaketjuihin (ks. Verdouw, Wolfert, Beulens & Rialland 2015) perustuvia uusia liiketoimintamalleja kuten kysyntävetoisen viljelyn ja autonomisesti toimivia viljelytoiminteita. Tuotantoketjun etävalvonnan avulla voidaan myös lisätä kuluttajien tietoisuutta ruoan terveysvaikutuksista, tuotantotavoista ja niiden kestävydestä, minkä lisäksi tulee mahdolliseksi tarjota kuluttajille personaloituja ravintopalveluita. (Sundmaeker ym. 2016, s. 131–132, 148)

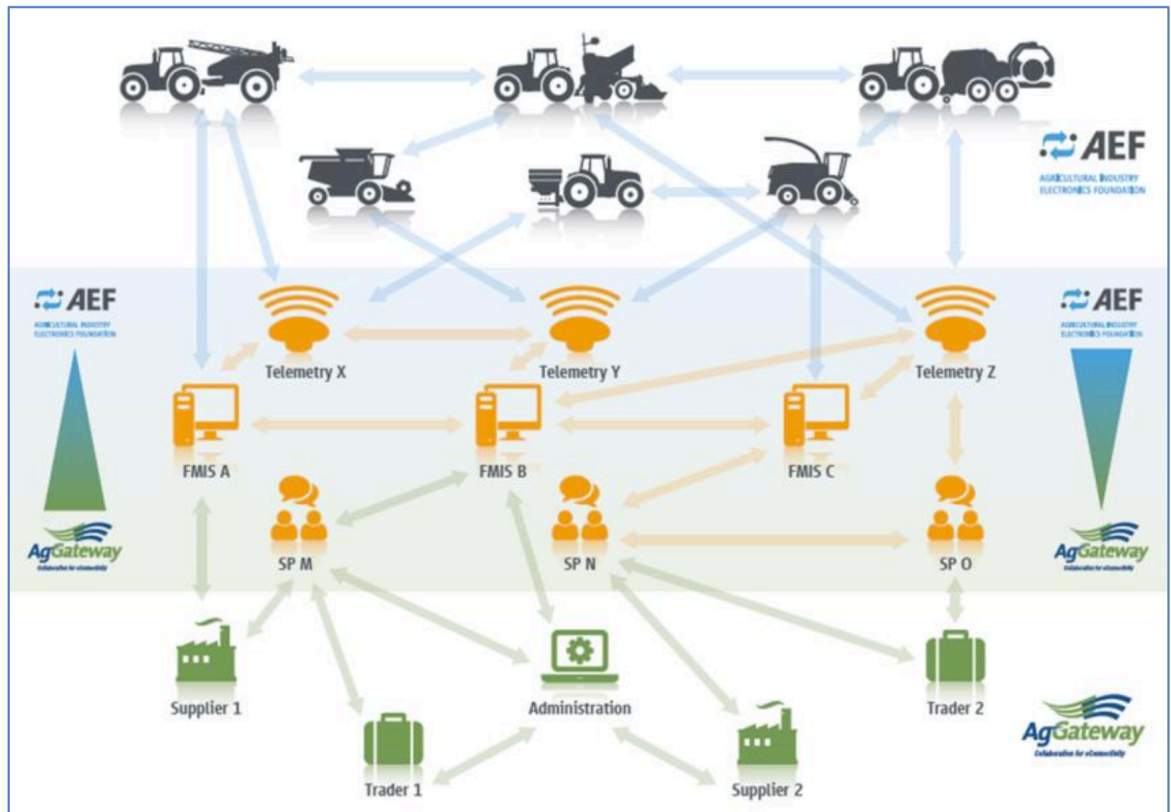
Kasvava määrä viljelijöitä on omaksumassa digitaalisia teknologiaratkaisuita ja datavetoisia innovaatioita. Digitaalisen yhteenliitettävyyden avulla älykkäät maatalouskoneet kykenevät paitsi optimoimaan tuotantoprosessien suoritusta automaattisesti, myös yhdistelemään optimointiin kolmansien osapuolien tuottamaa dataa kuten säätietoja. Lisäksi koneet pystyvät muun muassa ennakoivasti tilaamaan tarvittavia varaosia ja käsittelemään pilvipalveluna toimivaan maatilan tiedonhallintajärjestelmään (FMIS engl. Farm Management Information System) tallennettuja peltokohtaisia tietoja. (Ulrich 2016)

Osa vuoden 2017 Agritechnica-messuilla palkituista innovaatioista toimivat esimerkkeinä tällaisista ratkaisuista: **Fendt MARS System** (Mobile Agricultural Robot Swarms) on ensimmäinen maatalouden alalla tuotteistettu parvitekniikan sovellus, jossa suurten yksittäisten koneiden sijaan viljelytoimenpiteitä pelloilla suorittavat pienten peltorobottien parvet. **Fliegl COUNTER SX** puolestaan yhdistää Sigfox-verkkotekniikan, 3D-kiihtyvyyssantureiden GPS-paikannuksen tuotantoketjun ja logistiikan seurannan majakka-tekniikkaan. **Farmdok**:in älypuhelinsovellus automatisoi monia viljelytoimenpiteiden kir-

jauksia, joka mahdollistaa automaattisen tiedonkeruun ja tallennuksen pellolla ja tarjoaa myös data-analytiikan toimintoja. Pelloilla eläinten satokasveille aiheuttamien vahinkojen tarkkaan mittaukseen kehitetty **Smart Crop Damage Identification** käyttää UA-laitteilla tuotettua kuvantamisdataa helpottamaan ja tarkentamaan vahinkojen mittausta muun muassa vahinkoilmoituksia varten. Maatalouden data-alustapalvelu **Agrirouter** pyrkii yhdistämään ja jakamaan viljelytoiminnassa eri valmistajien järjestelmistä kerättyä dataa turvallisesti ja datan omistajuuden huomioiden. (Agritechnica 2017)

Uusia digitaalisia teknologioita on tullut markkinoille myös perinteisten maatalouden yritysten ulkopuolelta. IBM:n Watson-keinoälyä sovelletaan muun muassa perunan tautipaineiden arviointiin (Alexandersson 2018), Accenture tarjoaa massadatan analytiikkaa ja IoT-ratkaisuita soveltavia tietopalveluita ja mobiilisovelluksia viljelijöille (Accenture 2018) ja Microsoft on julkaissut FarmBeats-alustan maanviljelyn IoT-ratkaisuiden tiedonkäsittelyn kokonaisratkaisuksi (Microsoft 2015).

Uusien teknologioiden kuten IoT:in ja pilvipalveluiden odotetaan antavan vipuvoimaa myös niin sanotun Smart Farming:in kehitykselle, lisäten robotiikan ja keinoälyn käyttöä maataloudessa. (Pivoto ym. 2018; Wolfert ym. 2017) Näiden uusien teknologioiden avulla maatalouden kehityksessä voidaan edetä seuraavaan maatalouden "version", jossa AIoT tulee olemaan keskeisessä osassa. (CEMA 2017a; FAO 2017b; Kamilaris, Kartakoullis & Prenafeta-Boldú 2017) Keskeiset mahdollistajat tälle kehitykselle ovat anturi- ja tietoliikenneteknologioiden avulla kerättävät suuret datamäärät sekä edulliset, pienikokoiset prosessorit joiden avulla kerättyä dataa voidaan käyttää hyväksi koneiden kontrolloinnissa. (Ulrich 2016) Älykkäiden laitteiden lisäksi tietopalvelut, maatalouden järjestelmien ekosysteemit ja arvoketjun toimijoiden yhteistoiminta (ks. kuva 15) ovat uuden maatalouden osia. (CEMA 2017a) Koneiden ja järjestelmien yhteentoimivuus on keskeistä uuden maatalouden vision toteutumiseksi (CEMA 2017b).



Kuva 15. AEF:n ja AgGateway:n yhteistyön havainnekuva esimerkkinä maatalouden koneiden ja järjestelmien liitettävyyden monitahoisuudesta (CEMA 2017b)

Smart Farming, “Smart Agriculture” tai “digital farming” (ks. Pivoto ym. 2018, s. 22–23), on keskeisessä osassa pyrittäessä vastaamaan maataloustuotannon haasteisiin kuten tuotavuuden, ympäristöystävällisyyden, ruoan turvallisuuden ja tuotannon kestävyuden kehittämisen vaatimuksiin. Smart Farming perustuu älykkään teknologian kuten anturilaitteiden, aktuaattoreiden ja digitaalisen tiedonkäsittelyn ja tietoliikenneteknologioiden nousuun maataloudessa (CEMA 2017a). Monimutkaisia ja ennalta arvaamattomia maatalouden ekosysteemien toimintaa tulee ymmärtää ja analysoida aikaisempaa paremmin. Digitaalisen teknologiat kuten AIoT auttavat ymmärtämään näitä ekosysteemejä seuraamalla ja mittaamalla fyysisten ympäristöjen ominaisuuksia, tuottaen samalla suuria määriä dataa ennen näkemättömällä nopeudella. (Kamilaris, Kartakoullis & Prenafeta-Boldú 2017)

Samoin kuin IoT:in määrittelyissä, myös uuden maatalouden “version” nimityksessä on vaihtelevuutta: Maailmanpankin blogikirjoituksessa Lee (2017) käytti sivuillaan nimitystä Agriculture 2.0, toisten käyttäessä termiä Agriculture 3.0 (Balialisla 2017).CEMA (ransk. Comité Européen des groupements de constructeurs du machinisme agricole, <http://cema-agri.org>) vastaavasti käyttää uusimmasta kehitysvaiheesta nimityksiä Farming 4.0 ja Agriculture 4.0, joka vastaa teollisuuden Industry 4.0 -termiä ja tarkoittaa sisäisten ja ulkoisten viljelytoimintojen sekä niihin liittyvien toimintojen verkottumista. Tällä tarkoitetaan kaikkien viljelyprosessien ja -sektorien tuottaman tiedon sekä tuotantoketjun toimijoi-

den, tuottajien ja kuluttajien välisen viestinnän digitalisaatiota. Näiden lisäksi tiedon välitys, käsittely ja analyysi on suurilta osin automatisoitu. (CEMA 2017a; Ulrich 2016).

Huomattavista eduista ja kehityspotentialista huolimatta maatalouden digitaalinen kehitys on ollut ennustettua hitaampaa. (CEMA 2016; Ulrich 2016) Erityisesti kehittyvillä alueilla tietoliikenneyhteyksien puutteet asettavat haasteita AIoT-ratkaisuiden omaksunnalle, samoin kuin niiden usein korkeat hankintakustannukset. (Lee 2017) Lisäksi AIoT-ratkaisuissa kerätään usein heterogeenisistä datalähteistä valtavia määriä dataa, jonka tallentaminen, esikäsittely, mallinnus ja analyysi vaativat investointeja tallennuksen ja käsittelyn infrastruktuureihin, joiden tulee joissain sovelluksissa toimia lähes tosiaikaisesti. (Kamilaris, Kartakoullis & Prenafeta-Boldú 2017) Viljelyrobottien keskeisenä haasteena puolestaan on niiden toiminnan luotettavuus ja turvallisuus. Robottien päätöksentekojärjestelmiltä vaaditaan kykyä selviytyä myös poikkeustilanteista ja laitteiden vikaantumisista. Lisäksi viljelyrobotit sekä pienet mittausrobotit kuten UA-laitteet tarvitsevat ympärilleen infrastruktuuria, eivätkä ratkaisut ole vielä täysin kypsiä. (Backman 2015)

Todennäköisesti myös kasvintuotannossa tullaan ottamaan käyttöön muilla teollisuuden aloilla omaksuttuja IIoT-ratkaisuita, joissa kehittyneet verkkoratkaisut ja halventuneet anturit ovat osaltaan mahdollistaneet koneista mitatun datan hankinnan aikaisempaa suuremmassa mittakaavassa. Tästä datasta voidaan puolestaan jalostaa tietoa ja uuden tyyppisiä palveluita. Koneiden tietoliikenneverkkoihin kytkettävyyden myötä valmistajat voivat toteuttaa niille uusia toiminnallisuuksia tuotepilviin, erilleen itse fyysisistä laitteista. Maatalouden hajautetussa ja heterogeenisessä toimintaympäristössä AIoT-ratkaisuiden omaksunnan mahdolliset hyödyt voivat olla jopa suurempia kuin muilla teollisuuden aloilla. (Backman 2015, s. 3) IoT:in soveltaminen maatalouteen voi osaltaan edistää maaseutuyhteisön kehitystä aikaisempaakin asiantuntevammaksi, yhdistyneemmäksi, edistyneemmäksi ja sopeutumiskykyisemmäksi. Tulevina vuosina IoT voi myös olla tärkeä työkalu monille maatalouden järjestelmien kanssa toimiville sidosryhmille kuten tavaratoimittajille, viljelijöille, mekaniikoille, jälleenmyyjille, liiketoiminnan harjoittajille, kuluttajille ja valtiohallinnon edustajille. (Talavera ym. 2017) Kokonaisuudessaan maatalouden alalla on tiedonkäsittelyssä, tuotantoprosessien integroinnissa ja älykkäissä digitaalisissa ekosysteemeissä (SDE, engl. Smart Digital Ecosystem) vielä suuri määrä käyttämätöntä potentiaalia. (Ulrich 2016)

### **3 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE, RAJAUKSET, TUTKIMUSKYSYMYKSET JA -MENETELMÄT**

Tässä luvussa kuvaillaan opinnäytetyön tutkimuksen tarkoitus, tavoitteet, tutkimusongelma ja -kysymykset, menetelmät sekä menetelmien valintaperusteet. Opinnäytetyön aihepiirinä on IoT:in kasvintuotannon sovelluksiin liittyvät tutkimukset, julkaisut ja teknologia-sovellukset. Opinnäytetyössä on toteutettu narratiivinen kirjallisuuskatsaus sekä haastateltu asiaan perehtyneitä tutkijoita ja yritysten edustajia.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa ajankohtainen kartoittava katsaus (ks. Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, s. 134–135) kasvintuotannossa sovellettavien IoT-ratkaisuiden tilanteesta ja niiden tarjoamista mahdollisuuksista.

Opinnäytetyön tavoitteena on antaa lukijalle ajankohtainen yleiskuva kasvintuotannossa käytettävistä IoT:in teknologiasovelluksista ja niiden tutkimuksesta. Lisäksi opinnäytetyö voi aiheeseen tarkemmin tutustuttaessa toimia tiedonhaun lähtökohtana ja lähdeviitteiden kokoelmana esimerkiksi pohdittaessa jatkotutkimuksen aiheita ja tarpeellisuutta.

Opinnäytetyön keskeinen tutkimusongelma on kasvintuotannon IoT-ratkaisuiden yleinen tuntemattomuus alan toimijoiden ulkopuolella, minkä lisäksi aihetta sivuavia opinnäytetöitä on julkaistu vain muutamia. Pyrin vastaamaan tutkimuskysymykseen analysoimalla kuvailevan kirjallisuuskatsauksen ja asiantuntijoiden teemahaastattelujen avulla hankkimaani aineistoa. Käyttämällä tutkimusmenetelmänä sekä teemahaastatteluja että kirjallisuuskatsausta pyrin lisäämään ymmärrystä tutkittavasta ilmiöstä eri lähestymistapoja käyttäen.

Menetelmätriangulaatiota eli monimetodista lähestymistapaa voidaan käyttää tutkittavan ilmiön ymmärryksen lisäämiseen. Menetelmätriangulaatio eli useiden menetelmien käyttö on tällöin myös tutkimusstrateginen valinta. (Kananen 2010) Pyrin tukemaan laadullista menetelmää menetelmätriangulaation avulla, (Gubrium 2012, s. 284; ks. Hirsjärvi & Hurme 2015, s. 39) jonka toteutan käyttämällä haastatteluaineiston käsittelyssä sekä laadullista kuvailua että määrällistä menetelmää soveltavaa sisällönanalyysiä.

Opinnäytetyön aihealueeksi olen rajannut kasvintuotannon IoT-ratkaisut, minkä arvioin olevan yleisen elintarviketuotannon vaikuttavin alue. Opinnäytetyön laajuuden rajallisuuden takia en käsittele tässä opinnäytetyössä yksittäisiä teknologiaratkaisuita kuten verkoprotokollia, sensoriteknologioita tai data-analyysin menetelmiä, vaan keskityn kuvailemaan kasvintuotannon IoT-ratkaisuita yleisellä tasolla.

IoT-ratkaisuna olen tässä opinnäytetyössä lähtökohtaisesti pitänyt järjestelmää tai järjestelmien verkostoa, joka anturien automaattisesti tuottaman ja verkon yli siirretyn datan

analytiikan perusteella vaikuttaa ympäristöön automaattisesti, vaatién ihmisen suorittamia toiminteita vain minimaalisesti tai ei ollenkaan. Koska tällaisia ratkaisuita on markkinoilla tutkimuksen teon hetkellä ilmeisesti hyvin vähän, olen yleisen IoT:iä käsittelevän kirjallisuuden tapaan ottanut huomioon myös sellaiset ratkaisut, jotka voisivat olla edellä määritellyn IoT-järjestelmän aikaisempia kehitysvaiheita tai osaratkaisuita. Tästä kirjallisuudessa yleisin esimerkki ovat automaattisesti digitaalista mittausdataa tuottavat ja tallentavat järjestelmät, jotka eivät sisällä aktiivisten toiminnallisuuksia tai edistynyttä data-analytiikkaa.

### **3.1 Tutkimuskysymykset**

Tutkimuskysymyksiä on kaksi, joissa molemmissa on alakysymyksiä:

- 1 Millaista tutkimusta IoT-teknologioiden soveltamisesta kasvintuotantoon on julkaistu?
  - 1.1 Millaisia teknologiasovelluksia tutkimuksissa on esitelty?
  - 1.2 Minkä tyyppiset IoT-sovellukset tulevat tutkimusmateriaalissa selkeimmin esille, eli millaiset sovellukset ovat viime aikaisessa tutkimuksessa keskeisimpiä?
- 2 Miten kasvintuotannossa hyödynnetään IoT-teknologioita?
  - 2.1 Millainen IoT-ratkaisuiden yleistilanne kasvintuotannossa on tällä hetkellä?
  - 2.2 Millaisia etuja ja hyötyjä IoT-ratkaisut voivat tarjota kasvintuotannossa?
  - 2.3 Mitkä ovat kasvintuotannon IoT-ratkaisuiden keskeiset avoimet haasteet?

### **3.2 Tutkimusmenetelmien valinta**

Opinnäytetyön tutkimustehtävänä on koota yhteen laadulliseksi yhteenvedoksi tutkimusten tuloksia, erilaisten julkaisujen sisältöjä ja asiantuntijoiden näkemyksiä. Tämän takia olen käyttänyt opinnäytetyössä laadullisia tutkimusmenetelmiä.

Tutkimusmenetelmien valintaan on vaikuttanut voimakkaasti tutkimustehtävä ja tutkimuskysymysten asettelu. Opinnäytetyön tutkimustehtävä viittaa laadulliselle tutkimukselle ominaisiin kohteisiin kuten ilmiön kuvailuun, käsitteiden ja rakenteiden jäsentämiseen, haastateltavien kokemuksiin ja näkemyksiin sekä ylipäättään aineistolähtöiseen lähestymistapaan. Laadullisten eli kvalitatiivisten menetelmien valintaa puoltavat tutkimuskysymysten laadullinen luonne ja väljä asettelu. Samoin opinnäytetyön tutkimuskysymyksillä pyritään laadullisen tutkimuksen menetelmäsuuntauksen mukaisesti ymmärtämään kohteen laatua, ominaisuuksia ja merkityksiä kokonaisvaltaisesti (ks. Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, s. 160–161). Olen kerännyt opinnäytetyössä käsiteltävän aineiston narratiivisella kirjallisuuskatsauksella ja teemahaastatteluilta. Näin kerätty aineisto on laadullista,

tekstimuotoista ja sitä on tarkoitus analysoida lukemalla, mikä osaltaan puoltaa laadullisten menetelmien valintaa.

Kirjallisuuskatsauksen valintaa puoltavat tutkimuskysymysten asettamat vaatimukset kartoittaa ja vetää yhteen hajanaista teoretietoa, mihin Baumeister & Leary (1997, s. 311) mukaan kirjallisuuskatsaus on sopiva. Samoin Baumeister & Leary (1997, s. 312) esittämistä perusteluista kirjallisuuskatsauksen valinnalle sopii tässä tapauksessa kokonaiskuuvan rakentaminen tutkittavasta asiakokonaisuudesta. Saman suuntaisesti Salminen (2011, s. 4) antamista perusteluista kirjallisuuskatsauksen mahdollisuus koota yhteen tutkimuksien tuloksia uusien tutkimustulosten pohjaksi puoltaa kirjallisuuskatsauksen valintaa.

Teemahaastattelun valintaa puoltavat tutkimuskysymysten vaatimusten lisäksi useat yleisesti käytössä olevat tutkimushaastattelun valintaperusteet. Tässä tapauksessa keskeisiä perusteita ovat Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 35) esittämien perusteiden joukosta seuraavat:

- Haastattelulla voidaan hankkia tietoa vähän kartoitetusta alueesta, jolloin tutkijan on vaikea ennakoida vastausten suuntia.
- Haastatteluissa voidaan saada monitahoisesti ja moniin suuntiin viittaavia vastauksia.
- Haastatteluissa saaduille vastauksille voidaan pyytää selvennöksiä.
- Haastateltavaa voidaan pyytää syventämään antamaansa vastausta, esimerkiksi perustelevaan mielipidettään.

Samoin Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 79) kuvailevat haastattelun eduiksi joustavuutta kysymysten käsittelyssä, väärinymmärrysten selvittelyssä, ilmausten selventämisessä ja keskustelussa tiedonantajan kanssa.

Lisäksi teemahaastattelun valintaa puoltaa tässä tapauksessa se, että sen avulla haastateltavien oma erikoistumisalue ja näkemykset pääsevät esille, mikä on tärkeää tutkimuskysymyksiin vastaamisessa. Valitsin teemahaastattelun lomakehaastattelun sijaan ensisijaisesti sen joustavuuden perusteella. Tämä mahdollisti asiantuntijahaastattelujen tekemisen ilman tarkkaan määriteltyjä haastattelukysymyksiä, joiden laatimiseen olisi tarvittu todennäköisesti enemmän asiantuntemusta kasvintuotannon alalta kuin minulla on käytettävissäni. Toisaalta syvähaastattelu olisi antanut vielä enemmän joustoa, mutta haastattelutilanteet olisivat voineet olla vaikeasti hallittavissa kokemattomuuteni takia. Samoin haastatteluaineiston analysointi olisi voinut olla minulle huomattavasti vaikeampaa ilman etukäteen harkittuja teemoja.

Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 35–36) ovat esittäneet haastattelun haittoja menetelmänä, kuten:

- haastattelun tekemisen vaatima taito
- haastattelujen vaatima aika ja kustannukset



- haastatteluissa tehtävien virheiden mahdollisuus sekä
- haastatteluista saatu epärelevantin materiaalin määrä.

Katsoin haittojen tässä tapauksessa olevan haastattelumenetelmän tarjoamiin etuihin verrattuina pieniä, jos huomioin ne ja pyrin minimoimaan niiden vaikutukset. Tuomi & Sara-järvi (2018, s. 79) viittaavat samoihin ongelmiin, kertoen niiden olevan yleisen näkemyksen mukaan pääasiassa menetelmällisiä ja ratkaistavissa haastattelijoiden koulutuksella, rahoituksella jne. Tämän opinnäytetyön toteutukseen minulla oli käytettävissäni koulutuksena metodikirjallisuutta ja rahoituksena rajattu määrä opintolainastani, joten pyrin minimoimaan haittoja huolellisesti.

### **3.3 Kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä**

Kirjallisuuskatsauksella voidaan Baumeister & Leary (1997, s. 311) mukaan rakentaa siltaa kiireisen lukijan ja valtavan, hajallaan olevan teoratiedon välille. Katsauksella voidaan myös esittää tutkittavasta ilmiöstä laajempia teoreettisia johtopäätöksiä mitä yksittäisen empiirisen tutkimuksen puitteissa on mahdollista. Kirjassaan Mikä kirjallisuuskatsaus? Salminen (2011, s. 4, 39) kuvailee kirjallisuuskatsausta tutkimusmenetelmänä ja -tekniikkana, jonka avulla voidaan koota yhteen tutkimuksien tuloksia ja näin rakentaa perustaa uusille tutkimustuloksille. Kirjallisuuskatsauksella tehdään siis "tutkimusta tutkimuksesta". Hänen mukaansa tutkija voi kirjallisuuskatsauksen avulla laaja-alaisesti ja systemaattisesti kerätä erinomaista materiaalia oman alansa tutkimuksesta. Saman suuntaisesti Baumeister & Leary (1997, s. 312) mukaan narratiivinen kirjallisuuskatsaus on teoriakehityksen tekniikka, jota voidaan käyttää myös hypoteesien rakentamiseen. Heidän mukaansa narratiivista kirjallisuuskatsausta voidaan käyttää useiden eri aihepiirien tutkimusten linkittämiseen pyrittäessä joko tutkimusten uudelleentulkintaan tai yhteen liittämiseen.

Kirjallisuuskatsauksella on Hirsjärvi, Remes & Sajavaara (2009, s. 121) mukaan kaksi keskeistä tarkoitusta: Kirjallisuuskatsauksen tulee tuoda esiin, miten ja mistä näkökulmista tutkittavaa ilmiötä on tutkittu sekä miten tekeillä oleva tutkimus liittyy aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin. Kirjallisuuskatsauksen tekemiselle Salminen (2011, s. 3) esittää Baumeister & Leary (1997, s. 312) mukaisesti viisi eriteltyä perustelua: 1) kirjallisuuskatsauksella voidaan tavoitella kokonaan uuden teorian rakentamista tai olemassa olevan kehittämistä, 2) kirjallisuuskatsauksen avulla voidaan arvioida teoriaa tai 3) rakentaa kokonaiskuvaa tutkittavasta asiakokonaisuudesta, 4) pyrkiä tunnistamaan ongelmia ja 5) seurata tietyn teorian historiallista kehitystä.

Kirjallisuuskatsaus pitää tutkimusmenetelmänä sisällään useita eri tyyppisiä. Sen kolmena perustyyppinä pidetään Salminen (2011, s. 6) mukaan kuvailevaa ja systemaattista kirjal-

lisuuskatsausta sekä meta-analyysiä. Kirjallisuuskatsauksen tyyppien valintaan vaikuttavat tutkittava ilmiö, tutkimuskysymykset ja käytettävät aineistot. Onwuegbuzie & Frels (2016, s. 39) mukaan kirjallisuuskatsauksessa käsiteltäviä aineistoja voidaan laajentaa ja katsausta tukea multimodaalisilla eli monimuotoisilla aineistoilla kuten medialla, havainnoilla, blogiaineistolla, asiantuntijakeskusteluilla ja -haastatteluilla sekä toissijaisista tiedoista koostuvalla aineistolla.

### **3.4 Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä**

Tässä opinnäytetyössä käytetään kirjallisuuskatsauksen menetelmänä kuvailevaa kirjallisuuskatsausta. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen orientaatioksi on valittu narratiivinen kirjallisuuskatsaus. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on Salminen (2011, s. 6) mukaan yleisimmin käytettyjä kirjallisuuskatsauksen perustyyppisiä. Hän kuvailee sitä yleiskatsaukseksi, jolla ei ole tiukkoja ja tarkkoja sääntöjä, eivätkä tutkimuskysymykset ole yhtä tiukasti rajattuja kuin systemaattisessa katsauksessa tai meta-analyysissä. Samoin katsauksessa käytetyt aineistot voivat olla laajoja eivätkä metodiset säännöt rajaa niiden valintaa. Kuvaileva katsaus toimii itsenäisenä menetelmänä, joka voi Salmisen mukaan tarjota uusia tutkittavia ilmiöitä systemaattista kirjallisuuskatsausta varten.

Salminen (2011, s. 7) kuvailee narratiivista kirjallisuuskatsausta metodisesti kevyimmäksi kirjallisuuskatsauksen muodoksi. Katsauksen prosessin tarkoituksena on tiivistää katsaukseen valittuja tutkimuksia. Sen avulla voidaan tuottaa laaja-alainen kuvaus käsiteltävästä aiheesta tai kuvailla aiheen historiaa ja kehityskulkua. Narratiivinen katsaus voi myös auttaa ajantasaistamaan tutkimustietoa. Narratiivisen katsauksen analyysi on muodoltaan kuvaileva synteesi, jolla on ytimekäs ja johdonmukainen yhteenveto. Näin narratiivisella katsauksella voidaan järjestää epäyhtenäistä tietoa jatkuvaksi tapahtumaksi, pyrkien samalla helppolukaiseen lopputulokseen. Onwuegbuzie & Frels (2016, s. 23) mukaan narratiivinen kirjallisuuskatsaus vetää yhteen ja parhaimmillaan kritisoi tutkimuskohteena olevaa aihetta käsittelevää kirjallisuutta, mutta ei tarjoa laadullisten tai määrällisten tutkimustulosten integraatiota. Saman suuntaisesti Salminen (2011, s. 7) mukaan menetelmä ei tarjoa varsinaista analyttistä tulosta.

Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen neljä yleisintä tyyppiä ovat: teoreettinen, historiallinen, metodologinen ja yleinen. Näistä yleinen tyyppi on perinteinen, käsiteltävästä aiheesta uusinta kirjallisuutta käsittelevä ja keskeiset seikat esittelevä kirjoitus. (Onwuegbuzie & Frels 2016, s. 24) Tämän opinnäytetyön kirjallisuuskatsaus on yleisen tyyppin mukainen narratiivinen katsaus. Narratiivisella kirjallisuuskatsauksella on Salminen (2011, s. 7) mukaan mahdollista päätyä luonteeltaan kirjallisuuskatsausten mukaiseen synteesiin, vaikka metodin avulla hankittu tutkimusaineisto ei olekaan valittu erityisen systemaattisella taval-

la. Lisäksi narratiivisella katsauksella voidaan tuottaa kuvailevana tutkimustekniikkana ajantasaista tietoa, mitä muun tieteellisen kirjallisuuden avulla ei aina pystytä tuottamaan.

Siinä missä narratiiviset kirjallisuuskatsaukset voivat kuvailla laaja-alaisesti tutkimuskoh- teeseen liittyviä asiakokonaisuuksia, ne eivät yleensä tarjoa lukijoilleen selvitystä katsauk- sen laatijan tekemistä päätöksistä. Tämän lisäksi narratiiviset kirjallisuuskatsaukset eivät tarjoa tietoja käsitellyn kirjallisuuden hakuprosessista, kuinka monta tutkimusta valittiin käsiteltäviksi, millaisia valintakriteerejä käytettiin ja kuinka luotettavia tai päteviä käsitelty- jen tutkimusten tulokset ovat. (Onwuegbuzie & Frels 2016, s. 24)

### **3.5 Teemahaastattelu tutkimusmenetelmänä**

Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 43, 47–48) kuvailevat kirjassaan Tutkimushaastattelu: teema- haastattelun teoria ja käytäntö puolistrukturoitua haastattelumenetelmää, jota tekijät kut- suvat teemahaastatteluksi. Menetelmä pohjautuu Mertonin, Fiskin ja Kendallin kirjassa The Focused Interview kuvailtuun kohdennetun haastattelun (engl. the focused interview) menetelmään. Yleensä tutkimushaastattelujen menetelmät eroavat strukturointiasteen perusteella, eli kysymysten muotoilun sekä haastattelutilanteen jäsentelyn kiinteyden mu- kaan. Teemahaastattelu asettuu strukturointiasteeltaan lomakehaastattelun ja strukturoi- mattoman haastattelun väliin. Tuomi & Sarajärvi (2018) puolestaan asettavat teemahaas- tattelun samaan väliin, mutta lähemmäs strukturoimatonta haastattelua eli syvähaastatte- lua.

Teemahaastattelussa menetelmän keskeinen piirre on haastattelun eteneminen yksityis- kohtaisten kysymysten sijaan tiettyjen keskeisten aihepiirien eli teemojen varassa. Tällöin haastattelun keskeiset aihepiirit ovat kaikille haastateltaville samat, mutta haastatteluky- symysten sanamuoto ja järjestys voivat vaihdella. Tällä menetelmällä kerätty aineiston on yleensä runsas vaikka haastateltavien määrä olisi ollut pienehkö. (Hirsjärvi & Hurme 2015, s. 47–48, 135).

Teemahaastattelun toteutukset voivat Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 81) mukaan vaihdella tutkimusten välillä huomattavasti. Käsiteltävät teemat perustuvat tutkimuksen viitekehyk- seen, mutta haastattelujen yhdenmukaisuuden vaateen aste vaihtelee tutkimuksesta toi- seen. Tutkija voi valita pitääkö kaikille haastateltaville esittää kaikki suunnitellut kysymyk- set, voiko kysymysten järjestys vaihdella, tuleeko kysymysten sanamuotojen olla jokai- sessa haastattelussa samat jne. Teemahaastatteluiden toteutukset voivat vaihdella struk- turoidusti etenevästä lähes syvähaastattelun tyyppiseen haastatteluun. Samoin teemojen sisältämien kysymysten pitäytyminen tutkimuksen viitekehyksessä esitettyyn vaihtelee tiukasti etukäteen tiedetyissä kysymyksissä pitäytymisestä aina intuitiiviseen kokemuspe- räisten havaintojen sallimiseen.

### 3.6 Sisällönanalyysi tutkimusmenetelmänä

Sisällönanalyysiä voidaan käyttää kaikissa laadullisen tutkimuksen perinteissä ja sen avulla voidaan tehdä monenlaista tutkimusta. Sillä voidaan analysoida aineistoa järjestelmällisesti ja objektiivisesti ja sillä pyritään saamaan tiivistetty ja yleinen kuvaus tutkimuksen aiheesta. Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 103, 117) mukaan periaatteessa useimmat laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmät perustuvat jollain tavalla sisällönanalyysiin, jos sillä tarkoitetaan väljässä teoreettisessa kehyksessä tehtävää kirjoitettujen, kuultujen tai nähtyjien sisältöjen analyysiä. Heidän mukaansa sisällönanalyysiä ei voi tästä näkökulmasta katsottuna pitää pelkästään laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmänä. Artikkelissaan Simsalabim, sisällönanalyysi ja koodaamisen haasteet Salo (2015) kuvailee samoin sisällönanalyysin keskeiseksi ideaksi suurien tekstimassojen tiivistämisen ja luokittelun aineistoon rakennettuja koodaamisen sääntöjä seuraamalla. Luokitellun aineiston käsittely numeerisen tiedon tapaan on tavallista, mutta menetelmää kritisoidaan laadullisen aineiston analysoinnista määrällisellä menetelmällä. Lisäksi tutkimuksissa tehty luokittelu on suoraviivaista ja yleensä vain sanojen toistumistiheyden laskemista. Salo kritisoi Tuomi & Sarajärvi (2018) näkemystä sisällönanalyysistä teoreettisena kehyksenä eikä sisällönanalyysi hänen mukaansa ole käyttökelpoinen analyysin perustaksi.

Käytän tässä opinnäytetyössä sisällönanalyysiä ja sisällönerittelyä kuvailevan yhteenvedon tukena juuri sen yksinkertaisimmassa ja suoraviivaisimmassa muodossa, enkä näe että Salon tarkoittamalle hienovaraisemmalle ja syvällisemmälle analyysille olisi tässä tapauksessa tarvetta.

Sisällönanalyysi, samoin kuin temaattinen analyysi, kuuluu laadullisen tutkimuksen ryhmään jonka analyysimuotoja eivät lähtökohtaisesti ohjaa jokin teoria tai epistemologia, mutta joihin voidaan soveltaa monenlaisia teoreettisia tai epistemologisia lähtökohtia suhteellisen vapaasti. Toiseen laadullisen tutkimuksen ryhmään kuuluvat analyysimuodot joita ohjaavat tietty teoria tai epistemologinen lähtökohta, kuten aineistolähtöinen teoria (ankkuroitu teoria, engl. grounded theory) ja fenomenologinen analyysi. (Tuomi & Sarajärvi 2018, s. 103)

Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 104–107) kuvaavat sisällönanalyysin toteuttamista Timo Lai-  
neen esittämän laadullisen tutkimuksen analyysin rungon mukaisesti: ensin tehdään päätös siitä mitä tutkitaan, sitten kerätään päätöksen mukaiset asiat aineistosta, luokitellaan saatu aineisto ja lopuksi kirjoitetaan yhteenvedo. Keräämisestä käytetään metodikirjallisuudessa nimitystä aineiston litterointi tai koodaaminen. Pelkkää aineiston luokittelua ei ole mielekäästä esittää ilman raportoitua yhteenvedoa. Luokittelua pidetään sisällön teemoin toteutettuna kvantitatiivisena analyysinä ja yksinkertaisimpana aineiston järjestämisen muotona. Luokiteltu aineisto voidaan esittää taulukkona ja aineiston luokittelusta voi-

daan alkeellisimmillaan tarkistaa, montako kertaa jokainen luokka esiintyy aineistossa. Teemoittelu on periaatteessa luokituksen kaltaista, mutta painottuen kustakin teemasta sanotun sisältöön. Sisällönanalyysissä on Tuomin mukaan kaikkiaan kyse laadullisen aineiston pilkkomisesta ja ryhmittelystä erilaisten aihepiirien mukaan, mikä mahdollistaa tiettyjen teemojen esiintymisen vertailun aineistossa.

Sisällönanalyysissä voidaan käyttää Valli (2018, s. 212) Eskolan esittämää analyysimuotojen jaottelua eli aineistolähtöistä, teoriaohjaavaa ja teorialähtöistä analyysiä. Tämä analyysimuotojen jaottelu mahdollistaa analyysin tekoa ohjaavien tekijöiden huomioimisen paremmin kuin jaottelu induktiiviseen ja deduktiiviseen analyysiin. En käsittele tässä aluvussa teorialähtöistä analyysiä, koska se ei ole tälle opinnäytetyölle relevantti. Aineistolähtöisessä analyysissä teoreettinen kokonaisuus pyritään luomaan valitsemalla tutkimusaineistosta analyysiyksiköt tutkimuksen tarkoituksen ja tehtävänasettelun mukaisesti. Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 107–109) mukaan on keskeistä, että analyysiyksiköitä ei ole asetettu tai harkittu etukäteen. Etukäteen aseteltu ei ole aineistolähtöisyydestä johtuen mahdollista, samoin kuin ei voida etukäteen määrittellä millaisia luokkia aineistosta voidaan muodostaa. Se selviää vasta analyysin edetessä. Periaatteessa aineistolähtöisessä analyysissä tutkimuksen metodologiset sitoumukset ohjaavat analyysiä. Analyysin oletetaan olevan aineistolähtöistä, jolloin toteutuksella ja lopputuloksella ei tulisi olla yhteyttä aikaisempiin tietoihin kuten havaintoihin ja teorioihin. Tämä yhteys on kuitenkin yleisesti katsottu olevan olemassa ja sen takia aineistolähtöinen tutkimus on erittäin vaikea toteuttaa. Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 127) mukaan ei ole olemassa objektiivisiä, ”puhtaita” havaintoja sinällään, vaan tuloksiin vaikuttavat aina muun muassa tutkijan asettamat tutkimusasetelmat, menetelmät ja käsitteet. Tämä ongelma on erityisen vaikea aineistolähtöisessä tutkimuksessa, jossa tutkijan tulisi pystyä kontrolloimaan omien ennakkoluulojensa vaikutus ja varmistaa, että analyysi tapahtuu tiedonantajien ehdoilla.

Teoriaohjaavassa analyysissä puolestaan teoriaa voidaan käyttää analyysin apuna, mutta analyysiä ei tehdä suoraan teorian pohjalta. Analyysiyksiköt valitaan aineistosta käyttäen apuna aikaisempaa tietoa, joka voi ohjata tai auttaa analyysin kulkua. Analyysissä on ylipäätään tunnistettavissa aikaisemman tiedon vaikutus, joka on uusia ajatusuria avaava teorioita testaavan sijaan. Teoriaohjaava analyysi etenee alussa aineistolähtöisesti ja siirtyy loppuvaiheessa käyttämään aineistosta havaittua teoriaa analyysin ohjaamiseen. Analyysissä päättelyn logiikka on usein abduktiivinen ja ajatteluprosessissaan tutkija vaihtelee aineistolähtöisyyttä ja valmiita malleja, joita hän pyrkii yhdistelemään eri tavoilla. (Tuomi & Sarajärvi 2018, s. 109–110)

Aineiston pelkistämisen analyysimallissa edetään tunnistamalla asiat, joista tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita ja pelkistetään näitä asioita ilmaisevia lauseita yksittäisiksi ilmaisuiksi

(reduointi). Seuraavaksi samaa kuvaavat ilmaisut luokitellaan samaan alaluokkaan (klusterointi) ja luokka nimetään sen sisältöä kuvaavasti. Tutkijan tulkinnasta riippuu, millä perusteella ilmaisut kuuluvat samaan luokkaan. Analyysiä jatketaan luokittelemalla samansisältöisiä alaluokkia yläluokkiin, jotka nimetään sisältöä kuvaavasti samoin kuin alaluokat. Aineistosta riippuen voidaan yläluokkia vielä luokitella pääluokkiin (abstrahointi). Lopulta kaikki luokat yhdistetään niitä kuvaavaan luokkaan ja luokkien avulla vastataan tutkimustehtävään. Kaikkiaan siis käsitteitä yhdistämällä voidaan saada vastaus tutkimustehtävään ja analyysimallin avulla pyritään tulkintaprosessin systematisointiin sekä tulkinnan mielivaltaisuuden välttämiseen. (Tuomi & Sarajärvi 2018, s. 114–116)

## 4 AINEISTO JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tässä luvussa kuvaillaan aineiston hankinnassa ja tutkimuksessa käytetyt menetelmät. Kuvailevasta kirjallisuuskatsauksesta kuvaillaan lyhyesti sen alustava työvaihe ja toteutus, aineiston haku, haussa käytettyjen asiasanojen valintaperusteet ja aineiston valinta. Asiantuntijoiden teemahaastatteluista kuvaillaan lyhyesti, miten teemahaastattelun yleisiä käytänteitä on sovellettu, haastateltavien valinnan perusteet, haastattelujen toteutus järjestelyineen, haastatteluaineiston analyysimenetelmä ja johtopäätösten perustelut.

Kuvailen tässä luvussa aineiston hakua ja valintaperusteita keskeisiltä osin, vaikka Onwuegbuzie & Frels (2016, s. 24) mukaan narratiivisissa kirjallisuuskatsauksissa ei kuvailla aineiston hakuprosessia, käsiteltyjen tutkimusten määrää, valintakriteerejä jne. (ks. 3.4 ”Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä”). Pyrin tällä helpottamaan kiinnostuneen lukijan omaa tiedonhakuja ja katsauksen arviointia. Lisäksi pyrin parantamaan katsauksen hyödyllisyyttä myös tulevaisuudessa, koska uutta kirjallisuutta julkaistaan aiheesta jatkuvasti.

### 4.1 Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen toteutus

Kirjallisuuskatsauksen aineiston keruumenetelmiä oli useita. Ennen kirjallisuuskatsauksen tekemistä tutustuin tutkittavaan ilmiöön alustavien aineistohakujen avulla, selaamalla erilaisten organisaatioiden ja julkaisujen verkkosivuja, keräämällä mahdollisten tiedonantajien kontakteja, käyden asiantuntijakeskusteluja, vieraillemalla alan tapahtumissa ja haastatteluja tehden. Kirjallisuuskatsauksen aluksi hain IoT:iä yleistasolla ja ilmiönä käsittelevää kirjallisuutta. Seuraavaksi hain kasvintuotannon ja maatalouden IoT-sovelluksia käsitteleviä kirjallisuuskatsauksia. Valittujen kirjallisuuskatsausten pohjalta muotoilin käyttämäni hakumenetelmät ja valitsin osan lähteistä. Hakujen tuloksista valitsin oman harkintani mukaan tutkittavaa ilmiötä parhaiten kuvaavat ja opinnäytetyöhön sopivat lähteet.

Tutkimuksen alustavassa tutustumisvaiheessa merkitsin tekemäni löydöt muistiin mahdollista myöhempää käyttöä varten ja olen käyttänyt alustavassa vaiheessa löydettyjä aineistoja myös kirjallisuuskatsauksessa jos ne ovat oman harkintani mukaan olleet tähdellisiä aiheen käsittelylle ja ymmärryksen luomiselle. Valitsin alustavien hakujen avulla löytämistäni julkaisuista harkinnanvaraisesti joukon keskeisimpiä asiasanoja. Yhdistin nämä asiasanat löytämieni kirjallisuuskatsausten hakulauseissa käytettyihin tutkimusaiheelle keskeisiin asiasanoihin. Tutkimus- ja hakumenetelmien malleina käytin löytämieni keskeisten kirjallisuuskatsausten menetelmiä. Asetin haettavan aineiston aikaisimmaksi julkaisuvuodeksi vuoden 2010 kirjallisuuskatsausten ja alustavien hakujen tulosten perusteella, koska sitä ennen aiheesta julkaistua kirjallisuutta löytyy verrattain vähän ja nopean teknologiakehityksen myötä aikaisemmat julkaisut ovat todennäköisesti vanhentuneet.

Käytin eri tietokantoihin tehdyissä hauissa kunkin kannan hakutoimintoihin sovellettuja hakulauseita. Usein tämä tarkoitti hakulauseiden lyhentämistä tietokantojen hakutoimintojen sallimiin hakusanamääriin sopiviksi. Sain hakujen tuloksena joukon erilaisia julkaisuja, joista valitsin aihetta käsittelevät kirjallisuuskatsaukset. Samoin kuin alustavien hakujen vaiheessa, kävin kirjallisuuskatsauksista läpi tuloksien lisäksi tutkimusmenetelmät. Käytin näitä menetelmiä soveltuvien osin hyväksi seuraavissa aineistohaun vaiheissa. Tällä pyrin varmistamaan, että katsauksissa selkeästi havaitut asiakokonaisuudet tulevat huomioon, hakumenetelmät ja asiasanat ovat laadukkaita sekä tutkittavalle ilmiölle sopivia. Lopuksi valitsin harkinnanvaraisesti tietokantahakujen ja muiden aineiston hankinnan menetelmien avulla löydetyistä aineistosta aihetta parhaiten kuvailevat julkaisut. Painotin valinnassa tunnettujen ja aihetta laajasti julkaisuissaan käsitelleiden tutkijoiden töitä sekä laadukkaiksi katsomiani julkaisuja. Lopulta päädyin jättämään käsittelemättä osan löytämästäni aineistosta niiden päällekkäisyyden, vähäisen uuden tiedon ja opinnäytetyön rajallisen laajuuden takia.

Tein alustavia aineistohakuja Google-haulla (<https://google.com>) ja Google Scholar -haulla (<https://scholar.google.fi>) sekä ResearchGaten (<https://www.researchgate.net>) haku- ja suositustoimintojen avulla. Haaga-Helian kirjaston tarjoamista tietokannoista alustavia hakuja tein seuraaviin:

- Passport Global Market (<http://go.euromonitor.com/passport>)
- Doria (<http://www.doria.fi>)
- Elsevier ScienceDirect Freedom Collection (<https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect>)
- EBSCO Academic Search Elite (<https://www.ebsco.com/products/research-databases/academic-search-elite>)
- Sage Premier SAGE Journals Online (<https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/sage-premier>)
- IEEE Xplore Electronic Library (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>)

Valitsin varsinaiseen hakuun Haaga-Helian kirjaston tarjoamista tietokannoista ne, joista oletin löytyvän IT-alan julkaisuja, koska lähestyn tutkittava ilmiötä teknologian ja tietotekniikan näkökulmasta (ks. alla). Lisäksi maatalouden alakohtaisia tietokantoja ei ollut käytävissä.

- Aaltodoc (<https://aaltodoc.aalto.fi>)
- EBSCO Academic Search Elite (<https://www.ebsco.com/products/research-databases/academic-search-elite>)
- ACM Digital Library
- ProQuest Business Premium
- Dart
- Passport Global Market (<http://go.euromonitor.com/passport>)
- Sage Premier SAGE Journals Online (<https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/sage-premier>)
- Theseus (<http://www.theseus.fi>)
- Elsevier ScienceDirect Freedom Collection (<https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect>)



– IEEE Xplore Electronic Library (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>)

Näiden lisäksi käytin Google Scholar -hakukonetta ja ResearchGate-tutkimusportaalia. Muodostin hakulauseet kahdesta hakusanojen ryhmästä, joista ensimmäiseen valitsin IoT:lle keskeiset asiasanat ja toiseen ryhmään valitsin kasvintuotannolle ja maataloudelle keskeiset asiasanat. Käytin ryhmien välillä AND-operaattoria ja ryhmien sisällä OR-operaattoria hakusanojen välillä. Julkaisuajan rajauksen asetin vuoden 2010 aikana ja sen jälkeen julkaistuihin hakutuloksiin.

Kokosin alustavissa aineistohauissa löytämieni aineistojen asiasanojen sekä löytämieni kirjallisuuskatsausten käyttämien hakusanojen joukosta tutkittavalle ilmiölle keskeisimmät hakusanat. Käytin hakusanojen valinnassa vain englanninkielisiä sanoja, koska arvelin suomenkielisten aineistojen käyttävän sekä suomen- että englanninkielisiä asiasanoja ja löytyvän englanninkielisten hakusanojen avulla. Jätin pois ne asiasanat, jotka eivät selkeästi liittyneet kasvintuotannon IoT:in tutkimukseen ja teknologiaratkaisuihin. Lopuksi muodostin valikoimistani asiasanoista hakulauseen, jonka hakusanat jaoin IoT:in ja kasvintuotannon ryhmiin (ks. liite 2).

Muokkasin hakulauseita kunkin tietokannan hakutoimintojen mahdollisuuksien puitteissa. Useiden tietokantojen hakutoiminnot rajoittivat hakulauseissa käytettävien hakusanojen määrää. Tällöin jätin pois harkinnanvaraisesti vähemmän merkittäviä hakusanoja maataloutta kuvaavan toisen hakusanaryhmän hakusanoista ja/tai jaoin hakulauseen useampaan hakuun. Lisäksi vertailin keskenään erilaisten hakulauseiden antamia hakutuloksia, jonka jälkeen tarvittaessa muotoilin käytettävälle tietokannalle parhaiten tuloksia antavan hakulauseen. Tietokantahakujen lisäksi keräsin aineistoa tietokantojen suosittelemien julkaisujen joukosta. Esimerkiksi ResearchGaten “Suggested for you” sekä IEEE Xplorein “Related Articles” -toiminnot ehdottivat useita lähteiksi valitsemiani julkaisuja.

Narratiivisen kirjallisuuskatsausten aineiston valinnassa ei noudateta systemaattista valintaa, vaan tekijä päättää harkinnanvaraisesti käsiteltävän aineiston mukaan ottamisesta tai hylkäämisestä. Pyrin tässä kirjallisuuskatsauksessa kattamaan mahdollisimman laajan aineiston opinnäytetyön asettamissa rajoissa. Tämän takia valitsin katsaukseen niin sanotun sateenvarjokatsauksen tapaan ensisijaisesti aiheesta tehtyjä kirjallisuuskatsauksia. Valitsemieni kirjallisuuskatsausten avulla pyrin tekemään yhteenvedon mahdollisimman suuresta otannasta laadukkaiksi arvioituja tutkimuksia.

## **4.2 Teemahaastattelujen toteutus**

Kokonaisuutena pyrin teemahaastatteluissa tuomaan esille AIoT:in erilaisia ilmentymiä mahdollisimman laaja-alaisesti. Yksittäisissä teemahaastatteluissa pyrin syventymään

kunkin haastateltavan asiantuntijan erikoisalaan ja kokemuksiin. Tämän takia pidin teemahaastattelujen kysymykset avoimina ja käsittelin kutakin teemaa haastateltavan asiantuntemuksen mukaan. Oman arvioni mukaan teemahaastattelu sopii menetelmänä luontevasti tässä opinnäytetyössä tehtyihin asiantuntijahaastatteluihin, koska teemahaastattelun rakenne ei ole rajattu tiettyihin ennalta määriteltyihin kysymyksiin vaan nojautuu haastatteluille asetettuihin teemoihin. Teemahaastattelun eteneminen tapahtuu näiden keskeisten teemojen varassa ja haastattelun aihepiirit ovat kaikille haastateltaville samat. (Hirsjärvi & Hurme 2015, s. 47–48) Tämä mahdollistaa joustavasti kunkin haastateltavan oman asiantuntemusalueen käsittelyn.

Hirsjärven ja Hurmeen esittämän joustavuusperiaatteen mukaisesti teema-alueiden etukäteen hahmottelulla pyrittiin sekä “turvaamaan tarvittavan tiedon saanti” että antamaan harkinnan varaa yksittäisissä haastatteluissa käsiteltäviin ilmiöihin (Hirsjärvi & Hurme 2015). Saman kaltaisesti Kananen (2010, s. 56) mukaan haastattelutilanteissa voi ilmetä ennalta arvaamattomia polkuja, joita haastattelijan tulisi voida joustavasti seurata niiden ilmetessä. Kuvailun kaltainen joustavuus mahdollisti tässä tapauksessa teemojen ja haastattelukysymysten harkinnanvaraisen täsmentämisen aikaisemmista haastatteluista saatujen kokemusten perusteella. Eräs laadullisen tutkimuksen ominaispiirteistä on tutkimusmenetelmällisten ratkaisuiden täsmentyminen tutkimuksen edetessä (Valli 2018, s. 73).

Teemahaastatteluja tulisi yleisesti tehdä syvällisemmän tiedon hankkimiseksi useita kierroksia, mutta opinnäytetyön rajatun työmäärän ja ajan puitteissa päädyin tekemään vain yhden haastattelukierroksen. Pyrin parantamaan haastatteluista saatujen tietojen luotettavuutta hyväksyttämällä haastatteluista tehdyt johtopäätökset muistiinpanoineen haastateltavilla.

#### **4.2.1 Haastateltavien valinta**

Haastateltavien määrää rajoitti käytettävissä olevat resurssit ja aika. Opinnäytetyön laajuuden ollessa rajattu, päädyin viiteen haastateltavaan mikä on mielestäni pieni määrä ottaen huomioon ilmiön monitahoisuuden. Toisaalta Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 59) mukaan laadullisessa tutkimuksessa jo muutaman haastateltavan avulla voidaan saada merkittävää tietoa. Etenin haastateltavien valinnassa aluksi keräämällä kontakteja ja keskustelemalla asiantuntijoiden kanssa erilaisissa tapahtumissa. Pyrin samalla hankkimaan uusia kontakteja Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 59) sekä Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 99) kuvailevan lumipallomenetelmän tavoin.

Valikoin haastateltaviksi AIoT:hen perehtyneitä asiantuntijoita, jotka tulivat esille aiheeseen liittyvistä julkaisuista, tapasin tapahtumissa tai joita muut asiantuntijat suosittelivat

minulle haastateltaviksi. Haastattelujen toteutumiseen ja tätä kautta haastateltavien valikoitumiseen vaikutti myös suurelta osin haastateltavien mahdollisuudet antaa aikaansa haastattelulle. En saanut useita lupaavia kontakteja haastateltaviksi alustavien keskustelujen jälkeen enkä saanut useilta kontakteilta vastauksia haastattelupyyntöihin. Haastateltaviksi olisi ollut hyvä saada valittujen asiantuntijoiden lisäksi kasvihuone- ja puutarhatuotantoon erikoistuneita asiantuntijoita sekä viljelijöitä kasvihuone-, puutarha- ja peltotuotannon aloilta. Tämä ei kuitenkaan toteutunut ja jätän nämä haastattelut jatkotutkimuksen aiheeksi.

#### **4.2.2 Haastattelujen toteutukset**

Laadin haastattelujen teemat alustavilla hauilla kerätyn aineiston ja alustavien keskustelujen perusteella. Pidin huolta kaikkien teemojen käsittelystä kaikissa haastatteluissa, mutta poiketen yleisistä teemahaastattelujen menetelmäohjeista muotoilin ennen haastatteluja harkinnanvaraisesti haastatteluiden teemojen järjestystä ja sanamuotoja. Perusteena tälle on se, että tämän työn asiantuntijahaastatteluissa ei ole tarpeellista tutkia haastateltavien reaktioita tietyssä järjestyksessä esille otettuihin teemoihin. Lisäksi tein teemojen hienosäätöä kunkin haastateltavan asiantuntijan erikoistumisen mukaan, ottaen huomioon aikaisemmista haastatteluista saamani kokemukset ja taustatyöstä saamani tiedot. Haastattelutilanteessa järjestelin teemoja vielä uudelleen myötäillen haastattelun kulkua mutta varmistamalla kaikkien suunniteltujen teemojen käsittelyn.

Toteutin haastattelut 8.11.2017 - 11.4.2018 välisenä aikana. Haastateltavat saivat itse valita haastattelulle sopivan paikan ja ajankohdan, mitkä olivat kolmessa tapauksessa työaikaan arkipäivisin haastateltavien työpaikoilla. Yksi haastattelu tehtiin haastateltavan maatilalla ja yksi puhelimitse. Äänitin kaikki haastattelut haastateltavien suostumuksella ja kirjoitin äänitteistä litteroinnit. Käytin haastattelujen litteroinnissa yleiskielistä litterointia. Käytin yleiskielistä litterointia tarkempaa sanatarkkaa litterointia tarvittaessa, jos arvioin yleiskielisen litteroinnin mahdollisesti muuttavan haastateltavan sanojen tarkoitusta.

#### **4.2.3 Haastatteluaineiston analyysimenetelmä**

Koska opinnäytetyön tutkimusongelma on laadullinen, valitsin haastatteluaineiston analyysimenetelmäksi sisällönanalyysin. Pyrin sisällönanalyysillä systemaattisesti tuomaan aineistosta esille aineiston laadullisia ominaisuuksia järjestelemällä ja kuvailemalla aineistoa. Analyysin keskeinen tehtävä on löytää tutkittavaa ilmiötä kuvailevia väittämiä, joilla voidaan vastata opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin.

## *Haastatteluaineiston analyysi sisällönanalyysin menetelmillä*

Haastatteluaineiston sisällönanalyysillä pyritään tuomaan esille haastatteluissa käsiteltyjen teemojen esiintymiä ja yhteyksiä sekä tiivistämään aineistoa (ks. Hirsjärvi & Hurme 2015, s. 137). Pyrin aineistolähtöisellä menetelmällä myös parantamaan laadullisten havaintojen luotettavuutta määrällisen menetelmän avulla.

Tutkiessani eri menetelmiä haastatteluaineiston havainnollistamiseen ja tiivistämiseen tutustuin pintapuolisesti ensin affiniteettianalyysiin, sisällönanalyysiin, aineistolähtöiseen teoriaan, sisällön teemoitteluun ja taulukointiin. Päädyin käytännön kokeilujen kautta sisällönanalyysiä soveltavaan menetelmään, jossa käytetään taulukointia, havaintojen ja sanamäärien analysointia sekä jatkuvaa aineiston vertailun menetelmää. Havainnollistamiseen käytän kaavioita ja lämpökarttoja, jotka perustuvat haastatteluaineistosta löydettyjen ilmaisujen esiintymien lukumääriin ja niiden keskinäisiin suhteisiin.

Pyrin käytetyn menetelmän avulla tiivistämään aineistosta havaitut merkitykselliset ilmaiset, asiasanat ja asiasisällöt asiakokonaisuuksiksi joiden yhteneväisyyksiä, eroja ja esiintymiä voidaan tarkastella ja analysoida. Analyysillä pyrin sekä trianguloimaan haastatteluista tehtyjä johtopäätöksiä että hakemaan uusia näkökulmia haastatteluaineistoon. Pyrin edistämään triangulaation luotettavuutta ja uusien näkökulmien havainnointia soveltamalla aineistolähtöistä (engl. Ground up) kategorioiden kehittelyä, jossa pyrin minimoimaan aikaisempien tietojen vaikutuksen tutkittavasta ilmiöstä. Tämän takia tuloksena saadut kategoriat eivät vastaa muissa aiheita käsittelevissä julkaisuissa käytettyjä. Tämä voi vähentää havaintojen vertailtavuutta mutta toisaalta voi tuoda paremmin esille juuri tämän haastatteluaineiston erityispiirteet.

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että koodien havaittu yleisyys ei välttämättä korreloi niiden merkittävyyden kanssa. Lisäksi suuressa osassa koodeja havaitsin vain muutamia esiintymiä, jolloin virheellisten havaintojen vaikutus koodin ja alikategorian luokittelussa voi johtaa analyysiä harhaan. Samoin on otettava huomioon tekijän kokemattomuus, mikä voi korostaa virheiden ja tekijän omien subjektiivisten näkemysten vaikutuksia. Erityisesti on vielä otettava huomioon koko tutkimusprosessin olevan yhden ensimmäistä kertaa asialla olevan tekijän tuotos. Tämä voi ilmetä työn kaikissa vaiheissa muun muassa yksipuolisuutena ja taipumuksena ennako-odotusten mukailuun. Lisäksi koodien havaintojen laskennassa olisi voinut vertailun vuoksi käyttää myös sääntöä, jossa kahdessa tai kolmessa peräkkäisessä segmentissä havaittu koodi olisi laskettu yhdeksi havainnoksi. Jätin tämän laskumallin toteutuksesta opinnäytetyön laajuuden rajallisuuden vuoksi ja jätin sen mahdollisen jatkoanalyysin aiheeksi.

## **Sisällönanalyysin menetelmien käyttö**

Sisällönanalyysi eteni aineiston koodauksen ja kategorisoinnin kautta taulukointiin, josta etenin analyysiin ja jonka perusteella tein johtopäätökset (ks. Tuomi & Sarajärvi 2018, s. 104 - 107)). Toteutin sisällönanalyysin lukemalla haastatteluaineiston huolellisesti, merkitsemällä taulukkoon havaitut merkitykselliset ilmaisut koodeina, kategorisoimalla koodit ja analysoimalla saatuja tuloksia. Samalla käytin saamiani tuloksia haastatteluaineistosta tehtyjen aikaisempien havaintojen ja päätelmien tarkistamisessa sekä uusien asiayhteyksien etsimisessä.

Pyrin analyysillä vastaamaan tutkimuskysymyksiin havainnoimalla tutkimuskysymyksille relevanttien teemojen ilmentymiä koodeissa, kategorioiden sisällä ja sisällön rakenteessa. Analysoin haastattelujen sisällön rakennetta havainnoimalla koodien ja kategorioiden esiintymistä sekä keskinäisiä jakautumia laatimalla kaavioita taulukoiduista ja uudelleenjärjestellyistä havainnoista. Analyysin johtopäätöksiä teen – ottaen huomioon koodien havainnoinnin epävarmuustekijät – kaavioista havaitsemistani trendeistä sekä kategorioiden ja koodien keskinäisestä jakautumisesta. Samoin kuin haastattelujen välisiä yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia, pyrin sisällönanalyysin avulla hahmottamaan myös tutkimusaiheen kokonaiskuvaa. Pyrin koodien havaintoja tarkistelemalla muodostamaan yleiskuvan haastatteluaineistossa käsitellyistä teemoista sekä kaikissa haastatteluissa käsitellyistä että kullekin haastattelulle ominaisista teemoista.

### **Haastatteluaineiston koodaus ja koodien kategorisointi**

Numeroin haastattelujen litteroinneista kirjoitettujen yleiskielisten tekstien segmentit haastattelun numeron ja juoksevan numeroinnin yhdistelmällä. Numeroinnin jälkeen luin aineistot huolellisesti ja muodostin koodit etsimällä aineistosta merkitykselliset ilmaisut. Pelkistin eli koodasin ilmaisut, taulukoin koodit ja merkitsin koodeille ilmaisujen esiintymiskohdat segmentin numerolla (liite 3). En asettanut segmentissä havaittavien koodien määrälle rajoituksia ja usein kustakin segmentistä tehtiin useita havaintoja eri koodeille. Segmenttien pituus ja asiasisällöt vaihtelivat huomattavasti ja osittain tämän takia havainnot eivät välttämättä ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Lisäksi tulee huomioida, että en merkinnyt havainnoille painotuksia. Pyrin ottamaan tämän huomioon koodien ja kategorioiden laadinnassa, mutta tuloksia ei voi loppujen lopuksi pitää kovin eksakteina vaan enemmänkin suuntaa antavina ja tulkinnanvaraisina.

Osa koodeista oli yleisiä, osa taas samaa asiasisältöä tietystä näkökulmasta tai kontekstissa käsitteleviä. Samasta segmentistä voi tehdä havaintoja sekä tiettyä asiasisältöä käsittelevälle yleisluontoiselle koodille että samaa asiasisältöä tarkemmin rajatusti käsittelevälle koodille. Työn edetessä muokkasin koodeja jatkuvan vertailun metodin mukaisesti:

vertailin koodeja keskenään, luin haastatteluaineistoa uudestaan eri näkökulmista ja muokkasin koodeja jatkuvasti tarkoituksenmukaisemmiksi. Ensimmäisen läpikäynnin tuloksena sain 159 koodia ja toisella läpikäynnillä koodien määrä nousi 180:een. Toisen läpikäynnin aikana ja sen jälkeen luokittelin koodeja ensin alikategorioihin ja myöhemmin kategorioihin. Samoin kuin ensimmäisellä läpikäynnillä koodeja, vertailin ja muokkasin alikategorioita ja kategorioita jatkuvasti. Pyrin jatkuvalla vertailulla myös varmistamaan sekä teemojen oikeellisuuden että havaintojen esiintymisten kirjauksen. Tuloksena kategorioiksi muodostuivat Maataloustuotanto, Tekniikka ja Toimintaympäristö. Näiden alla on 33 alikategoriaa, joihin olen luokitellut itse koodit.

### **Haastatteluaineiston koodien taulukointi**

Taulukoin kategoriat, alikategoriat ja koodit havaintoineen (liite 3). Laskin taulukossa koodien esiintymät yhteen koodikohtaisesti, jonka jälkeen laskin koodikohtaiset esiintymät haastattelukohtaisesti. Saaduista luvuista tuotin taulukkoon solujen arvojen mukaan väritämällä yksinkertaisen visualisaation, josta voidaan tarkastella koodien havaintojen määriä sekä haastattelukohtaisesti että koko materiaalissa yhdessä.

Kopioimalla haastattelu- ja kategoriakohtaiset tiedot omiksi taulukoikseen pystyin järjestelmällä ja kaavioita laatimalla tarkastelemaan tehtyjä havaintoja eri konteksteissa, esimerkiksi yhden haastattelun tai kategorian sisällä (ks. liitteet 4-7). Vertailun helpottamiseksi kokosin haastattelukohtaiset taulukot omaan kokoavaan taulukkoonsa, johon lisäsin kaikkien havaintojen yhteenlasketut tiedot koko haastatteluaineistosta. Tein taulukkoon tietojen havainnollistamiseksi kaaviot havaintojen määristä. Kaavioiden muotoja vertailemalla voidaan tarkastella miten eri koodien tai kategorioiden havainnot jakautuvat eri haastatteluissa ja kategorioissa, esimerkiksi keskittyttiinkö haastattelussa muutamaan keskeiseen aiheeseen vai käsiteltiinkö useita erilaisia asiakokonaisuuksia (ks. kuvio 1). Lisäksi vertailin koodien alikategoriakohtaisia määriä keskenään omassa taulukossaan (ks. kuvio 2).

Haastattelujen keskinäisiä yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia pyrin tuomaan esille taulukoimalla sekä haastattelukohtaisesti että koko aineistossa usein havaitut koodit. Toteutin tämän kopioimalla omaan taulukkoonsa useammin kuin kerran yksittäisestä haastattelusta ja useammin kuin viidesti koko haastatteluaineistosta havaitut koodit. Vertailin haastattelukohtaisia koodien ryhmiä sekä keskenään että koko haastatteluaineistosta yli viidesti havaittujen koodien ryhmään. Otin mukaan haastattelukohtaisiin koodiryhmiin useammin kuin kerran havaitut koodit, koska halusin varmistaa koodien merkitsevyyden vertailtaessa haastatteluja keskenään. Vastaavasti arvelin useammin kuin viidesti koko haastatteluaineistosta havaittujen koodien olevan tarpeeksi usein ilmeneviä, jotta ne ovat relevantteja kokonaisuuden kannalta ja vertailukelpoisia haastattelukohtaisten koodien kanssa. Mer-

kitsin taulukossa haastattelukohtaiset koodit, jotka ilmenivät ainakin kerran myös joko muissa haastattelukohtaisissa koodiryhmissä tai koko haastatteluaineiston koodiryhmässä. Tällöin sain esille kullekin haastattelulle yksilölliset koodit, joista oli tehty kyseisessä haastattelussa ainakin kaksi havaintoa ja joista ei tehty havaintoja muissa haastatteluissa useammin kuin kerran. Lisäksi laskin taulukossa kuinka moni koko haastatteluaineiston koodiryhmän koodeista löytyi kustakin haastattelukohtaisesta koodiryhmästä. Laskin saaduista luvuista kuinka suuri osa haastattelukohtaisista koodiryhmistä löytyy koko haastatteluaineiston koodiryhmästä.

Kategorioiden, koodien ja niiden havaintojen määrien havainnollistamiseksi koostin taulukon haastattelukohtaisista koodien havainnoista. Näistä havainnoista tein kaaviot, joista nähdään kategorioiden jakautuminen haastatteluissa sekä koodien määrien että koodien havaintomäärien mukaan, niiden jakautuminen haastatteluihin ja eriteltynä kategorioittain (liitteet 4-7). Näistä kaavioista voidaan tarkistella haastattelujen keskinäisiä eroja kategoriatasolla sekä kuinka suuri osa tietyssä haastattelussa havaituista koodeista ja sen havainnoista on mistäkin kategoriasta ja miten kategorioiden kaikki koodit ja havainnot jakaantuvat eri haastatteluihin. Lisäksi voidaan vertailla haastattelujen kategorioiden jakautumista haastattelujen välillä sekä koodien määrän että koodien havaintojen määrän mukaan.

Kartoitin koodien havaintojen keskinäisiä yhteneväisyyksiä ja niiden kautta teemojen esiintymisten samankaltaisuuksia lämpökartalla, johon koodit järjestyivät samankaltaisuuden perusteella R heatmap.2 -funktion avulla (liite 9). Samankaltaisuus määriteltiin koodin haastattelukohtaisten havaintomäärien mukaan, esimerkiksi koodit "Tekniikka-Standardi-Muut" ja "Toimintaympäristö-Tuotantoketju-Liiketoiminnan ekosysteemi" olivat samankaltaisia molempien esiintyessä yhtä monta kertaa samoissa haastatteluissa: Haastattelussa 1 neljästi, haastattelussa 2 kerran, haastattelussa 3 kahdesti ja lopuissa haastatteluissa ei ollenkaan.

Lopuksi laskin haastatteluaineiston sanamäärät Online-Utility.org:in Text Analyzer – analysaattorihjelmalla (<https://www.online-utility.org/text/analyzer.jsp>) ja taulukoin ne omaan taulukkoonsa (ks. liite 8). Syötin analysaattoriin haastattelujen litteroinneista koostun version, joka sisälsi vain haastateltavien itse sanomat sanat. Arvioin litteroinneissa olevan haastateltavien kielen olevan keskenään tarpeeksi samankaltaista, että kielen normalisointia yleiskielelle ei tässä tapauksessa tarvita. Valitsin useammin kuin kerran löytyneistä sanoista (1920 sanaa) haastattelujen aikaisempien käsittelyvaiheiden tuoman kokemuksen perusteella harkinnanvaraisesti merkitsevät sanat, joiden sanarungolla ja/tai alkukirjaimilla hain kaikkien sanojen joukosta (6011 sanaa) sanan eri taivutusmuodot, lyhennelmät ja virheellisesti kirjoitetut esiintymät. Tämän jälkeen laskin yhteen sanojen ha-

vaitut synonyymit ja selkeästi haastatteluissa samaa tarkoittavien sanojen esiintymät. Esimerkiksi laskin yhteen sanat *täsmäviljely*, *täsmäviljejn*, *täsmäviljelyä*, *täsmäviljelydata*, *täsmäviljelykin*, *täsmäviljelykonferenssissa*, *täsmäviljelylaitteistolle*, *täsmäviljelylaitteita*, *täsmäviljelyllä*, *täsmäviljelyn*, *täsmäviljelyssä*, *täsmäviljelystä*, *täsmäviljelyteknologiaa*, *täsmäviljelyteknologiasta*, *täsmäviljelytietoa* ja *täsmäviljelyyn*, jolloin sain asiasanalle ”täsmäviljely” yhteensä 27 esiintymää. Tuloksena sain 118 asiasanaa, joiden esiintymät taulukoin, järjestelin ja joiden esiintymien määrästä laadin kaavio. Taulukon ja kaavion avulla voidaan arvioida haastatteluaineiston keskeisimpien teemojen yleisyyttä.

## **Haastatteluaineiston analysointi**

Analysoin haastatteluaineistosta havaittujen koodien määrien perusteella miten eri kategoriat jakautuvat eri haastatteluissa (kuvio 3) sekä havaintojen määrän että kategorioiden ja alikategorioiden mukaan. Lisäksi taulukoin koodien määrät kategorioissa ja alikategorioiden ja vertailin määriä keskenään (kuvio 2).

Laadin koodien havaintojen määrästä kaaviot, joiden muodosta ja koosta voidaan tehdä havaintoja koodien jakautumisesta sekä haastatteluiden välillä että kategorioiden sisällä kussakin haastattelussa. Lisäksi kaikkien havaintojen yhdistävän taulukon kaaviota voidaan verrata haastattelukohtaisiin vastaaviin (kuvio 1).

Taulukoin yhteen haastattelujen sisällön rakenteen havainnollistamiseksi kussakin haastattelussa havaitut koodit haastattelukohtaisine havaintomäärineen ja laadin kaaviot, joista voidaan havainnoida kategorioiden ja koodien jakautumista haastattelukohtaisesti ja verrata niitä toisiin haastatteluihin ja kategorioihin (liitteet 4-7).

Pyrin analysoimaan koodien keskinäisiä yhteneväisyyksiä lämpökartan avulla havainnoida samankaltaisella tavalla esiintyviä koodiryhmiä (liite 9). Koska koodit ja niiden havainnot perustuvat vain haastattelukohtaisten havaintojen kokonaismääriin ja omiin havaintoihini, analyysissä ei voida luottaa kahden lämpökartalla samalla tavalla esiintyvän koodin tai koodiryhmän asiasisältöjen liittyvän toisiinsa. Lämpökartalla samankaltaisesti esiintyvien koodien ryhmistä voidaan havainnoida vain miten ryhmän koodeja on havaittu haastatteluaineistossa. Koodien järjestely ja ryhmittely lämpökartalla mahdollistaa haastattelujen ominaispiirteiden havainnoinnin koodien määrien yhteneväisyyksien avulla, ottaen huomioon myös havaintojen puuttumiset.

Itse koodien määrän voidaan tulkita viittaavan erilaisten asiasisältöjen määrään. Koodien määrästä kategorioittain ja alikategorioittain ryhmiteltynä voidaan tehdä tulkintoja ryhmitteilyjen laajuuksista asiasisältöjen määrien perusteella. Toisaalta kategoriat, alikategoriat ja



niiden sisällään pitämät koodit voivat olla yleisluontoisempia kuin toiset, jolloin lukuja voi pitää vain suuntaa antavina.

Haastattelujen yhteneväisyyksien ja eroavaisuuksien tulkintaa varten taulukoin yksittäisissä haastatteluissa yli kerran havaitut koodit samaan taulukkoon yli viidesti koko haastatteluaineistossa havaittujen koodien kanssa. Vertailuista saatujen lukujen mukaan voidaan tehdä tulkintoja kunkin haastattelun sisällön yksilöllisyydestä niissä havaittujen koodien perusteella.

Vertailin koodien, alikategorioiden ja kategorioiden mukaan tehtyjä havaintoja myös koko haastatteluaineistossa esiintyviin asiasanoihin (ks. liite 8). Asiasanojen määrien perusteella järjesteltyä asiasanalistaa voidaan vertailla yleisimpiin koodeihin ja tarkistella ovatko molemmilla metodeilla tehdyt havainnot samansuuntaisia vai löytyykö niiden väliltä selkeitä eroja.

### ***Johtopäätösten vetäminen haastatteluaineistosta analyysin perusteella***

Kategorioiden ja teemojen määrien kaavioiden (kuvio 1) analysoinnin avulla voidaan vetää johtopäätöksiä haastattelujen yleisestä luonteesta ja keskeisistä asiasisältöjen eroista (ks. kuvio 3). Esimerkiksi keskittyivätkö haastateltavat muutamaamaan ydinaiheeseen vai laajempiin asiakokonaisuuksien kuvailuun ja mitkä olivat kunkin haastattelun keskeiset asiasisällöt. Lisäksi voidaan havainnoida mihin asiasisältöihin keskityttiin sekä haastattelukohtaisesti että koko haastatteluaineistossa.

Kategorioiden ja alikategorioiden esiintyvien koodien määristä (kuvio 2) puolestaan voidaan päätellä kuinka monipuolisia asiakokonaisuuksia kategoriat ja alikategoriat pitävät sisällään. Keräsin kategorioiden ja alikategorioiden yleisimmät koodit loogisiksi teemojen ryhmiksi, joiden pohjalta kirjoitin kuvaukset haastatteluaineiston keskeisistä teemoista.

Tarkastelin ryhmien yleisimpien koodien samankaltaisuutta muihin koodeihin verrattuna myös laaditun lämpökartan ja dendogrammin avulla (liite 9). Lämpökartta havainnollistaa koodien haastattelukohtaisten havaintomäärien välisiä yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia. Samankaltaiset koodit lämpökartalla auttavat myös profiloimaan haastatteluja, eli voidaan havainnoida haastattelujen painotuksia tiettyihin koodien ryhmiin. Lämpökarttaa havainnoidessa tulee kuitenkin huomioida, että kartalla samankaltaiset koodit eivät välttämättä ole sisällöltään yhteydessä toisiinsa vaan esiintyvät samoissa haastatteluissa yhtä monesti. Lämpökartalla samankaltaisista teemoista on valitsin tutkimustuloksissa tarkasteltavaksi sellaiset, joilla on looginen yhteys toisiinsa haastatteluaineistossa ja joista on useita havaintoja.

## 5 TUTKIMUSTULOKSET

Tässä luvussa kuvaillaan tutkimuksen tulokset. Kirjallisuuskatsauksen ja teemahaastatteluiden tuloksia tarkastellaan erikseen ja tuloksista tehdään kuvaileva yhteenveto. Lopuksi tuloksista tehtyjen havaintojen ja johtopäätösten perusteella esitellään vastaukset tutkimuskysymyksiin.

### 5.1 Kirjallisuuskatsauksen tulokset

Tässä alaluvussa käsitellään kirjallisuuskatsauksen tulokset jaoteltuina seuraavasti: yleinen kuvailu, AIoT-ratkaisuissa käytettävät teknologiat, AIoT-ratkaisuiden sovellusalueet, AIoT:in avoimet haasteet ja aineistossa esitetyt AIoT-arkkitehtuurit.

#### 5.1.1 Yleinen kuvailu

**Uudet liiketoimintamallit** mahdollistuvat IoT-teknologioiden käyttöönoton myötä. Yleisesti IoT-teknologioiden vaikutus voi huomattavasti muuttaa tuotannon toimintatapoja (Porter & Heppelmann 2014). Myös maatalouden voidaan odottaa muuttuvan IoT-teknologioiden vaikutuksesta huomattavasti. Maatilojen ja elintarviketuotannon yritysten yleisen kehityksen suunta on kohti laajamittaista, teollista ja teknologiaintensiivistä tuotantoa. Samaan aikaan uudet IoT-teknologiat mahdollistavat uusia liiketoimintamalleja. Monet kasvuyritykset pyrkivät toteuttamaan elintarviketuotannossa aikaisempaa lyhyempiä tuotantoketjuja, joskus poistaen kokonaisia osia yleisestä ruoan tuotantoketjusta. Näille uusille liiketoimintamalleille tiedon tuotanto ja toimittaminen on enemmän ennakkoehto kuin toiminnan sivutuote. Samalla liiketoiminnan kumppaneiden välinen toiminta on muuttumassa entistä dynaamisemmaksi sekä kilpailu korkealuokkaisista ja suuren marginaalin tuotteista on muodostumassa yleisemmäksi. IoT-teknologioiden mahdollistamat dataperustaiset hallintokäytännöt ovat keskeisiä aikaisempaa tarkemmalle tuotantoprosessien hallittavuudelle. Tämän tuloksena maatilat voivat siirtyä perinteisestä tuotantokeskeisestä ja kustannushinnoitteluvetoisesta liiketoimintamallista arvohinnoittelu- ja informaatiovetoiseen malliin, jossa tarjontaa kohdennetaan jatkuvasti kysynnän mukaan. Tuotantoprosessien tarkempi hallittavuus puolestaan voi johtaa suoranaiseen loikkaukseen tuottavuudessa ja kestäväyydessä. (Sundmaeker ym. 2016; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

**Täsmäviljelystä smart farming:iin** siirtyminen voi saada voimakasta vetoapua IoT-teknologioiden käyttöönotosta. Viljelyjärjestelmänä täsmäviljely pyrkii yksityiskohtaista tietoa hyödyntämällä tuotantopanosten käytön optimointiin. Näillä tekniikoilla pyritään alueellisen ja ajallisen vaihtelevuuden hallinnoimiseen tarkan havainnoinnin, kontrolloinnin ja käsittelyn avulla perustuen maaperästä, satokasveista ja eläimistä tehtyihin havaintoihin. Esimerkiksi traktorin ja työkoneen automaattiohjauksen ja määräsäätöautomaatiikan

(VRA-tekniikka) avulla ruiskutettavien kasvinsuojeluaineiden ja lannoitteiden käyttö tehostuu päällekkäisen ruiskutuksen vähentyessä, samalla vähentäen päästöjä. Vaikka viime vuosikymmenten aikana on otettu käyttöön onnistuneesti useita yksittäisiä täsmäviljelyn tekniikoita, täsmäviljelyn laaja käyttöönotto on jäänyt vähäiseksi ja täsmäviljelyssä tuotetun tiedon älykäs käyttö on rajattua. Keskeisimpiä hidasteita käyttöönotolle ovat datan ja järjestelmien integraation puute, vaikeakäyttöisyys ja korkea hankintahinta. (Kihlström & Taivalmaa 2014; Sundmaeker ym. 2016) Täsmäviljelyn konseptia askeleen pidemmälle kehittävässä niin sanotussa smart farming:issa toimenpiteet käynnistyvät tosiaikaisten tapahtumien konteksti- ja tilannetietoisesta havainnoinnista ja perustuvat paikan lisäksi mitattuun dataan. Smart farming:issa robottien osuus viljelytoimenpiteiden suorittamisessa voi muodostua suureksi, minkä lisäksi analytiikan ja suunnittelun automaatiolla voidaan ihmisen työpanos keskittää aikaisempaa korkeammalle johtamisen tasolle. (Sundmaeker ym. 2016) Kestävän maataloustuotannon ja smart farming:in haasteisiin vastaamiseksi tulisi monimutkaisia, moniulotteisia ja ennakoimattomia maatalouden ekosysteemejä analysoida ja ymmärtää aikaisempaa paremmin (Kamilaris, Kartakoullis & Prenafeta-Boldú 2017).

**Älykäs logistiikka** voi IoT-tekniologioiden avulla tehostaa ruokaketjun toimintaa. Logistiikkapäätösten tulisi pohjautua siihen tosiasiaan, että ruokatuotteiden laadulliset ominaisuudet muuttuvat ajan kuluessa ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Ruokatuotteiden yksittäinen merkintä ja seuranta on haastavaa ja kannattamatonta ottaen huomioon ruokatuotteiden käytännön käsittely erilaisissa pakkauksissa, laatikoissa, kuormalavoilla ja lähetyksissä. IoT-tekniologiat mahdollistavat edistyksellisiä ratkaisuita lähetyksen ja tuotteiden seurannassa ja jäljittämässä aina tuotannosta kuluttajalle asti. Siinä missä tuotantoketjun toimijat ovat aikaisemmin toteuttaneet tuotantonsa tarkkailua paikallisesti, voivat he IoT-ratkaisuiden avulla ja virtuaalisiin objekteihin perustuen tarkkailla, kontrolloida, suunnitella ja tehostaa liiketoimintaprosessejaan etäisesti ja tosiaikaisesti internetin ylitse. Ruokatuotteiden jäljitettävyyden on usein lainsäädäntöön perustuvaa, konventionaalisilla järjestelmillä toteutettua ja yksittäisen yrityksen toimintaan keskittyvää toimintaa. Jäljitettävyydetietoja käsittelevät järjestelmät ovat usein suljettuja, eivätkä palvele avoimesti ja yhteisesti useita liiketoimintakumppaneita jotka dynaamisesti muuttavat liiketoimintaprosessejaan ja -kumppanuuksiaan tilanteiden muuttuessa. (Sundmaeker ym. 2016)

Anturitekniologioita käytetään kasvavassa määrin ruoan turvallisuuden ja laadunvalvonnan järjestelmissä. Lämpötila-anturit ovat yleisessä käytössä kylmäketjujen tarkkailussa. Myös kosteus-, valo- ja etyleeniantureita käytetään jatkuvasti enemmän. Suurin osa näistä on kuitenkin tietoa tallentavia laitteita, joiden tallenteita tarkastellaan vasta jälkikäteen kun laatu-poikkeama on havaittu. Langattomien tietoliikennetekniologioiden käyttöönotto näissä sovelluksissa on vasta alkuvaiheessa. Langattomasti toimivien anturilaitteiden laajan käyt-

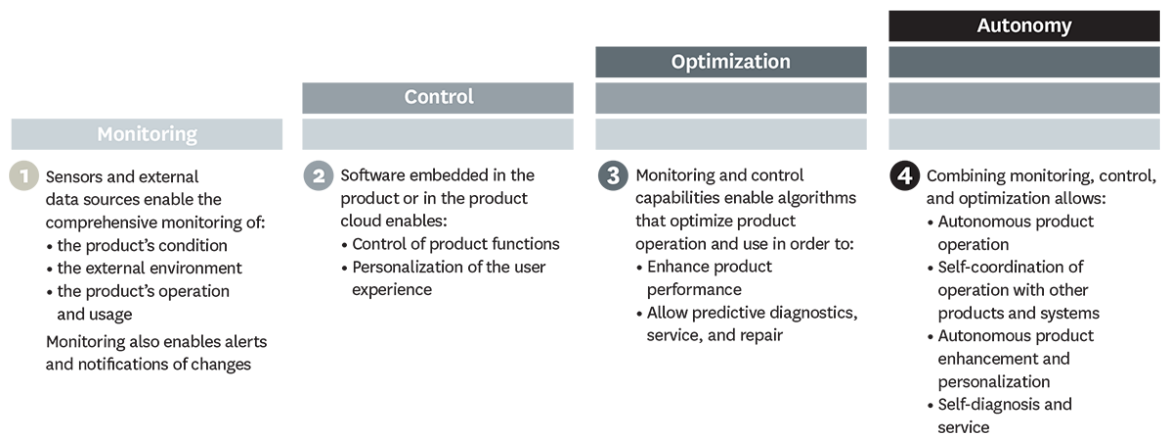
töönoton saavuttamiseksi tulisi niiden hankintahintojen muuttua selkeästi edullisimmiksi. Useat lupaavat anturiteknologiat ovat samoin kehityskaarensa alkuvaiheessa, jonka takia tuotteiden mikrobiologista laatua voidaan tarkkailla vain laboratorioissa. Tällöin laadun-tarkkailun mikrobiologinen tieto ei ole kovin ajantasaista. Useissa ruoan laaduntarkkailun ratkaisuissa on sovellettu anturilaitteiden lisäksi ennustavaa analyysiä sekä säilyvyysajan määrittämiseksi että aktiivisesti kypsyamisprosesseihin vaikuttamiseksi. (Sundmaeker ym. 2016)

**Älykäs ruoan prosessointi ja valmistus** mahdollistaa tuotannossa aikaisempaa hajautetumman hallintamallin. Tällä hetkellä ruoan prosessoinnin laitokset ovat vielä usein keskitetysti kontrolloituja. IoT-ratkaisuiden soveltaminen elintarviketuotannon tehtaissa tulee perustumaan hajautetumpaan hallintamalliin, jossa koneet muuttuvat järjestelmiksi joilla on omaa tietojenkäsittelykapasiteettia ja lisättyä älykkyyttä ja jotka kommunikoivat suoraan toisten koneiden kanssa. Tällaisissa tehtaissa laitteisto on yhä suuremmissa määrin autonomista, hoitaen itse tarvitsemansa huollon järjestelyt ja mukautuen tosiaikaisesti muuttuviin tuotantovaatimuksiin. Tämä lähestymistapa on nähtävissä muun muassa Industry 4.0 ja Factory of the Future -aloitteissa. (Sundmaeker ym. 2016)

**Älykäs ruokatietoisuus** kuluttajien keskuudessa voi kasvaa huomattavasti tuotantoketjun tietojen tuomisella koko ketjun saataville. Kuluttajien luottamus ruoan turvallisuuteen, elintarviketuotantoon, ruoan alkuperään ja siihen liittyviin toimijoihin on edellytys toimivalle eurooppalaiselle ruokamarkkinalle. Kuluttajat odottavat tuotantoketjuilta yhä suurempaa läpinäkyvyyttä, jolle luottamus ruokaan voi perustua. Läpinäkyvyys tarkoittaa tässä tapauksessa kuluttajien tiedon tarpeiden mukaisesta tietoisuuden edistämistä. IoT-ratkaisut voivat nopeasti muuttaa kuluttajien ja ruoan tuotantoketjun toimijoiden välistä viestintää. Kahdensuuntainen viestintä ja tiedon saataville tuominen kaikille toimijoille ovat keskeinen osa älykkään ruokatietoisuuden toteuttamista. Kuluttajille suunnatuista ruokaan liittyvistä IoT-sovelluksista suurin osa keskittyy vain tiettyihin toiminnallisuuksiin ja dataan, järjestelmien välisen tiedon vaihdannan ja yhteiskäytettävyyden ollessa rajattuja. (Sundmaeker ym. 2016)

**Tulevaisuudenkuvia ja mahdollisuuksia** visioidessa huomataan, että todellisuudessa ruoan tuotannon IoT-sovellukset ja teknologiat ovat vielä pirstaleisia eikä niillä ole saumatonta integraatiota. Erityisesti edistyneimmät ratkaisut ovat kokeellisessa kehitysvaiheessa. (Sundmaeker ym. 2016) Älykkäiden ja verkotettujen laitteiden toiminnallisuuksien kehityspolku kulkee havainnoinnin ja kontrolloinnin kautta laitteiden toiminnan optimointiin ja lopulta autonomiseen toimintaan (kuva 16), kunkin toiminnallisuuden rakentuessa edellisen päälle (Porter & Heppelmann 2014). Kehityspolulla edetessä automaation ja au-

tonomian tasoa voidaan nostaa asteittain täysin autonomisiin robotteihin asti (Backman 2015).



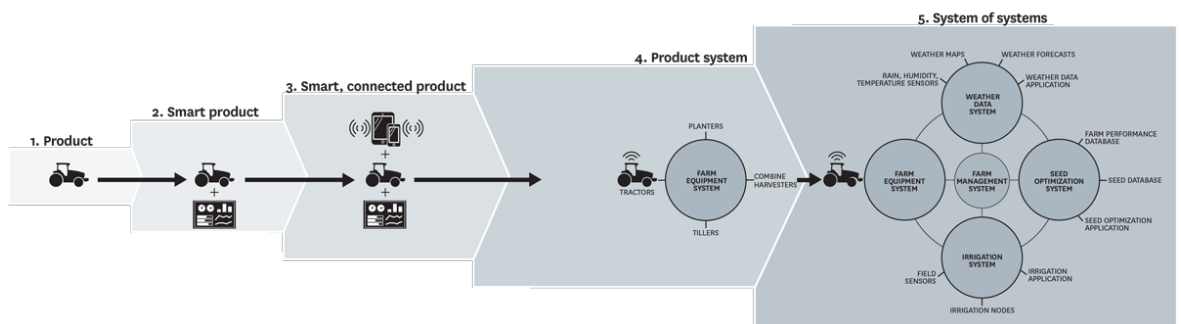
Kuva 16. Älykkäiden ja verkotettujen laitteiden toiminnallisuuden kehityspolku (Porter & Heppelmann 2014)

Tällä hetkellä käytössä olevat ratkaisut keskittyvät perustoiminnallisuuksiin ja ovat pääasiassa pienen aikaisten omaksujien joukon käytössä. Tämän tilanteen odotetaan kuitenkin muuttuvan lähivuosien aikana. IoT-teknologiat ovat kypsymässä nopealla tahdilla ja ne ovat viime aikoina olleet sekä käyttäjien että laitevalmistajien huomion kohteena. Tämä voi johtaa useiden keskeisten edistysaskeleiden toteutumiseen, kuten: (Sundmaeker ym. 2016)

- IoT-ratkaisuiden integraation varmistaminen avoimien arkkitehtuurien, alustojen ja standardien avulla.
- Keskenään yhteistoimintakykyisten IoT-ratkaisuiden käytön skaalaus aikaisten omaksujien joukon ulkopuolelle, mukaan lukien nykyisten ratkaisuiden yksinkertaistaminen viljelijöiden ja laitetoimittajien valtavirran kiinnostuksen varmistamiseksi.
- IoT-teknologioiden käytettävyyden edelleen kehittäminen maatalouden käyttötapauksia ja olosuhteiden vaatimuksia vastaaviksi.

Näiden edistysaskeleiden toteutumisen voidaan odottaa johtavan edellä mainittujen sovel-  
lusalueiden kehittymiseen huomattavalla tavalla. **Täsmäviljely** voi kehittyä **smart far-  
ming**:iksi, jossa maatilasta muodostuu älykäs yhteistoimintakykyisten laitteiden verkko  
(kuva 17). Keskeinen edistysaskel tulee olemaan havainnoinnin ja tarkkailun, älykkään  
analytiikan ja suunnittelun sekä viljelyprosessien älykkään kontrolloinnin saumaton integ-  
raatio kaikissa keskeisissä prosesseissa. **Seuranta ja jäljittäminen** voivat kehittyä koko-  
naisvaltaiseksi tuotantoketjun läpinäkyvyydeksi aina yksittäisten tuotteiden tasolle asti.  
Jäljitettävyyden toiminnot voivat edelleen integroitua älykkäiden seurantajärjestelmien  
kanssa lisäten dataa tuotteiden ominaisuuksista, tuotantotavoista ja tuotannon olosuhteis-  
ta. **Ruoan turvallisuuden ja laadunvalvonnan** järjestelmät voivat kehittyä reaktiivisista  
lähestymistavoista proaktiivisiin, joissa tuotantoketjuja voidaan tarkkailla, kontrolloida,

uudelleensuunnitella ja optimoida etäisesti tosiaikaisen tiedon perusteella. Tämän toteuttamiseksi uusia anturityyppejä voidaan ottaa käyttöön, tuotetun anturidatan ajantasaisuutta ja yhteentoimivuutta voidaan parantaa, etähallintaa voidaan parantaa edistyneillä uusilla toimilaitteilla ja laaduntarkkailun järjestelmiä voidaan parantaa lisäämällä niiden älykkyyttä. **Ruoan prosessointi ja valmistus** voi kehittyä notkeiden hallintajärjestelmien avulla, jolloin tuotannon koneet toimivat autonomisina, älykkäinä ja yhteen liitettynä kokonaisuuden osina. Tämän toteuttamiseksi voidaan koneisiin integroida tehokkaita antureita tuotannon tosiaikaisen tarkkailun ja koneiden yhteentoimivuuden varmistamiseksi. Tuotannon seurantajärjestelmien algoritmien avulla voidaan havaita laatupoikkeamia aikaisessa vaiheessa. **Kuluttajien ruokatietoisuus** voi kehittyä lähtökohdiltaan kuluttajakokoukseksi kokonaisuudeksi, jossa erilaiset sovellukset ja järjestelmät voivat yhdistää ruokakeskeistä tietoa eri sidosryhmiltä personoitujen ruokasuositusten tuottamiseksi. (Sundmaeker ym. 2016)



Kuva 17. Tuotteiden ja järjestelmien integraation kehitys (Porter & Heppelmann 2014) mukaan

IoT-ratkaisut mahdollistavat fyysisten objektien virtausten ja niihin liittyvän tiedon irrottamisen toisistaan (Verdouw ym. 2015). Tällöin viljelyprosesseja ja ruoan tuotantoketjuja voidaan tarkkailla, kontrolloida, uudelleensuunnitella ja optimoida etäisesti ja tosiaikaisesti perustuen fyysisiä objekteja vastaaviin virtuaalisiin objekteihin. Tämän johdosta maanviljely voi muuttua IoT-paradigman mukaisiksi älykkäiden, kytkettyjen laitteiden älykkäiksi verkoiksi jotka ovat kontekstin huomioivia ja jotka voidaan tunnistaa, havainnoida ja kontrolloida etäisesti. Tämän voi odottaa muuttavan maatalouden tuotantoprosesseja ennen näkemättömällä tavalla, tuottaen uusia liiketoimintamalleja ja kontrolloinnin mekanismeja kuten: (Sundmaeker ym. 2016)

- **Datavetoinen viljely:** IoT-ratkaisut mahdollistavat viljelijöiden siirtymisen näppituntumalla viljelystä mitattuun digitaaliseen tietoon perustuvaan viljelyn hallintaan. Tämä on keskeistä selviytymiselle jatkuvasti vaativammaksi muuttuvassa liiketoimintaympäristössä. IoT-ratkaisuiden anturi- ja tietoliikenneteknologiat mahdollistavat oikea-aikaisen ja tarkan operatiivisen datan virran päätöksentekojärjestelmille.
- **Kiertotalous:** IoT-ratkaisut mahdollistavat aikaisempaa sujuvampaa resurssien hallinnan ja jakamisen tuotantoketjussa, lujittaen toimijoiden yhteistoimintaa. Eri teollisuus-

denalat voivat yhteistoiminnassa jaella toimintansa sivutuotteita ja jätteitä lämmön, veden, paineen, lannoitteiden jne. muodossa. Symbioottiset viljelyjärjestelmät kuten aquaponiset viljelmät voivat hyötyä erityisen paljon uusista IoT-teknologioihin perustuvista kontrollointijärjestelmistä, jotka mahdollistavat niiden hajautetun ja autonomisen toiminnan.

- **Autonomiset maatalan toiminnot:** IoT-ratkaisut mahdollistavat kytkettävyyden parantamisen ja älykkyyden lisäyksen maatalousautomaatioissa. Tämä mahdollistaa maatalouden koneiden muuttumisen autonomiseksi ja itsemukautuviksi järjestelmiksi, jotka voivat toimia, tehdä itsenäisiä päätöksiä ja oppia ilman paikan päällä tai etäisesti tapahtuvaa ihmisen tekemää ohjausta. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi peltorobotit ja itseohjautuvat traktorit.
- **Kysyntävetoinen viljely:** IoT-ratkaisut mahdollistavat tuotantoprosessien tarkan ja oikea-aikaisen tarkkailun ja kontrolloinnin, mikä puolestaan mahdollistaa tuotannon määrän ja laadun ennustettavuuden. Myös liiketoiminnan ja kuluttajien kanssa kommunikoinnin uudet menetelmät voidaan ottaa huomioon tuotantoprosessien ohjaamisessa, jolloin maatilat voivat siirtyä anonyymistä, tuotantokeskeisestä ja kustannushinnoitteluvetoisesta toimintamallista arvohinnoittelu- ja informaatiovetoiseen toimintamalliin, jossa tarjontaa kohdennetaan jatkuvasti kysynnän mukaan.
- **Tulosperusteiset maatalouspalvelut:** IoT-ratkaisut voivat huomattavasti parantaa maatalojen tuotantoprosessien havainnoinnin ja kontrolloinnin mahdollisuuksia. Tämä mahdollistaa maanviljelyn yhä suuremman siirtymisen pelkkien tuotteiden ja palveluiden myynnistä asiakkaille merkityksellisten ja mitattavien tulosten tuottamiseen, kuten sadon, säästetyin energian tai koneiden käytettävyyssajan (World Economic Forum 2015).
- **Kaupunkiviljely:** IoT-ratkaisut tukevat kontrolloitujen viljelytilojen sijoittamista kaupunkialueille kuluttajien läheisyyteen. Näissä ratkaisuissa yhdistetään edistyneiden anturi- ja toimilaiteteknologioiden IoT-sovelluksia uusien viljelymenetelmien kuten hydroponiikan kanssa.
- **Ketterät ruokatehtaat:** IoT-ratkaisut mahdollistavat hajautetun ja joustavan ruoan prosessoinnin lisäämällä prosessoinnin laitteisiin ruokaa havainnoivia antureita, paikallista tietojenkäsittelyä ja tiedonhankintaa sekä kytkettävyyttä.
- **Virtuaaliset ruoan tuotantoketjut:** IoT-ratkaisut mahdollistavat ruoan tuotantoprosessien hallinnoinnin virtualisoinnin, mikä puolestaan mahdollistaa edistyneen etäisenä tehtävän suunnittelun, uudelleensuunnittelun, tarkkailun ja kontrolloinnin sekä uudet liiketoimintamallit.

### 5.1.2 AloT:in teknologiat

Keskeisimpiä IoT:in mahdollistavia teknologioita ovat Atzori, Iera & Morabito (2010) mukaan tunnistus-, anturointi- ja tietoliikennetekniikat sekä väliohjelmistot. IoT-konsepti voidaan lähtökohtaisesti toteuttaa näiden teknologioiden integroinnilla. Tämä on selkeästi havaittavissa useissa esitetyissä AloT-arkkitehtuureissa (ks. L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Talavera ym. 2017; Tzounis, Katsoulas, Bartzanas & Kittas 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016; Vermesan & Friess 2011). Tunnistustekniikoista keskeinen osa IoT:in kehitystä ovat olleet RFID-tunnisteet, joilla voidaan tarkkailla niillä merkittyjen fyysisten kohteiden liikkumista järjestelmässä tosiaikaisesti (Atzori, Iera & Morabito 2010; L. D. Xu, W. He & S. Li 2014). Lisäksi RFID-tunnisteiden avulla voidaan pyrkiä vähentämään työvoimakustannuksia, yksinkertaistamaan tuotantoprosesseja, lisäämään varastotietojen tarkkuutta ja parantamaan tuotannon hyötysuhdetta. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014)

Anturi- ja toimilaiteverkot ovat RFID-tunnisteiden lisäksi keskeinen IoT:in mahdollistava teknologia. Anturiverkot mahdollistavat ympäristön tai laitteiden monitoroinnin tietoliikenne-toiminnoilla varustetuilla anturilaitteilla. Tämä puolestaan mahdollistaa anturidatan siirtämisen digitaalisena tietona verkon yli tietovarastoon analysoitavaksi. Toimilaitteilla puolestaan voidaan käyttää verkkoon kytkettyjä toimilaitteita usein analytiikan perusteella ympäristöön vaikuttamiseksi. Useat tutkimukset Atzori, Iera & Morabito (2010) kirjallisuuskatsauksessa keskittyivät ympäristön valvontaan juuri anturiverkkojen avulla. Valvonnan lisäksi anturiverkkojen avulla voidaan rikastuttaa esimerkiksi RFID-tunnisteiden lukemisessa tuotettua tietoa muun muassa anturiverkkojen tuottamalla tiedolla kuten liike-, paikka- ja lämpötiladatalla (Atzori, Iera & Morabito 2010; L. D. Xu, W. He & S. Li 2014). Langattomassa tietoliikennetekniikassa käytettävien radiolaitteiden koko, paino ja energiankulutus ovat pienentyneet ja hinta laskenut huomattavasti. Tämä on mahdollistanut niiden sulauttamisen lähes kaikkiin esineisiin, mikä on osaltaan ohjannut kehitystä IoT-paradigman suuntaan. (Atzori, Iera & Morabito 2010)

Aineiston keskeisissä kirjallisuuskatsauksissa suuri osa käsitellyistä julkaisuista keskittyi ympäristömuuttujien kuten lämpötilan, kosteuden, fysikokemiallisten ominaisuuksien ja säteilyn mittaamiseen ja seurantaan (Atzori, Iera & Morabito 2010; Talavera ym. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016). Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa 26 %:ssa käsitellyistä julkaisuissa mitattiin lämpötilaa, 16 %:ssa kosteutta, 11 %:ssa fysikokemiallisia ominaisuuksia ja 10 %:ssa säteilyä. Kyseisessä katsauksessa lämpötilan ja fysikokemian anturit olivat jakautuneet kaikkiin edellä mainittuihin kategorioihin. Ilmanlaadun mittauksen antureita käsiteltiin 55 %:ssa julkaisuista. Talavera ym. (2017) mukaan tämän perusteella ilman lämpötilaa, ilmankosteutta, maaperän kosteutta ja auringonsäteilyä voidaan pitää universaaleina muuttujina AIoT:in sovelluksissa. Lisäksi viimeaikaisissa julkaisuissa ympäristön valvonta- ja mittausratkaisuihin oli lisätty päätöksentekoa ja hallintointia tukevia toiminnallisuksia.

Ympäristön valvontaa selkeästi pienempi osa julkaisuista käsitteli aktiivisuutta kuten kastelu-järjestelmien kontrollointia toimilaitteiden avulla. Näistä suuri osa käsitteli täsmäviljelyn järjestelmien toteutuksia AIoT-sovelluksien avulla ja osa erityisesti täsmäviljelyn tietojärjestelmiä. Suurin osa toimilaitteista oli käytössä kontrolloinnin tai logistiikan järjestelmissä. (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Laitteiden voimanlähteistä kirjallisuuskatsauksien käsittelemisissä julkaisuissa käsiteltiin useiten aurinkopaneelien ja akkujen yhdistelmiä. Toimilaitteissa voimanlähteenä käytettiin useiten verkkovirtaa. Viimeaikaisissa tutkimuksissa oli korostettu AIoT-laitteiden energiatehokkuuden merkitystä. Akkujen lataus ja vaihtaminen voi olla epäkäytännöllistä suurissa anturiverkkojärjestelmissä. Viljely-ympäristössä on usein saatavilla ympäristön energialäh-



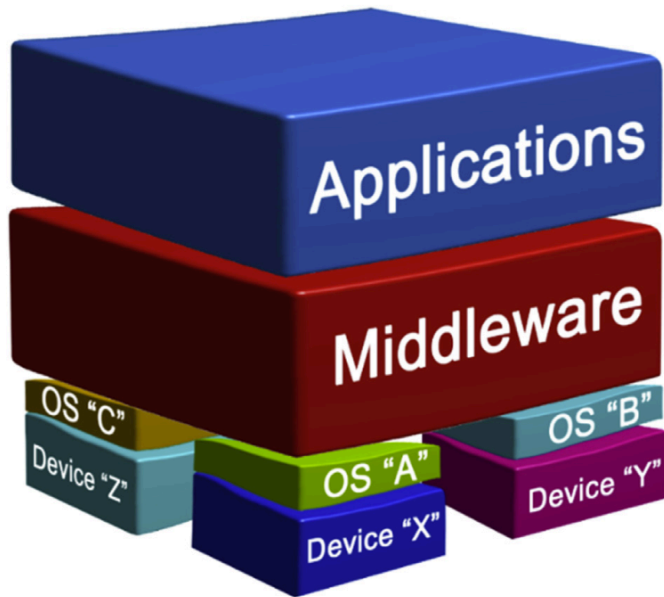
teitä, jolloin on luontevaa keskittyä erilaisten energiankeräinratkaisuiden kehittämiseen. Tutkimuksissa oli muun muassa esitetty ratkaisuita, joilla aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää suoraan aurinkokennosta ilman akkuja ja sähkömuuntajia tai maaperän kosteutta voidaan käyttää sensorilaitteiden energialähteenä. Tällaisten ns. self-power -laitteiden trendi on todennäköisesti kasvava. Laitteet voivat myös älykkäiden algoritmien avulla tehdä hajautettuja yhteistoiminnallisia alueellisia mittauksia, jolloin voidaan vähentää päällekkäisten mittausten aiheuttamaa energiankulutusta ja älykkäästi pitää yllä kattavan alueellisen mittauksen laatua. (Talavera ym. 2017)

Vastaavasti tietoliikennetekniikoista yleisimmin käytettyjä olivat yksityisiin langattomien verkkojen protokolliin perustuvat ratkaisut. Matkapuhelinverkkoja käyttävät tietoliikenneratkaisut olivat toiseksi yleisimpiä. Jotkin julkaisuista käsittelivät myös NFC-sovelluksia. Pienitehoiset tietoliikenneteknologiat kuten SigFox ja LoRa ovat kasvattaneet suosiotaan IoT-sovelluksissa pienen virrankulutuksensa, laajan kattavuusalueen ja suhteellisen edullisuutensa ansiosta. (Talavera ym. 2017) Teollisuuden anturiverkkojen käyttämien tietoliikenneprotokollien soveltuvuus sellaisenaan IoT-ratkaisuihin ei ole paras mahdollinen joutuessaan IoT-laitteiden heterogeenisyydestä laskentatehon, tietoliikennekapasiteetin ja tarvittavan verkon palvelunlaadun suhteen (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014).

Verkon reunan tietojenkäsittelyä sivuavissa julkaisuissa Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa useiten käytettiin mikrokontrolleripohjaisia ratkaisuita, yhden piirilevyn tietokoneiden ratkaisuiden ollessa harvinaisia. Tiedon tallentamisen ratkaisuita Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa käsitellyistä julkaisuista suuri osa käytti omia tallennusratkaisuita, pilvipalveluiden käytön ollessa vähäisempää. Tämä johtuu omien tallennusratkaisuiden suosimisesta tutkimustyössä, vaikka pilvipalveluiden käyttö on avainasemassa IoT-järjestelmien toteutuksissa. Wolfert ym. (2017) mukaan maatalouden tuottama data on yleensä hyvin heterogeenistä niin datan lähteiden kuin tuotantotapojenkin osalta, mikä voi osaltaan lisätä omien tallennusratkaisuiden käyttöä tutkimustyössä.

Väliohjelmistot mahdollistavat osaltaan yleiskäyttöisen IoT-ratkaisuiden toteuttamisen. Osa keskeisten kirjallisuuskatsausten julkaisuista käsitteli juuri yleiskäyttöisen IoT-pohjaisen tiedonhallintajärjestelmän kehittämistä, joita voidaan käyttää muun muassa ennustamaan satokasvien kasvua mallinnuksien avulla (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016). Väliohjelmistot voivat toimia sovelluserroksena tai ohjelmistoina järjestelmien osien välillä, IoT-ratkaisuissa usein laitteiden ja sovelluserroksen välissä (kuva 18). Väliohjelmistoilla voidaan yksinkertaistaa sovelluskehitystä sekä helpottaa vanhojen teknologioiden integrointia uusien kanssa. Tämä voidaan tehdä abstrahoiden laitteiden toiminnallisuuksia antaen sovelluskehittäjille geneerisiä ohjelmistokehityksen työkaluja laitteiden käsittelyyn, jolloin kehittäjien ei tarvitse keskittyä yksittäisten laitteiden teknisiin yksityis-

kohtiin. Geneerisillä työkaluilla voidaan näin väliohjelmistoa hyväksi käyttäen tuottaa sovelluksia, jotka ovat yhteensopivia kaikkien väliohjelmiston kanssa yhteensopivien laitteiden kanssa. Tämän lisäksi väliohjelmistojen avulla voidaan yhdistää pilvipohjainen infrastruktuuri, palvelukeskeinen arkkitehtuuri ja anturiverkot geneerisellä tavalla, jolloin samoja toiminnallisuuksia voidaan hyödyntää useissa erilaisissa järjestelmissä. Näiden IoT-ratkaisuiden kehitykselle keskeisten vahvuuksien takia väliohjelmistot ovat keränneet kirjallisuudessa runsaasti huomiota. (Atzori, Iera & Morabito 2010; Tzounis ym. 2017)



Kuva 18. Väliohjelmistot mahdollistavat laitteiden abstrahoinnin ja geneerisen sovelluskehityksen, jolloin useille laitealustoille ja käyttöjärjestelmille voidaan kehittää yhteinen sovellus (Tzounis ym. 2017)

Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa suurin osa käsitellyistä julkaisuista ei nimellisesti ottanut kantaa tietoturvaan ja tekijät löysivät vain yksittäisiä asioita sivuavia julkaisuita. Katsauksessa sivuttiin myös tiedon julkaisun ja visualisoinnin tekniikoita loppukäyttäjille kuten web-sivuja/palveluita, mobiilisovelluksia ja paikallisina asennuksina toimivia sovelluksia. Tiedon julkaisu loppukäyttäjille toteutettiin selkeästi suurimmaksi osaksi web-pohjaisten ratkaisuiden avulla, osan ollessa mobiili- ja paikallisratkaisuita.

### 5.1.3 AIoT:in sovellusalueet

AIoT-ratkaisuiden sovellusalueiden luokittelu ja rajaukset vaihtelivat aineiston kirjallisuuskatsausten välillä, riippuen katsausten tekijöiden lähtökohdista, tutkimuskysymyksistä ja näkökulmista. Tässä alaluvussa käsitelen keskeisimpien kirjallisuuskatsausten jaottelut ja niihin luokiteltujen julkaisujen määrät. Pyrin näin antamaan lukijalle yleiskuvan katsausten keskeisistä teemoista ja niiden yleisyydestä. Koska luokittelut eivät ole keskenään

yhteensopivia, niistä ei sellaisenaan voi tehdä määrällistä yhteenvetoa ja tämän takia esitelen ne tässä alaluvussa erillisinä. Seuraavassa alaluvuissa käsittelen aineistossa viitatu teknologiasovellukset ja kirjallisuuskatsausten havainnot osa-alueittain **valvonnan, kontrolloinnin, logistiikan ja ennustuksen** alaluvuissa.

Tzounis ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa sovellusalueet olivat: kasvihuonetuotanto (37), peltotuotanto (17), kaupalliset järjestelmäratkaisut (14), tuotantoketju (11), väliohjelmisto (9) ja valvonta ja kontrollointi (7). Eläintuotanto (13) jää opinnäytetyön aiheen ulkopuolelle.

Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016) kirjallisuuskatsauksessa sovellusalueet olivat: tuotantoketju (68), peltotuotanto (33), maatalouden yleiset sovellukset (26), kasvihuonetuotanto (14), avomaan tuotanto (8). Lisäksi sovellusalueita olivat: Kalastus ja vesiviljely (3), ruoan kulutus (5), vapaa-ajan viljely (3) ja eläintuotanto (8). Nämä sovellusalueet jäävät opinnäytetyön aiheen ulkopuolelle. Lisäksi tekijät havaitsivat käsitellyistä julkaisuista yleisiä teemoja, jotka olivat täsmäviljely, ruoan jäljitettävyyden järjestelmät, ruoan turvallisuuden ja laadunvalvonnan järjestelmät ja kuluttajien vuorovaikutus.

Talavera ym. (2017) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa IoT-teknologioita käsittelevät tutkimukset oli jaoteltu neljään teknologiasovellusten osa-alueeseen: valvonta, kontrollointi, logistiikka ja ennustus. Suurin osa katsauksessa käsitellyistä tutkimuksista keskittyi valvontaan (46), kontrollointiin (17) vastaavasti neljännes, logistiikan (5) ja ennusteiden (4) ollessa harvinaisempia tutkimuskohteita.

## **Valvonta**

Valvonnan osa-alueen julkaisut käsittelevät muun muassa satokasvien fyysisten ominaisuuksien ja ympäristöolosuhteiden kaukomittausta. Lisäksi osassa julkaisuja tarkasteltiin langattomia anturiverkkoja viljelytoiminnassaan käyttäviä maataloita. (Talavera ym. 2017)

Valvontaa käsittelevien julkaisujen esittelemien teknologiasovelluksien pääasiallinen tarkoitus on informaation automaattinen keruu ilman ihmisen suorittamia toimintoja sekä kerätyn datan siirto palvelimelle tai tallennuspalveluun käsittelyä ja visualisointia varten (Talavera ym. 2017). Viime aikoina perinteinen anturiverkko on kehittynyt IoT-yhteensopivaksi ratkaisuksi yleisten tietoliikennestandardien avulla, mahdollistaen internet-yhteydet ja älykkään analytiikan käyttöönoton, pyrkien parantamaan valvontaa ja/tai kontrollointia (Tzounis ym. 2017). Järjestelmiin integroidut valvontatyökalut mahdollistavat sekä jatkuvan viestinnän käytetyn langattoman anturiverkon kanssa että tallennettuun tietoon pääsyn Internetin yli (Talavera ym. 2017).

IoT-perustainen älykäs maanviljelytoiminta tuottaa lisäarvoa viljelijöille auttamalla heitä merkityksellisen tiedon keräämisessä satokasveista ja tilan toiminnasta käyttämällä anturilaitteita. Osa Talavera ym. (2017) tekemän kirjallisuuskatsauksen käsittelemistä IoT-järjestelmistä kykeni näyttämään, käsittelemään ja analysoimaan tietoa käyttämällä pilvipalveluita uusien näkemysten ja suositusten tuottamiseen paremman päätöksenteon mahdollistamiseksi. Tzounis ym. (2017) korostivat samoin valvonnan ratkaisuiden tärkeyttä aikaisempaa tarkempien päätösten tekemisessä tuotannon määrän ja laadun optimoimiseksi. Ympäristöolosuhteiden lisäksi valvonnan kohteeksi on viime aikoina tullut kasvien reaktioiden tarkkailu.

Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa valvonnan osa-alueen julkaisuissa käsitellyt teknologiasovellukset jaettiin kolmeen arkkitehtuuritasoon: 1) WSN:n tukema havaintokerros (engl. perception layer), 2) tietoliikennekerros (engl. network layer), missä antureilta saatu informaatio siirretään pitkiä matkoja ja 3) sovelluskerros (engl. application layer) joka pitää sisällään web-palvelimet ja tietokannat.

Valvontaa käsittelevien julkaisujen esittelemät teknologiasovellukset keskittyivät tarkkailemaan useita eri tyyppisiä fyysisiä muuttujia. Valvonnan sovellukset voidaan jakaa ryhmiin tarkkailun kohteen mukaan. Valvonnan osa-alueen julkaisut jaettiin Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa tarkkailun kohteen mukaan ilmanlaadun (34.5 %), maaperän (27.3 %), vedenlaadun (16.4 %), kasvien (10.9 %) sekä muiden kohteiden (10.9 %) tarkkailuun. Monet julkaisuista käsitelivät useampia tarkkailun kohteita (Talavera ym. 2017). Tzounis ym. (2017) vastaavasti luokittelivat valvonnan osa-alueen ratkaisut niiden toiminnallisuuksien mukaan ja yhdessä kontrolloinnin ratkaisuiden kanssa:

- Tarkkailuun ja jossain tapauksissa varoitusten tuottamiseen havaintojen perusteella.
- Tarkkailuun analytiikan ja kontrolloinnin kanssa.
- Järjestelmän tekemien suositusten ja/tai täysautomaattisen kontrolloinnin kanssa.
- Tarkkailuun laskentatehoa vaativien anturityyppien ja tehokkaampien anturilaitteiden kanssa.

Kasvihuone- ja kasvitehdassovelluksia käsittelevistä julkaisuista useat keskittyivät vain paikallisena tai etäisesti toteutettuun tarkkailuun, jonka tuottamaa tietoa voitiin esittää käyttäjille eri tavoilla kuten verkkosivujen tai mobiilisovelluksien avulla.

Peltotuotannon sovelluksia Tzounis ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa käsittelevissä julkaisuissa keskityttiin yleensä ilmasto-olosuhteiden ja maaperän mittaamiseen. Usein julkaisuissa käytettiin maaperämittauksissa useita antureita eri syvyyksillä. Useissa julkaisuissa optisia antureita käytettiin kasvien heijastuskyvyn mittaamiseen tai lämpötilan etävalvontaan, mutta myös pellon yleistilanteen kartoittamiseen. Osassa julkaisuista havaittiin, että peltotuotannon sovelluksissa maanalaiset anturiverkot voivat tuottaa selkeitä etu-

ja. Kehitys sulautettujen laitteiden teknologioissa sekä niiden hintojen aleneminen on mahdollistanut tehokkaiden anturilaitteiden käytön ja paikallisen tietojenkäsittelyn sumutietojenkäsittelyä. Kuvantamisdataa tuottavia anturilaitteita käytettiin julkaisuiden esittelemisissä ratkaisuisa tavallisina turvakameroina, eläinten tunkeutumisen havaitsemiseksi, hyönteisten tai haittakasvien uhkien havaitsemiseksi ja satokasvien kasvun tarkkailussa. Jos täsmällinen paikkatieto oli tarpeen, peltotuotannon sovelluksien julkaisuisa käsiteltiin myös IoT-ratkaisuiden ja paikkatietojärjestelmien integraatiota. (Tzounis ym. 2017)

Viimeaikaisissa tutkimuksissa on ympäristön tarkkailu- ja mittausratkaisuihin lisätty toiminnallisuksia päätöksenteon ja hallinnoinnin tueksi. Esimerkiksi automaattisen kasvitauntineuvontapalvelun järjestelmäkehikko, joka integroi maatalousneuvonnan puhelinpalvelun ja IoT-pilvipalvelun. Järjestelmä käsittelee automaattisesti viljelijän lähettämiä kuvia kasvitautista ja antaa diagnoosin sekä toimenpidesuosituksen diagnosoidun kasvitaudin hoitamiseksi. (Talavera ym. 2017)

### ***Kontrollointi***

Kontrollonin osa-alueen julkaisut käsittelevät ohjattavaan ympäristöön asennettuja etätoimilaitteita (remote actuator). Toisin kuin valvonnan ratkaisuisa joissa tietoliikenne on yksisuuntainen, tämän osa-alueen ratkaisuisa se on kaksisuuntainen. Tällöin komentoja voidaan lähettää palvelimelta tai pilvipalvelusta langattomaan anturi- ja toimilaitteverkkoon (WSAN), jossa tuotantoprosessiin tai -ympäristöön voidaan vaikuttaa toimilaitteita ja aktuaattoreita kontrolloimalla.

Kasvi- ja ilmastomallinnuksen sekä data-analytiikan avulla järjestelmät voivat tuottaa arvioita viljely-ympäristön ilmaston ja/tai kasvien tilasta paremman päätöksenteon mahdollistamiseksi tai varoitusten tuottamiseksi. Useissa julkaisuisa esitetyt kasvihuonetuotannon järjestelmät ovat parantaneet resurssitehokkuutta ja muun muassa kastelun täsmällisyyttä. Kasvihuonetuotannon yhteydessä pilvipalveluita soveltavat ratkaisut ja kasvitehtaat ovat yleistymässä. Pilvipalveluiden avulla voidaan dataa analysoida syvällisemmin, nopeammin, tehokkaammin, edullisemmin ja luotettavammin kuin aikaisemmin. (Tzounis ym. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Osa-alueen julkaisujen esittämät teknologiaratkaisut voivat auttaa viljelijöitä optimoimaan kasteluveden käyttöä säätämällä kastelun ajastusta ja määrää kasvien todellisen tarpeen mukaiseksi. Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksen käsittelemät kontrollointijärjestelmät oli ohjelmoitu sopeutuviksi, esimerkiksi keskeyttämään kastelu sateen sattuessa. Kokonaisuudessaan käsitellyt ratkaisut voivat säästää rahaa ja samalla tarjota arvokasta tietoa kasteluveden, lannoitteiden, kasvinsuojeluaineiden ja sähkön kulutuksesta.

Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa kontrolloinnin osa-alueen ratkaisuihin kommentoja lähetettiin joko käyttäjän toimesta käyttöliittymän avulla tai analytiikkamodulien tukeman päätöksentekoa algoritmin tuloksena. Katsauksessa käsitellyistä julkaisuista useat järjestelmät pyrkivät veden, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käytön optimointiin. Tähän optimointiin pyrittiin yleensä sääennustepalveluiden ja paikallisen anturiverkon tuottamien tietojen avulla.

Kasvihuoneiden ja -tehtaiden kontrollointijärjestelmät, joissa sovellettiin data-analytiikkaa ja dataa siirrettiin pilvipalveluihin internetin yli, olivat Tzounis ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa selkeästi esillä, mutta Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016) katsauksessa vähemmistönä. Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016) havaitsivat, että useimmat kasvihuonejärjestelmiä käsittelevät julkaisut keskittyivät kasvihuoneen ilmastoon ja kastelun tarkkailuun ja kontrollointiin. Pieni osa pyrki kasvihuoneen kontrollointijärjestelmän toteuttamiseen tai energiankulutuksen hallintaan. Puutarhatuotannon järjestelmät keskittyivät pääasiassa tuotteiden tarkkailuun ja kontrollointiin, osan pyrkiessä tuholaistorjunnan ja aikaisten varoitusten järjestelmien toteuttamiseen. Yksittäiset julkaisut käsitelivät jäljitettävyyttä, asiantuntijajärjestelmiä, internet-kauppaa, tarkkuuskastelua ja massadatan käyttöä.

Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa käsitellyissä julkaisuissa kontrollointijärjestelmien käyttämien toimilaitteiden tyypit vaihtelivat huomattavasti. Toimilaitteiden tyypit jakautuivat seuraavasti: kastelu 72,22 %, lannoitus 5,56 %, kasvinsuojelu 5,56 %, valaistus 5,56 %, pääsyn hallinta 5,56 %. Lisäksi osa katsauksessa käsitellyistä julkaisuista käytti toimilaitteita logistiikassa (5,56 %).

Tzounis ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa käsitellyistä julkaisuista viidessä pyrittiin tuottamaan täysautomatisoitu kontrollointijärjestelmä, joissa kontrollikäskyt tuotettiin anturidatasta tehdyn analytiikan tulosten perusteella. Näin pyrittiin toteuttamaan täysautomatisoitu kierto anturien tekemistä havainnosta analytiikan kautta tehtyyn päätökseen, joka toteutettiin toimilaitteilla. Lopulta tapahtunutta muutosta viljely-ympäristössä tarkasteltiin antureilla, jolloin kierto alkoi taas alusta. Kahdessa julkaisuista oli toteutettu kasvihuoneissa langattomaan anturi- ja toimilaitteverkkoon perustuva yhden tai useamman toimilaittejärjestelmän kuten ilmastointi- ja kastelujärjestelmän kontrollointi. Näissä järjestelmiä voitiin kontrolloida etäisesti kahdella tavalla: joko viljelijän toimesta käsisääntöisesti tai järjestelmän hallinnoijan toimesta ja päätöksentekojärjestelmän avustamana. Kahdessa julkaisussa esitellyt järjestelmät sisälsivät peltotuotannon etävalvonnan, varoitukset ja kontrolloinnin. Kasvihuoneissa tai vastaavissa hallituissa ympäristöissä vastaavia järjestelmiä käsitteleviä julkaisuja oli kolme. Yhdessä julkaisussa oli toteutettu myös integroitu tuholaistorjunta (IPM).

## Logistiikka

Logistiikan osa-alueen julkaisut keskittyivät fyysisten kokonaisuuksien virtaukseen ja siihen liittyvään informaatioon tuottajalta kuluttajalle kulutuskysynnän tyydyttämiseksi. Tähän ketjuun sisältyy maataloustuotanto, hankinta, kuljetus, varastointi, lastaus, käsittely, pakkaus, jakelu sekä niihin liittyvät toiminnot. Maatalouden logistiikan tavoitteisiin kuuluivat muun muassa maataloustuotteiden arvon lisäys, jakelukustannuksien vähentäminen, kuljetustehokkuuden lisäys, tarpeettoman hävikin vähentäminen sekä jossakin määrin riskien välttäminen. Ruuan turvallisuuden ja laaduntarkkailun IoT-ratkaisut logistiikassa ovat yleistymässä vastauksena yritysten ja kuluttajien vaatimuksiin sekä reaaliaikaisesta tiedosta ruokaketjun toiminnasta että ruoan jäljitettävyydestä pellolta pöytään. (Talavera ym. 2017)

RFID-tunniste on ruoan tuotantoketjuissa yleisin käytössä oleva IoT-teknologia, jonka avulla voidaan seurata maatalouden tuotteiden liikkumista tuotantoketjussa. IoT-paradigman mukaisesti viimeaikaisissa julkaisuissa oli yhdistetty useita antureita rikastamaan kerättävää tietoa tuotteen tilasta aina kun tuotteen RFID-tunniste luetaan ja tallennetaan. (Tzounis ym. 2017)

IoT:in yleiseen luonteeseen kuuluu ratkaisuiden hajautuneisuus sekä asynkroninen ja heterogeeninen tietovirta. Tästä johtuen ruoan tuotantoketjun palveluissa nimeäminen ja nimeämiskäytännöt ovat tärkeitä tiedon tarkalle ja nopealle löytämiselle. IoT-infrastruktuurin toteutuminen johtaa tuotantoketjujen virtualisointiin, eikä tarkkailun enää tarvitse tapahtua fyysisesti varsinaisen tuotannon lähellä. (Tzounis ym. 2017) Useiden IoT-teknologioiden kehitys ja kypsyminen yhdistettynä niiden kestävyden paranemiseen on mahdollistanut tutkijoille anturimoduleita ja ohjelmistoinfrastruktuureita soveltavien kokonaisten tuotantoketjujen seurantajärjestelmien kehittämisen. Näiden seurantajärjestelmien käyttämät ohjelmistot voivat sijaita keskitetysti yhdessä pilvipalvelussa tai ne voivat toimia hajautetusti eri sidosryhmien kesken. (Tzounis ym. 2017)

Ruoan tuotantoketjut voivat olla erittäin monimutkaisia ja hajautettuja. Maantieteelliset ja ajalliset mittakaavat ovat laajoja, prosessit monimutkaisia ja sidosryhmät moninaisia. Tuotantoketjun kompleksisuus on aiheuttanut useita ongelmia laaduntarkkailussa, toiminnan tehokkuudessa ja ruoan turvallisuudessa. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014) Moderni maatalous on toimintatavoiltaan tyypillisesti yhä teollisempaa, jolloin ruoan turvallisuuden ja laadun takaamiseksi standardisointimekanismeja tulisi ottaa käyttöön kaikissa tuotantoketjun vaiheissa. Ruoan laadun ja turvallisuuden tarpeet ovat kasvattaneet yleistä kiinnostusta ruokaketjun jäljitettävyydejärjestelmiä kohtaan. Ruoan tuotantoketjua voitaisiin IoT-teknologioiden avulla tarkkailla pellostä pöytään asti: täsmäviljelystä ruoan tuotantoon,

prosessointiin, varastointiin, jakeluun ja kulutukseen. Tulevaisuudessa on odotettavissa turvallisempien, tehokkaampien ja kestävämpien ruoan tuotantoketjujen toteutuminen, minkä lisäksi tuotantoketjuista saatava massadata mahdollistaisi data-analyysiin perustuvan liiketoimintaprosessien ja päätöksenteon parantamisen. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Tzounis ym. 2017)

Tzounis ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa ruoan tuotantoketjun ratkaisut keskittyivät joko tuotantoketjun liiketoiminnan puoleen tai siinä sovellettaviin teknologioihin. Muutamit julkaisut pyrkivät esittämään ratkaisuita molempien puolien kattamiseen. Tuotannon valvonnan lisäksi katsauksessa kahdessa julkaisussa oli mallinnuksien avulla analysoitu ruoan tuotantoketjujen ongelmia ja pyritti ratkaisemaan niitä IoT-teknologioiden avulla. Osassa julkaisuja pyrittiin tuotantoketjun kokonaisvaltaisen tiedonhallintajärjestelmän tuottamiseen tai tuotantojärjestelmän suunnitteluun taloudellisen tuoton maksimoimisen lähtökohdasta.

Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016) kirjallisuuskatsauksen käsittelemistä julkaisuista selkeästi suurin osa keskittyi tuotantoketjun IoT-ratkaisuihin. Näistä suurin osa (29/68) keskittyi ruoan turvallisuuteen ja laatuun, mikä tekijöiden mukaan voi johtua Kiinassa tapahtuneista elintarviketuotannon kriiseistä ja skandaaleista. Useissa (14) julkaisuissa pyrittiin konkreettisen tuotantoketjun tarkkailujärjestelmän kehittämiseen. Tarkkailujärjestelmiin liittyen kolmessa julkaisussa käsiteltiin tuotantoketjun vaara-analyysijä ja aikaisten varoitusten tuottamista. Toiseksi eniten katsauksessa tuotantoketjuun liittyvistä julkaisuista käsitelti erilaisia seurannan ja jäljittämisen IoT-ratkaisuita (26). Lisäksi useat julkaisut liittyivät kylmäketjun logistiikkaan ja sen olosuhteiden valvontaan, joista osa erityisesti ketjun läpinäkyvyyteen ja luotettavuuteen. Osa julkaisuista käsitelti tuotantoketjun kestävyttä ympäristön kannalta kuten saastuttavuutta. Muita julkaisuissa käsiteltyjä aiheita olivat sosiaalinen media yhdessä sähköisen kaupankäynnin kanssa, tuoteinventaarion hallinta, tuotteiden säilyvyys, kuluttajien vuorovaikutus ja virtualisaatio. Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyjen logistiikan osa-alueen julkaisut ryhmiteltiin vastaavasti tuotantoon (55,6 %), kaupankäyntiin (22,2 %) ja kuljetukseen (22,2 %).

## **Ennustus**

Kerätyn datan perusteella ja mallinnuksen sekä älykkäiden algoritmien avulla voidaan muodostaa näkemyksiä tuotannon prosessien tilasta, tehdä sekä päätelmiä vallitsevasta tilanteesta että ennusteita tulevista mahdollisuuksista. Ennusteista voidaan tuottaa aikaisia varoituksia satokasveihin kohdistuvista uhkista kuten kasvitaudeista ja hyönteisinvaaasioista. Varoitusten lisäksi ennusteiden perusteella voidaan tuottaa myös kasvien reaktioihin perustuvia automatiikan kontrollikäskyjä. Vaikka ennusteiden tekemiseen tarvit-



tavat algoritmit vaativat enemmän laskentatehoa kuin verkon reunalla toimivissa anturilaitteissa yleensä on saatavilla, voidaan IoT-paradigman mukaisesti raskaampi laskenta kohdistaa pilvipalveluihin tai hajauttaa useiden laitteiden toteutettavaksi sumutietojenkäsittelyä. (Tzounis ym. 2017)

Ennustuksen osa-alueen julkaisut keskittyivät Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa viljelijän päätöksenteossa tarvittavan tiedon ja työkalujen tuottamiseen. Esiitettyjen ratkaisuiden arkkitehtuurissa oli tähän tarkoitukseen erityiset moduulit. Ratkaisuiden ennustamat muuttujat ryhmiteltiin seuraavalla tavalla: ympäristöolosuhteet (42,86 %), tuotantoennusteet (42,86 %) ja satoennusteet (14,29 %). Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016) katsauksessa useat julkaisuista käsittelevät viljelyn tarkkailun ja kontrollointijärjestelmien toiminnan tukemista kasvien kasvua ennustavilla mallinnusjärjestelmillä.

Yleisesti kirjallisuuskatsausten ennustuksia käsittelevissä julkaisuissa pyrittiin anturien tuottaman datan perusteella ennustamaan esimerkiksi kasvien tarvitseman kastelun ja lannoitepanosten määrää (Talavera ym. 2017; Tzounis ym. 2017) sekä satokasvien kasvua (Talavera ym. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016). Osassa ratkaisuita pyrittiin myös tuotannon ja kysynnän tasapainottamiseen satokasvien kasvuennusteiden avulla (Talavera ym. 2017).

Tzounis ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa mainittiin myös Microsoftin vuonna 2015 julkaissama kokonaisvaltainen maanviljelyn IoT-ratkaisu FarmBeats, joka kattaa UA-laitteiden ja anturien tarvitsemat toiminnot, liitettävyyden tuen ja pilvipalvelut koneoppimiseen perustuvaa analytiikkaa ja ennusteiden tuottamista varten (Tzounis ym. 2017).

#### **5.1.4 AloT:in avoimet haasteet kirjallisuudessa**

Tässä alaluvussa käsitellään kirjallisuuskatsauksen aineistossa esiintyneet AloT:in avoimet haasteet. Yleisimmät ja eniten aineistossa kuvailut haasteet on kerätty omiin alalukuihinsa ja harvemmin esiintyneet tai vähemmän kuvailut, mutta selkeästi yksilölliset haasteet on kerätty omiin alalukuihinsa.

Vaikka yleisesti IoT:in paradigman mukaisen vision toteuttaminen on mahdollista, tutkimustyötä tarvitaan vielä lisää esimerkiksi standardisaation, tietoliikenteen ja tietoturvan ratkaisuiden kehittämiseksi. Atzori, Iera & Morabito (2010) mukaan IoT:in yleiset haasteet ja tutkimuskohteet ovat: standardit, järjestelmien välisen liikkuvuuden tuki, nimeäminen, tietoliikenneprotokollat, tietoliikenteen tyypittely ja palvelunlaatu, todentaminen, datan eheys, yksityisyys ja digitaalinen unohtaminen.

ICT- ja erityisesti IoT-teknologiat muuttavat maataloutta nopealla tahdilla. Suuren mittakaavan käyttöönottojen kautta näillä teknologioilla on selkeä potentiaali tuottaa huomatta-

via etuja tehokkaan ja kestäväen maanviljelyn muodossa, varmistamalla ruokaturvaa pienempien ympäristövaikutusten kautta sekä takaamalla terveellinen ja turvallinen elintarviketuotanto. Etujen saavuttamiseksi vaaditaan useiden IoT:in teknisten ja yhteiskunnallisten haasteiden ja esteiden voittamista. Nämä haasteet voivat kuitenkin tuottaa myös uusia mahdollisuuksia teknologialle kehitykselle ja arvon tuottamiselle. (Sundmaeker ym. 2016)

### **Standardisaation haasteet**

AIoT:in alalla vahva standardisaatio parantaisi eri valmistajien laitteiden ja järjestelmien välistä yhteentoimivuutta. Valtava kirjo erilaisia IoT-laitteita ja niiden tuottamaa heterogeenistä dataa asettavat haasteita standardisaatiolle, jonka avulla niiden yhteentoimivuutta voitaisiin edistää. Yksi tärkeimmistä avoimista haasteista on olemassa olevien IoT-ratkaisuiden integraatio avoimilla IoT-arkkitehtuureilla, alustoilla ja standardeilla. Vahvan standardisaation mahdollistaman yhteistoiminnallisuuden avulla koko IoT-tekniologiapaketin tietoturva vahvistuisi; alkaen kentällä olevista laitteista pilvipalveluihin ja loppukäyttäjän käyttöliittymiin asti. (Kaloxyllos ym. 2013, s. 56; L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Talavera ym. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

IoT-tekniologiapaketin yhteentoimivuuden edistämiseksi on tarvetta investoinneille yhteisen infrastruktuurin rakentamiseen, jotta datan siirtely ja integraatio mahdollistuisi. Tämän kautta mahdollistuisi dataa hyödyntävien sovelluksien kehittäminen. Tällä hetkellä on yleistä, että maatilakohtainen data pysyy yhden yrityksen hallussa mikä asettaa esteitä integroivalle sovelluskehitykselle. Keskeinen näihin sovelluksiin liittyvä kysymys on, tulevatko ne olemaan suljettuja ja omisteisia vai avoimia järjestelmiä. Sovellusinfrastruktuurien kuten alustapalveluiden ja standardien jatkokehitys sekä niiden käyttöönotto organisaatioissa on kriittinen tekijä näiden kahden skenaarion "taistelun" ratkaisussa. Avoimempiin ratkaisuihin siirtymistä edistävät erityisesti osakuntiin tai koalitiioihin järjestäytyneet viljelijät, jotka ovat huolestuneet datan yksityisyydestä ja turvallisuudesta, mutta haluavat myös tuottaa arvoa oman datansa avulla. (Wolfert ym. 2017)

Yhteen toimittajaan lukittumisen, järjestelmien yhteensopimattomuuden jne. riskien takia suljetut arkkitehtuurit, alustat ja standardit asettavat esteitä AIoT-ratkaisuiden laajamittaiselle omaksumiselle. Yksi maatalous- ja elintarviketuotannon sektorin haasteista on uusien avoimien ja maailmanlaajuisten standardien määrittely sekä niiden jatkuva linjaaminen nykyisten IT- ja maatalousalan standardisointihankkeiden kanssa. Lisäksi AIoT:in haasteita käsiteltäessä tulisi painottaa päätöksenteon avustamista sovellustasolla. Päätöksenteon avustamisen avulla voidaan realisoida AIoT-ratkaisuiden tarjoamia etuja, mutta sen toteuttamiseksi tarvitaan löyhästi kytkettyjä, modulaarisia, rajapintaperustaisia ohjelmistoympäristöjä, jotka mahdollistavat anturidatan keräämisen ja heterogeenisistä lähteistä

kerätyn datan vuorovaikutteisuuden. Tämä tarve korostuu pienissä ja keskisuurissa maatalousyrityksissä, jotka muodostavat suurimman osan toimialan ja tuotantoketjujen toimijoista. (Sundmaeker ym. 2016) Yleisen palvelukeskeisen arkkitehtuurin kehittäminen IoT-järjestelmille mainitaan L. D. Xu, W. He & S. Li (2014) katsauksessa suurena haasteena palvelukehityksen toimijoille.

Standardisaation tärkeys näkyi myös Tzounis ym. (2017) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa, jossa havaittiin useiden tutkimusten keskittyvän IoT:in keskeisten teknologioiden standardointiin. Kuten monien muiden IoT:in aspektien yhteydessä, yhteentoimivuus on heidän mukaansa myös langattoman tietoliikenteen suurin haaste ja he keskittyivät standardisaation haasteista nimenomaisesti langattomaan tietoliikenteeseen. Muut aineistossa käsitellyt kirjallisuuskatsaukset käsitelivät standardisaatiota laajemmin eri lähtökohdista.

### ***Tieto- ja kyberturvallisuuden haasteet***

Muiden teollisuudenalojen tapaan maatalouden tuotantoketjujen muuttuessa yhä datavoisemmiksi datasta muodostuu yhä arvokkaampaa omaisuutta. Viljelytoiminnasta laitteiden keräämä data voi sisältää suuria määriä viljelijöille toimintakriittistä tietoa, kuten tietoja maaperän hedelmällisyydestä ja satoisuudesta. Tästä johtuen viljelijöiden tulisi saada vahva vakuus heidän tuottamansa data suojauksesta erityisesti pilvipalveluiden yhteydessä. Useat käyttäjät ovat huolissaan datan omistajuudesta, yksityisyydestä ja turvallisuudesta, mikä usein johtaa luottamuspuolaan ja odottavaan asenteeseen. Toisaalta useilta maataloilta aggregoidulla datalla on potentiaalia huomattavaan arvon tuottamiseen. Viljelijöiden tulisi kuitenkin ymmärtää tällaisesta datan kokoamisesta saavutettavat edut sekä saada vakuudet heidän omien tietojensa turvallisesta käsittelystä. DRM-ratkaisut tulisi siis tuoda myös maatalouden järjestelmiin, erityisesti dataa jakavissa ja yhdistelevissä skenaarioissa. Lisäksi teknisen tietoturvan näkökulmasta haasteena on datan eheyden ja autenttisuuden takaaminen. Tämä on tärkeää ruoan turvallisuuden ja jäljitettävyyden sovelluksissa, joissa tuotteen alkuperän ja prosessoinnin tietojen tulee olla luotettavia. (Sundmaeker ym. 2016)

Maatalouden IoT-sovelluksissa on selkeä tarve ratkaisuille, jotka huomioivat sekä kokonaisvaltaisen tietoturvan että kentällä käytettävien laitteiden fyysisen turvallisuuden ja eheyden. Luotettavan kokonaisvaltaisen tietoturvan, yksityisyyden suojan ja datan omistajuuden ratkaisuiden saatavuuden varmistaminen on ylipäätään huomattava haaste. Erityisen haastavaksi tämän tekee maatalouden toimintaympäristössä vaatimus ratkaisuiden soveltuvuudesta dynaamisten ja monimutkaisten sidosryhmien verkostojen tarpeisiin, kun sidosryhmiin kuuluu hyvin pieniä yrityksiä, suuria monikansallisia konserneja sekä viran-

omaisia joiden kaikkien tulisi toimia yhteistyössä. (Talavera ym. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Sidosryhmien tietojen turvallisuus, eheys, luottamuksellisuus ja yksityisyyden suoja tulisi varmistaa siirryttäessä perinteisistä toimintamalleista IoT-sovelluksien käyttöön. IoT:in tietoturva kiteytyy kolmeen vaatimukseen: tunnistus, luottamuksellisuus ja käyttöoikeuksien hallinta. IoT-ratkaisut tulisi suojata ulkoisia hyökkäyksiä vastaan havaintotasolla, turvata datan kerääminen tietoliikennetasolla ja vastaavasti sovellustasolla tarjota eriteltyt vaakuudet siitä, että vain valtuutetuilla tahoilla on pääsy ja oikeudet muuttaa tietoja. (Tzounis ym. 2017) Hajautetun päätöksentekojärjestelmän laajalle käyttöönotolle on kriittisen tärkeää huolehtia tietoturvasta, anonymiteetistä ja pääsynhallinnasta. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Tzounis ym. 2017) Tietoturvan takaaminen on usein haasteellisempaa IoT-ratkaisuiden kuin perinteisten tietojärjestelmien tapauksessa, koska hyökkäysvektoreita on selkeästi enemmän. Lisäksi IoT-ratkaisuiden tietoturva tarvitsee vielä kehitystä tietoturvan ja yksityisyyden määrittelyssä sosiaalisista, lainsäädännöllisistä ja kulttuurillisista näkökulmista, samoin kuin yleisten luottamuksen ja maineen mekanismien tapauksessa. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014)

Laitteiden fyysinen tietoturva on tärkeä maatalouden toimintaympäristössä, jossa laitteet voivat sijaita avoimilla pelloilla ja toimia ilman valvontaa pitkiäkin aikoja. Laitetasolla yleisimpiä avoimia tietoturva-asteita ovat datan tuotantovaiheen tietoturva ja laitteistojen fyysinen turvallisuus. Laitteiden tietoturvan parantamiseksi tulisi käyttää salausalgoritmeja, avainten jakelun käytänteitä, tunkeutumisenhavaitsemisjärjestelmiä ja turvallisia reitityssäntöjä, ottaen huomioon laitteiden asettamat rajoitukset. Pyrittäessä estämään valtuuttamattomien tahojen pääsy kerättyyn dataan tulee ottaa huomioon käyttäjätunnistus, tietojen luottamuksellisuus ja käyttöoikeuksien hallinta myös datan tuotantovaiheessa. (Tzounis ym. 2017) Lisäksi laitteiden ja anturien, mukaan lukien tunnistetut kuten RFID, tunnistamiseen tulisi kehittää aikaisempaa kevyempiä ja vähemmän laskentatehoa vaativia salaamenetelmiä ja protokollia (Vermesan & Friess 2011). Koska maatalouden järjestelmiin kuuluu usein automaattisesti kontrolloitavia toimilaitteita, on tietoturvasta huolehtiminen ja järjestelmien tunkeutujilta suojaaminen tärkeää myös käyttäjien fyysisen turvallisuuden takia (Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami 2013).

Tietoturva muodostaa keskeisen osan käyttöturvallisuudesta erityisesti maatalouden erikoisajoneuvojen ja työkoneiden järjestelmissä, joiden elinkaari voi olla useita vuosikymmeniä. Tällöin tietoturvan ylläpito muodostuu haasteelliseksi: näissä erikoisajoneuvoissa on käytössä lähes poikkeuksetta alun perin suojaamattomaan CAN-väylään (engl. Controller Area Network; ks. ISO 11898-1) perustuva ohjausratkaisu, johon voidaan tulevaisuudessa lisätä tietoliikennetoimintoja. Näiden laitteiden liittäminen tietoverkkoihin avaa

reitin niiden väyläratkaisuihin, mistä voi muodostua huomattava kyberuhka jos niiden tietoturva ei huolehdita asianmukaisesti. (Laajalahti 2017)

Tietoliikennekerroksen ja sovelluskerroksen välillä toimivan väliohjelmiston tietoturva tulee myös ottaa huomioon. Väliohjelmiston hoitaessa sekä tiedon käsittelyä että rajapintoja tietoliikenne- ja sovelluskerrosten välillä, sen tietoturva vaatii luottamuksellisuutta tietojen käsittelyssä ja turvallisuutta tietojen taltioinnissa. (Tzounis ym. 2017)

IoT-sovelluksissa yleensä käytettäville laitteille langattomien tietoliikenneyhteyksien tietoturvan toteuttaminen voi olla haastavaa. IoT-järjestelmät voivat helposti altistua palvelunestohyökkäykselle, valtuudettomalle pääsy-yritykselle, väliintulohyökkäykselle ja/tai haittaohjelmajektioille jotka kohdistuvat ja vaikuttavat järjestelmän luottamuksellisuuteen ja tiedon eheyteen. Todentaminen, tunkeutumisen havaitseminen ja pääsynhallinta voivat tarjota ratkaisuita tietoliikennetason uhkia vastaan. (Tzounis ym. 2017)

Sovelluskerros IoT-arkkitehtuurien usein ylimpänä tasona on lähellä pilvipalveluita. Sovelluskerroksen tietoturvakysymykset ovat samankaltaisia pilvipalveluiden vastaavien kanssa kuten tietoturva, yksityisyyden suoja, varmuuskopiointi ja tietojen pelastus. Myös sovelluskerroksessa hallintamekanismien tulee hallinnoida tiedon käyttöoikeuksia, sen omistajuutta ja pääsyoikeuksia tietoihin sekä fyysisten käyttäjien tapauksessa että laitteiden, järjestelmien ja organisaatioiden välillä. (Tzounis ym. 2017) IoT-ratkaisut tarvitsisivat pilviperusteisen tietoturvapalvelun, joka sisältäisi pääsynhallinnan, salauksen ja protokollien arvioinnin, identiteetinhallinnan, ja auditoinnin toiminnot (Vermesan & Friess 2011).

Selkeästä tarpeesta huolimatta Talavera ym. (2017) havaitsivat kirjallisuuskatsauksessaan, että katsauksessa käsitellyistä tutkimuksista vain muutama otti tietoturvan ylipääntään huomioon ja niissäkin sovellettiin vain hajanaisia strategioita tietoturvariskien lieventämiseksi. Toisaalta Tzounis ym. (2017) käsitelivät kirjallisuuskatsauksessaan AIoT-ratkaisuiden tietoturvaa laajasti ja erityisesti järjestelmäkehityksen näkökulmasta.

### ***Laitteiden energiatehokkuuden haasteet***

AIoT-järjestelmien kehityksen keskeisiä haasteita on energiatehokkaiden IoT-teknologioiden, laitteiden ja tietoliikenneteknologioiden kehittäminen nimenomaisesti maatalouden tarpeisiin (Sundmaeker ym. 2016; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016). Tämä koskee erityisesti laitteita, jotka ovat tyypillisiä AIoT-ratkaisuille: jotka eivät ole yhteydessä sähköverkkoon, joita käytetään ulkona ja joita ei huolleta säännöllisesti. Energiatehokkuuteen liittyvä virrankulutus on Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa useiden tutkimusten mukaan suurin IoT-laitteiden elinkaarta rajoittava tekijä. Laitteiden elinkaarta voitaisiin heidän mukaansa pidentää virrankulutusta vähentämällä, lisäämällä energiake-

räimiä sekä käyttämällä vaihtoehtoisia tehon varastointilaitteita akkujen sijaan. Vastaavasti Atzori, Iera & Morabito (2010) kertoivat katsauksessaan, että energia on usein anturiverkkojen käyttötapauksissa harvinaisin käytettävissä oleva resurssi ja ratkaisuihin joissa käsiteltiin anturiverkkoja pyrittiin erityisesti energiatehokkuuden parantamiseen.

Langattomien anturiverkkojen kehittämisen haasteena on useiden voimanlähteiden energiakeräimien sekä aikaisempaa energiatehokkaampien antureiden kehittäminen akuttomien WSN-ratkaisuiden mahdollistamiseksi. Nämä ovat erityisen tärkeitä AIoT-ratkaisuille koska laitteiden akkujen lataus tai vaihtaminen ei ole aina käytännöllistä, samalla kun energialähteitä kuten aurinko- ja tuulienergiaa on usein saatavilla käyttöympäristöstä. (Talavera ym. 2017) Samoin Tzounis ym. (2017) mukaan AIoT-ratkaisuiden havaintokerroksen laitteiden tulee pysyä aktiivisina ja toimia luotettavasti pitkiä aikoja usein rajatun akkukapasiteetin varassa. Matala virrankulutus on myös heidän mukaansa tarpeellinen, koska akkujen vaihtoa ei ole tiheällä aikavälillä käytännöllistä toteuttaa. Energiankeräimillä kuten aurinkokennoilla tai tuuliturbiineilla voidaan rajatussa määrin pienentää tätä ongelmaa, mutta laitteen energiankulutuksen tulisi lähtökohtaisesti olla mitoitettu käytettävien energiankeräimien mukaisiksi.

AIoT:in etujen saavuttamiseksi tulisi sekä anturi- että toimilaitteiden energiankulutusta vähentää niin paljon, että niistä voisi tulla lähes täysin riippumattomia ulkoisista energialähteistä (Sundmaeker ym. 2016). Energiankulutuksen hallintaan energiankeräimen mukaan on pyritty kehittämällä aurinkoenergialla toimivien laitteiden virrankäytön hallintaa varten älykäs hallintastrategia. Sen avulla pyritään hankkimaan laitteen tarvitsema energia suoraan aurinkokennosta ja välttämään muuntajien ja akkujen tarve. Tällöin laitteiden hyötysuhde paranee, paino/tilavuussuhde pienenee ja hinta laskee. (Talavera ym. 2017)

Energiankulutuksen hallinnan lisäksi todennäköisesti kasvava trendi IoT-ratkaisuihin on ns. self-powered -laitteiden yleistymisen. Esimerkiksi maaperän kosteutta on käytetty laitteiden energianlähteenä, jolloin laitteita voidaan ottaa käyttöön laajamittaisesti ilman energiankeräimiä tai -varastointilaitteita. Anturidatan hankintaan on myös kehitetty pilvipohjainen päätöksentekomekaniikka, jonka avulla hajautetuista anturilaitteista voidaan kerätä dataa automaattisesti valitsemalla tietyt anturilaitteet kutakin mittausta varten. Tämän avulla voidaan tehokkaasti tarkkailla suuria maantieteellisiä alueita, välttämällä paikallisen datan lataaminen useilta lähekkäisiltä anturilaitteilta. Näin järjestelmä pyrkii ylläpitämään alueellisen mittauksen laatua ja vähentämään yksittäisten anturilaitteiden virrankulutusta. (Talavera ym. 2017)

## ***Laitteiden kestävyiden haasteet***

AIoT-ratkaisuiden haastava toimintaympäristö asettaa laitteiden lujuutekaisuudelle ja kestävyydelle kovia vaatimuksia. Havaintokerroksen laitteiden tulee kestää muun muassa auringon säteilyä, suuria lämpötilavaihteluita, sadetta, ilmankosteutta, tuulta ja tärinää (Tzounis ym. 2017). Samoin Talavera ym. (2017) mukaan kaupallisten IoT-ratkaisuiden tulisi kestää huomattavia muutoksia lämpötilassa, kosteudessa ja valaistuksessa kestääkseen sekä vuodenaikojen muutokset että maailmanlaajuisen käyttöympäristön ilmaston vaihtelevuuden. Tzounis ym. (2017) mukaan IoT-laitteita on haastavaa kehittää vaativiin olosuhteisiin ja luonnon objekteille (kasvit, eläimet, maaperä, pilaantuvat ruokatuotteet) joihin itseensä laitteiden upottamista tai yhdistämistä voidaan toteuttaa vain rajatusti. Kypsi- teknologioiden kestävästä sovelluksista maataloudessa on jo paljon kokemusta, mutta uusien AIoT-teknologioiden sovelluksissa on vielä haasteita.

## ***Langattoman tietoliikenteen haasteet***

Samoin kuin laitteiden kestävyydelle, toimintaympäristö asettaa haasteita myös langattomalle tietoliikenteelle (Tzounis ym. 2017). Yksi keskeisiä AIoT:in kehityksen haasteita on vakaiden ja luotettavien langattomien yhteyksien kehittäminen syrjäisille alueille, joilla on usein rajallinen peittoalue ja kaistanleveys (Atzori, Iera & Morabito 2010; Sundmaeker ym. 2016; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016; Vermesan & Friess 2011, s. 174). Tietoliikenneinfrastruktuurin parantaminen on myös keskeinen haaste muilla aloilla kehitettyjen teknologiaratkaisuiden soveltamisessa maatalouden toimialalla, mihin vaikuttavat erityisesti toimintaympäristön olosuhteet kuten verkkolaitteiden väliset etäisyydet ja tiheys sekä siirrettävän tiedon määrä (Blank, Bartolein, Meyer, Ostermeier & Rostanin 2013). Suuren mittakaavan AIoT-laitteiden käyttöönotot edellyttävät tietoliikenneverkkojen arkkitehtuurin uudistamista, jotta verkot voisivat sopeutua IoT-järjestelmien datan tuotannon muotoihin ja vaihtelevaan tietoliikennemäärään (Sundmaeker ym. 2016).

Langattomat tietoliikenneverkot ovat yleisiä peltotuotannon sovelluksissa, missä verkkojen kaapeloinnin kustannukset voivat olla liian suuria ja kaapelointia voi olla vaikea toteuttaa. Peltotuotannon toimintaympäristö kuitenkin asettaa haasteita langattomille tietoliikenne-ratkaisuille: toimintaympäristön olosuhteiden vaikutukset ovat yksi suurimmista tekijöistä jotka vaikuttavat haitallisesti langattoman verkon yhteyksiin monitie-etenemisen ja sen taustamelua lisäävän vaikutuksen takia. Lämpötilan, kosteuden, ihmisten ja muiden esteiden vaikutuksen on havaittu vaikuttavan langattomien verkkojen toimintaan. Tämän takia tiedonsiirtoon tulisi kehittää ja soveltaa luotettavia ja vakaita teknologioita, ottaen huomioon käyttöympäristön vaatimukset ja haasteet. (Tzounis ym. 2017) Lisäksi langattoman tietoliikenteen yleinen haaste on keskenään samoilla taajuuskaistoilla toimivien laitteiden

toisilleen aiheuttamat häiriöt. Käytössä olevien useiden erilaisten teknologioiden ja standardien monimuotoisuus voi käytännössä haitata tietoliikennekerroksen yhteentoimivuutta. (Tzounis ym. 2017) Useissa julkaisuissa on kuvailtu yleisen ja heterogeenisiä tietoliikenne-ratkaisuita integroivan tietoliikennealustan tai -standardin kehittämistä avoimena haasteena (ks. alla 5.1.4.8 "Muut tekniset haasteet").

### ***Analytiikkaratkaisuiden ja tietopalveluiden haasteet***

Datan tuottaminen ja kerääminen on IoT-ratkaisuiden ensimmäinen askel. Varsinainen tavoite on tuottaa arvoa datasta merkityksellisen ja toimintakelpoisen tiedon muodossa. Tästä näkökulmasta katsottuna maatalousalan tietopalvelut ovat vielä kehityksen alkuvaiheessa. Lyhyen aikavälin kehitys kohdistuu yleensä päätöksenteon tukemisen järjestelmiin. Edistyneempien ennustavaan mallinnukseen ja kysyntäperusteiseen tuotannon suunnitteluun kykenevien data-analytiikan ratkaisuiden kehittäminen on maatalousalalla vielä avoin haaste. (Sundmaeker ym. 2016) Lisäksi analytiikan kehittämisen haasteena on järjestelmien itse tuottaman datan ja kolmansien osapuolien historia- ja ennustedatan yhdistäminen. Kolmannen osapuolen data voi olla sekä julkisten että yksityisten toimijoiden tuottamaa, kuten satelliittidata, maaperä-, vesi- ja ilma-analyysit, logistiikkajärjestelmät, hintatiedot, vähittäismyynnin data, kuluttajatiedot kuten ruokavaliotiedot jne. (Sundmaeker ym. 2016; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Data-analytiikkapalveluiden kontekstissa tulee ottaa huomioon myös tietopalveluiden käytettävyys. Maatilan tiedonhallintajärjestelmien tulisi olla sekä helposti räätälöitävissä erilaisten maatilojen käyttötapauksiin että käyttäjille helposti opittavia, samalla kun niiden tulisi mahdollistaa yhteentoimivuus tuotantoketjun muiden toimijoiden kanssa. (Sundmaeker ym. 2016) Analytiikkaratkaisuiden haasteisiin kuuluu myös tuotetun datan määrän vaikutukset. Käytännössä suuri määrä keskenään verkostoituja laitteita voi tuottaa niin suuria määriä dataa, että sen käsittely voi nopeasti osoittautua pienen mittakaavan palvelininfrastruktuureille liian vaativaksi. Tähän haasteeseen vastaamiseksi analytiikkaratkaisuiden kehittämistä voisi suunnata pilvipohjaisissa resurssipalveluissa toimiviksi. Toisaalta verkon reunalla tuotetun suuren datamäärän siirtäminen pilveen voi aiheuttaa huomattavia kuluja sekä rahallisesti että ajallisesti viiveinä. Siksi olisi tarpeen tasapainottaa verkon reunalla tapahtuva tiedon tallennus ja käsittely pilvipalveluissa tapahtuvien vastaavien kanssa. (Tzounis ym. 2017)

### ***AIoT-ekosysteemin laajentamisen haasteet***

Talavera ym. (2017) huomasivat kirjallisuuskatsauksessaan, että kirjallisuudessa on selkeä aukko IoT-ratkaisuiden yksinkertaisien prototyyppien kehittämisestä tosielämän ratkaisuksi. Tosielämän ratkaisuiden laajan omaksunnan saavuttamiseksi AIoT-ratkaisuiden



kehityksen haasteena puolestaan on sovittaa ratkaisut toimimaan hyvin erilaisissa käyttöympäristöissä. Järjestelmien tulisi toimia erilaisissa ilmasto-olosuhteissa, maaperissä ja erilaisten satokasvien kanssa. (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Tähän asti useiden AIoT-tekniologioiden käyttöönotto on suurelta osin rajoittunut aikaisten omaksujien piiriin. Kehityshaasteena on saada teknologioiden omaksunta laajenemaan tämän piirin ulkopuolelle nykyisten sovelluksien yksinkertaistamisella ja järjestelmien hankintahintojen alentamisella. Tällä voidaan pyrkiä varmistamaan sopivuus ja käytettävyys suurimmalle osalle sekä viljelijöitä että ruoka-alan yrityksiä. Toisaalta itse järjestelmien kehittämisen lisäksi AIoT-tekniologioiden käyttöönoton edistämiseksi tarvitaan uusien teknologioiden mahdollistamien liiketoimintamallien systemaattisia taloudellisia analyysejä. Näiden liiketoimintamallien ja analyysien tulisi olla selkeästi myös pienille yrityksille sopivia sekä näyttää millaisia mahdollisuuksia uudet teknologiat tarjoavat juuri heille. (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

### ***Muut tekniset haasteet***

Erityisesti ruoan jäljitettävyyden ja ruoan turvallisuuden käyttötapauksissa IoT-järjestelmien kehityksessä on selkeä haaste sekä uudentyypisten anturi- ja tietoliikenne-ratkaisuiden kehittämiseksi että kustannustehokkuuden parantamiseksi. Nykyiset bioanturit, samoin kuin RFID- ja NFC-tunnisteet eivät aina ole sopivia ratkaisuita verrattaessa anturin kustannuksia mitattavan ruokatuotteen hintaan, erityisesti jos pyritään havainnoimaan yksittäisiä tuotteita. (Sundmaeker ym. 2016) Lisäksi raa'asta RFID-datasta merkityksellisen tiedon tuottamiseksi tarvitaan tehokkaita sovelluksia erityisesti RFID-tunnisteiden paikantamiseen (Vermesan & Friess 2011).

IoT-järjestelmissä käytettävät tietoliikenne-ratkaisut ovat hyvin heterogeenisiä. On selkeä tarve yleisesti hyväksytyille tietoliikennealustalle, joka abstrahoi IoT-järjestelmissä käytettyjen tietoliikennetekniologioiden toiminnallisuudet ja tarjoaisi läpinäkyvän nimeämispalvelun erilaisille sovelluksille (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Vermesan & Friess 2011). Heterogeenisten tietoliikenneverkkojen integraation lisäksi IoT-tietoliikenne-ratkaisun tulisi mahdollistaa laitteiden automaattinen sopeutuminen kulloinkin saatavilla oleviin verkkoihin ja niissä vallitseviin olosuhteisiin (Vermesan & Friess 2011).

On haastavaa kehittää verkkoteknologioita ja standardeja, jotka mahdollistaisivat tehokkaan tiedonsiirron suurelle määrälle dataa tuottavia laitteita erilaisissa IoT-verkoissa. Erityisesti IoT-laitteiden osoitteiden, tunnistamisen ja optimoinnin mahdollistaminen ja hallinta arkkitehtuuri- ja protokollatasoilla on vielä avoin haaste. Lisäksi yleisen palvelukuvauskielen/terminologian puute vaikeuttaa palvelukehitystä ja fyysisten laitteiden resurssien integrointia palveluihin. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014) Yleinen palvelukuvauskielen tulisi

olla standardoitu, skaalautuva ja erilaisiin käyttöympäristöihin joustavasti sopeutuva (Vermesan & Friess 2011, s. 174–175).

Vaikka sulautettujen järjestelmien yksikköhinnat ovat laskeneet, korkealuokkaisten anturien ja toimilaitteiden yksikköhinnoille ei ole käynyt samoin. Jotta satoja, mahdollisesti tuhansia laiteyksikköä käsittävien IoT-ratkaisuiden käyttöönotto mahdollistuisi, tulisi laitteistojen yleiskustannusten, internetyhteyksien sekä kansainvälisten data roaming -maksujen edelleen laskea. (Talavera ym. 2017) Suurempi mittakaava vaatii laitteilta myös enemmän tietojenkäsittelykykyä ja älykkyyttä, jotta laitteet kykenisivät tarvittaessa konfiguroimaan ja hallinnoimaan toimintojaan itsenäisesti. IoT-ratkaisuiden lupaamia etuja ei voida täysin saavuttaa ilman huomattavaa lisäystä verkon reunalla olevien laitteiden tietojenkäsittely- ja laskentakyvyssä. (Sundmaeker ym. 2016)

AIoT-ratkaisuiden ohjelmistokehityksen haasteena on ottaa käyttöön ohjelmistokehityksen parhaita käytänteitä. Järjestelmien mittakaavan kasvaessa ja elinkaaren pidentyessä tuotetun datan analysointiin, ohjelmakoodin paranteluun sekä uusien ominaisuuksien lisäämiseen käytettävä aika ja vaiva kasvavat räjähdysmäisesti jos ohjelmistoa ei ole alun perin suunniteltu ja dokumentoitu parhaiden käytänteiden mukaisesti. (Talavera ym. 2017) Samoin kuin akkujen kestävyys ja matala virrankulutus ovat havaintokerroksen laitteiden vaatimuksia, tulee ne myös ohjelmoida niin hyvin, että laitteita ei tarvitse käynnistää uudestaan ohjelmisto-ongelman sattuessa (Tzounis ym. 2017).

Laitteiden tulisi vaatia vain vähän tai ei ollenkaan ihmisen tekemää huoltoa elinkaarensa aikana. Lisäksi laitteiden käyttämän tietoliikennetähtäimen tulisi olla tarpeeksi älykäs uudelleenkonfiguroimaan tai parantamaan itse itsensä laiterikon sattuessa. (Gubbi ym. 2013; Talavera ym. 2017)

Laitteiden ja ohjelmistojen tehokas uudelleenkäytettävyys voi olla haastavaa monoliittisiksi suunnitelluissa järjestelmissä. Aikaisempaa enemmän modulaarisiksi suunnitellut laitteet ja ohjelmistot voisivat puolestaan mahdollistaa tehokkaamman uudelleenkäytön ja järjestelmien räätälöinnin. (Talavera ym. 2017)

AIoT-järjestelmiä tulisi lähtökohtaisesti kehittää yhteensopiviksi vanhan, olemassa olevan infrastruktuurin ja tietojärjestelmien kanssa (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Talavera ym. 2017; Vermesan & Friess 2011). Samoin kuin teollisuusautomaatiossa, on tärkeää kehittää ratkaisuita jotka sopivat asiakkaan olemassa olevaan infrastruktuuriin kuten erikoislaitteisiin, työkoneisiin ja ohjelmistoihin. Käytettävyydeltään IoT-laitteiden asentamisen ja hallinnoinnin tulisi olla niin selkeää ja yksinkertaista, että tavalliset käyttäjät pystyvät käyttämään niitä ilman erityisosaamista. (Talavera ym. 2017) Lisäksi integraatio voi usein vaatia uusien väliohjelmistojen kehittämistä ja IoT-laitteiden tuottama data ei ilman tehokasta

analytiikkaa ja ymmärrystä todennäköisesti tuota merkityksellistä lisäarvoa (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014).

Järjestelmien skaalautuvuus tulisi huomioida jo aikaisessa kehitysvaiheessa. Laitemäärien kasvun myötä kasvavien järjestelmien datan synkronisoinnin toimivuus ja datan luotettavuus muodostuvat kriittisiksi. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Talavera ym. 2017) Skaalautuvuus on myös anturiverkkojen kehityksen haaste, koska anturilaitteiden määrät voivat kasvaa hyvin suuriksi (Atzori, Iera & Morabito 2010; L. D. Xu, W. He & S. Li 2014).

Vaikka vain vaatimattomimmat ennusteet IoT-laitteiden käyttöönotosta toteutuisivat, laitteiden kierrätysstrategia tulisi lähtökohtaisesti olla osa uusia ratkaisuita ja niiden elinkaarisuunnitelmia ympäristövaikutusten minimoimiseksi. (Talavera ym. 2017)

Muihin teollisuudenaloihin verrattuna maatalouden tuotteisiin on usein vaikeampaa liittää IoT-laitteita. Ruokatuotteiden kanssa tämä vaatisi usein lisäpakkausta, jotta voitaisiin varmistaa ettei laitteista ole haittaa kuluttajille tai ympäristölle. Tämä lisäisi kustannuksia ja tuotteen hintaa, jolloin yleiset IoT:in potentiaalit eivät aina ole käytännöllisesti ja yhteismittaisesti siirrettävissä ruokatuotteisiin. (Sundmaeker ym. 2016)

### ***Muut haasteet***

Teknisten haasteiden ohella AIoT-ratkaisuiden kehityksessä on useita haasteita, joista keskeisimpiä ovat uusien liiketoimintamallien kehittäminen, yhteisölliset haasteet, politiikan ja säännöstelyn haasteet ja sidosryhmien haasteet.

Liiketoimintaprosessien monimutkaisuus ja sidosryhmien moninaisuus asettavat omat haasteensa IoT-ratkaisuiden kehittämiseksi sekä tekniikan että liiketoiminnan osa-alueilla (Barmounakis ym. 2015).

Eryteisesti suuren mittakaavan ratkaisuiden osalta tarvitaan vielä lisää tutkimusta, miten uusia liiketoimintamalleja tulee kehittää jotta voidaan varmistua IoT-ratkaisuille perustuvan liiketoiminnan kestävydestä sekä ratkaisuiden tuottajille että käyttäjille. Käyttäjien näkökulmasta mitattavissa olevien hyötyjen tulee kompensoida hankinnan ja käytön kustannukset. AIoT-ratkaisuiden hankintakustannukset ovat usein laajemman käyttöönoton este varsinkin pienikokoisille maataloille. (Sundmaeker ym. 2016) Suuren mittakaavan ratkaisuissa käyttöönottoa on hidastanut yleinen epävarmuus IoT:in vaikutuksista olemassa olevaan teollisuuteen, arvoketjuihin, liiketoimintamalleihin, työvoimaan ja lopulta tuottavuuteen sekä tuotteisiin. (Gilchrist 2016)

Samoin yhteisöllisissä haasteissa AIoT-tekniologioiden tulisi vielä selkeästi näyttää toteen hyödyllisyytensä. Tuotetun tiedon tulisi olla hyödyllistä ja käytettävää viljelijöille ja muille

ruoan tuotantoketjun toimijoille. Teknologioiden hyödyt tulisi tuoda esille tosielämän käytötapauksissa, joista tiedon ja tietoisuuden levittäminen on haastavaa hyvin pirstaleisella alalla. Yhteisöllisenä haasteena AIoT-tekniologioiden leviämiseksi on myös niiden käyttäjiltään vaatima tietoteknisten taitojen taso. Tähän haasteeseen vastaamiseen vaadittaisiin koulutukseen panostamista, jotta digitaalisen kuilun syntyminen maatalouden alalla voitaisiin välttää. (Sundmaeker ym. 2016)

Politiikka ja säännöstely ovat keskeisessä asemassa AIoT-innovaatioiden omaksunnan leviämiseksi. Poliittisten linjausten ja säännöstelyn tulisi madaltaa olemassa olevia esteitä, esimerkiksi viljelijöiden datan yksityisyyden suojaamiseksi sekä nopeiden tietoliikenneyhteyksien rakentamisen ja tietoteknisten taitojen koulutuksen edistämiseksi. (Sundmaeker ym. 2016)

Sidosryhmien kohtaamat haasteet liittyvät maatalousalan sidosryhmäverkoston dynaamiseen muutostilaan, missä uudet toimijat ottavat vakiintuneiden toimijoiden rooleja maatalouden datan ja tiedon käsittelyssä. AIoT-ratkaisuiden vaikutukset voivat johtaa organisaatorisiin ongelmiin ja muutoksiin maataloudessa ja tuotantoketjuissa. (Sundmaeker ym. 2016)

#### **5.1.5 Esitetyt AIoT-arkkitehtuurit**

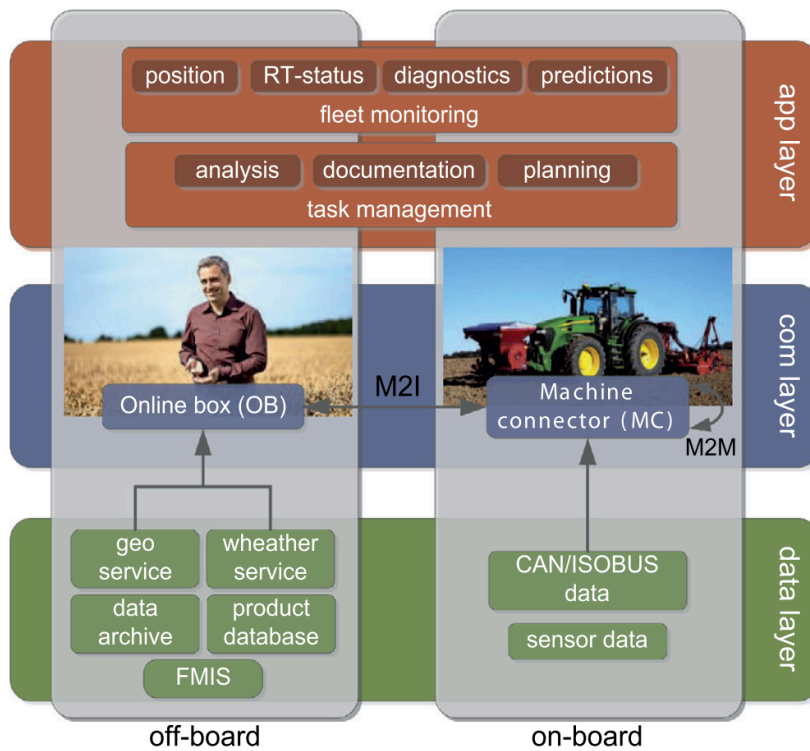
Katsauksen aineistossa on esitetty useita erilaisia arkkitehtuurimalleja yhteenvetona IoT-järjestelmien toteutuksista. Näillä arkkitehtuureilla pyritään havainnollistamaan järjestelmien osien kuten anturilaitteiden, tietoverkkojen, yhdyskäytävien, ohjelmistojen, pilvipalveluiden jne. toiminnallisuuksia ja keskinäisiä riippuvuuksia.

Aikaisemmin käytettyjen tiedostonsiirtoon perustuvien arkkitehtuurien puutteita on pyritty korjaamaan siirtymällä soveltamaan palvelukeskeisiä arkkitehtuurimalleja (SOA, engl. Service Oriented Architecture) yhdistettyinä avointen ja standardoitujen rajapintojen kanssa (Blank ym. 2013). Esineiden käsittely palveluina voi kuitenkin olla haaste IoT-arkkitehtuureille vaaditun laskentatehon ja hinnan asettamien rajoitusten takia (Vermesan & Friess 2011, s. 174). L. D. Xu, W. He & S. Li (2014) mukaan palvelukeskeinen arkkitehtuuri kuitenkin sopii hyvin IoT-ratkaisuiden suunnitteluun, koska se mahdollistaa heterogeenisten järjestelmien ja laitteiden integroinnin. Samoin Granell ym. (2016) arvioivat palvelukeskeisen arkkitehtuurin olevan hyvin tehokas lähestymistapa IoT- ja pilvitekniologioihin perustuvien palveluiden tuottamiseen.

Kokonaisuutena IoT-järjestelmien arkkitehtuurien tulee ottaa huomioon erilaiset arkkitehtuurimallit, tietoliikennetilat, älykkäät laitteet, verkkopalvelut ja -sovellukset, liiketoimintamallit ja -prosessit, yhteistoiminnallisen tietojenkäsittelyn ratkaisut, tietoturva jne.

Lisäksi arkkitehtuurin tulee huomioida suunniteltavan ratkaisun jatkettavuus, skaalautuvuus, modulaarisuus ja yhteistoiminnallisuus heterogeenisten laitteiden kanssa. Samoin on otettava huomioon, että laitteet voivat liikkua ja saattavat toimia vuorovaikutuksessa muuttuvan ympäristön kanssa. Tällöin myös arkkitehtuurin ja sen mukaan rakennetun järjestelmän tulee voida sopeutua muutoksiin. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014)

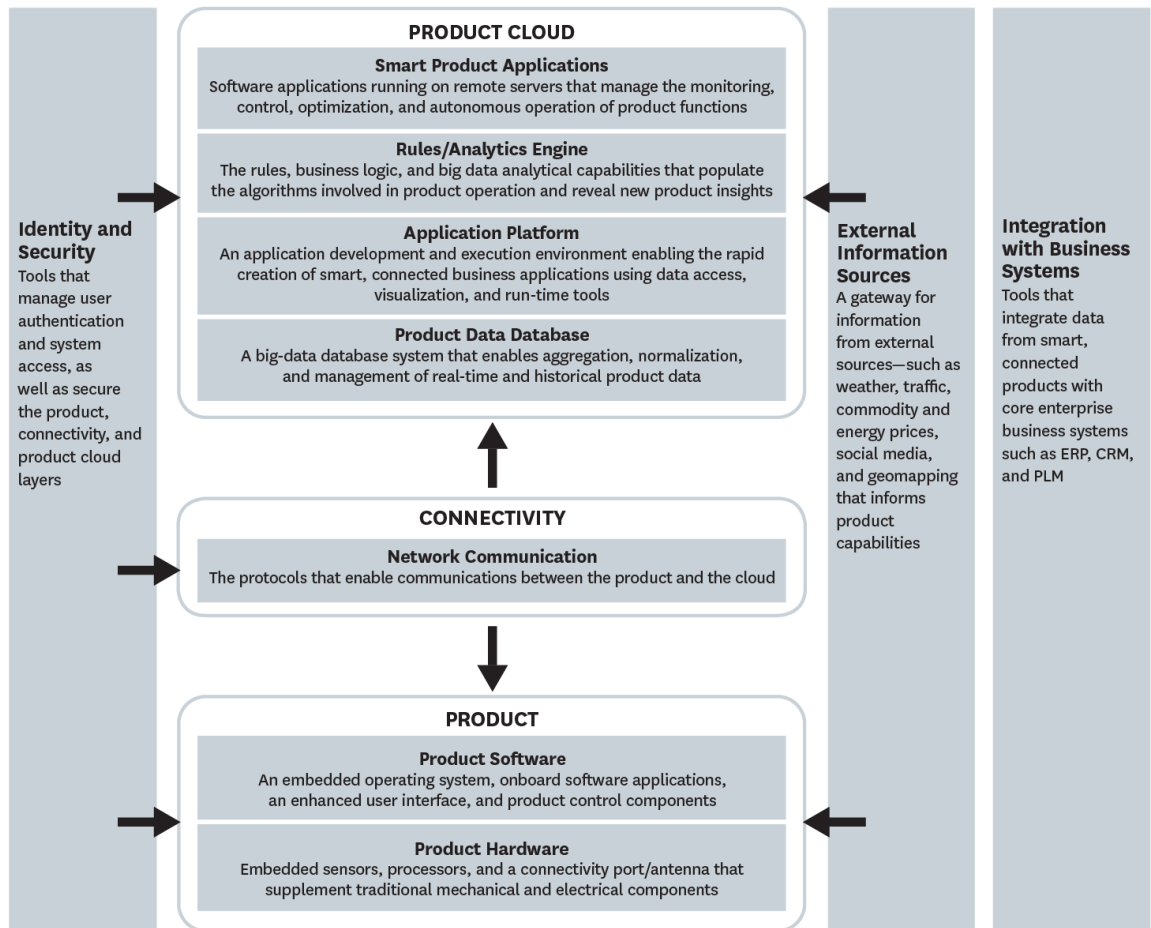
Kansainvälinen televiestintäliitto (ITU, engl. International Telecommunication Union) on suosituksessaan ITU-T Y.2060 kuvaillut nelikerroksisen IoT-referenssiarkkitehtuurin. Suositus määrittelee IoT:in tietoyhteiskunnan globaalina infrastruktuurina, joka mahdollistaa edistyneet palvelut yhdistämällä esineet tieto- ja viestintäteknologioiden avulla. Kerrokset on jaoteltu sovelluskerrokseen, palvelu- ja sovellustuen kerrokseen, tietoliikenne- ja laitekerrokseen. (ITU 2018, 2012)



Kuva 19. iGreen-hankkeessa esitetty konseptitason arkkitehtuurimalli, jossa FMIS ja kolmannen osapuolen tietopalvelut, tuotantokoneet tuottamansa anturidatan kanssa sekä sovellukset yhdistyvät toimijan “Online box”-ohjelmistoon, jossa toimija hallinnoi tiedon käsittelyä ja jakoa sidosryhmille (Blank ym. 2013)

Saksalaisessa maatalouden tiedonjaon ja -käsittelyn edistämiseen pyrkivässä iGreen-hankkeessa konseptitason arkkitehtuurimalli jaoteltiin data-, tietoliikenne- ja sovelluskerrokseen (kuva 19). IoT-arkkitehtuuria voidaan kuvailla myös teknologiapinona (engl. technology stack) joka aseteltuna loogisiin kerroksiin vastaa edellä mainittuja arkkitehtuurimalleja (kuva 20). Porter & Heppelmann (2014) havainnollistavat artikkelissaan “How Smart,

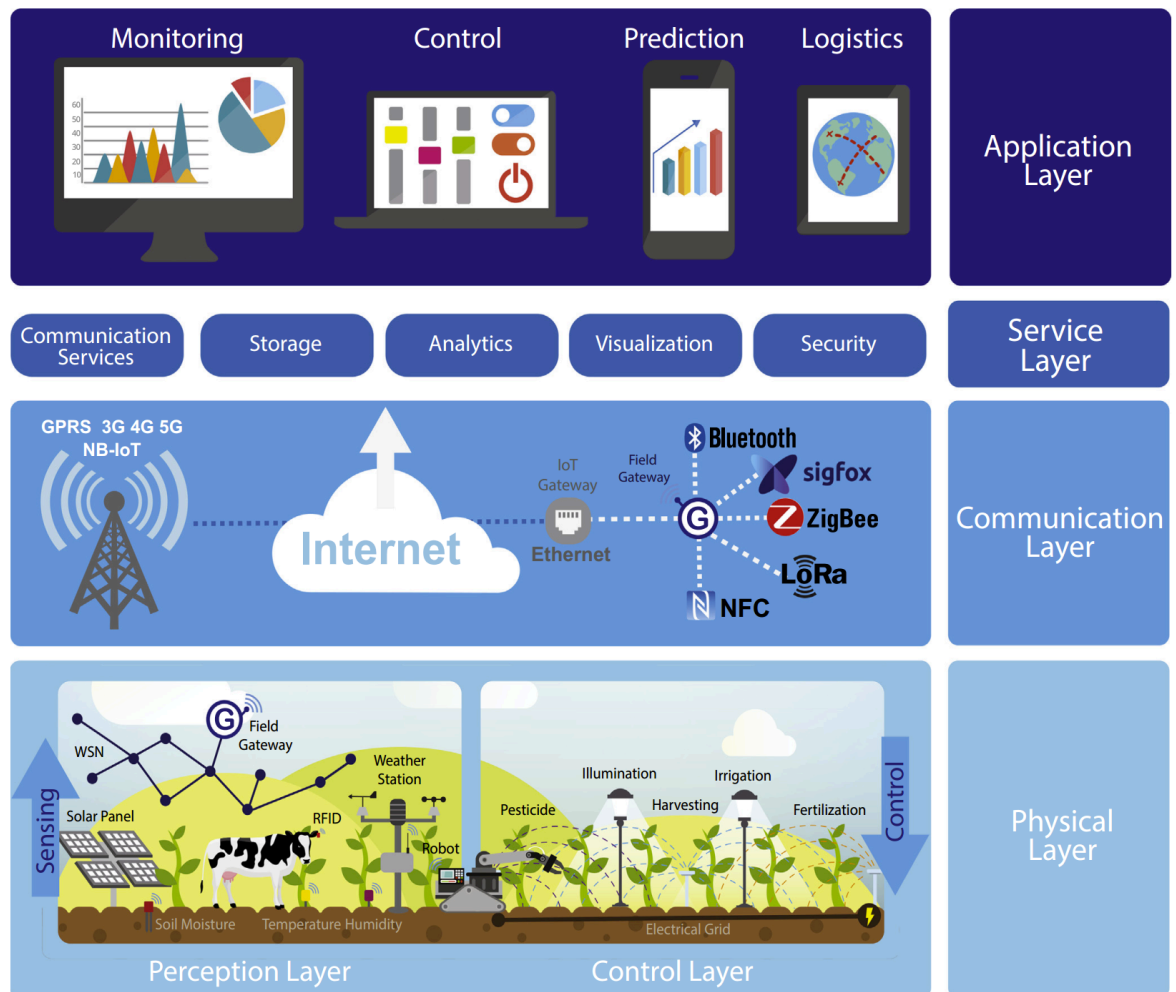
Connected Products Are Transforming Competition” IoT:in teknologiapinoa tuotelähtöisesti. Pinon alimman kerroksen muodostavat tuotteen ohjelmisto ja fyysinen laite, tietoliikennekerroksen toimiessa tuotekerroksen ja ylimmän tuotepilven kerroksen välillä. Tuotepilvi pitää sisällään tuotteen pilvipalveluissa toimivat tietokannat, sovellusalustat, analytiikkaratkaisut ja tuotteen toimintaa ohjaavat älykkäät sovellukset.



Kuva 20. IoT-ratkaisuiden teknologiapino (Porter & Heppelmann 2014)

Kirjallisuuskatsauksissa esitetyt arkkitehtuurit on usein jaoteltu edellä mainittujen esimerkkien kaltaisesti ja yleisen palvelukeskeisen arkkitehtuurimallin mukaisesti kerroksittain. Esimerkiksi Talavera ym. (2017) kirjallisuuskatsauksessa esitetystä arkkitehtuurista kerrokset ovat fyysinen-, tietoliikenne-, palvelu- ja sovelluskerros (kuva 21). Vastaavasti Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016) jaottelevat IoT-arkkitehtuurin laite-, verkko- ja sovelluskerroksiin. L. D. Xu, W. He & S. Li (2014) puolestaan esittivät arkkitehtuurin, jossa jaottelu tehtiin havainnointi-, tietoverkko-, palvelu- ja liittymäkerrokseen. Tzounis ym. (2017) esittivät IoT-arkkitehtuurin jakautuvan havainto-, tietoliikenne- ja sovelluskerrokseen, samoin kuin Vermesan & Friess (2011). Sovelluskerros on Atzori, Iera & Morabito (2010) mukaan IoT-arkkitehtuurin ylin kerros, joka on lähinnä käyttäjää ja joka käyttää väliohjelmistokerroksen palveluita. Viime vuosina julkaistut väliohjelmistokerroksen arkkitehtuurit

on yleensä suunniteltu palvelukeskeinen arkkitehtuurin mallin mukaisesti. Vaikka tätä varten yleisesti hyväksytyä arkkitehtuurimallia ei ole, esitetyt arkkitehtuurit käsittelevät keskenään samankaltaisia toimintoja kuten laitteiden toiminnallisuuden ja tietoliikennetoimintojen abstrahointia.



Kuva 21. Esitetty kerroksittain jaoteltu AloT-arkkitehtuuri (Talavera ym. 2017)

Poikkeuksena edellisiin Barmounakis ym. (2015) esittivät arkkitehtuurin, joka teknisten kerrosten sijaan perustuu Future Internet Public–Private Partnership:in (FI-PPP) yleiskäyttöisiin FI-WARE-hankkeessa kehitettyihin ohjelmistomoduuleihin (GE, engl. Generic Enabler) ja niiden laajennuksiin maatalouden vastaaviin moduuleihin (engl. domain specific enablers) (ks. Kaloxylas ym. 2013, s. 56–57). Tämän arkkitehtuurin tavoitteena on mahdollistaa yhteiskäytettävyys erilaisten palveluiden ja sidosryhmien välillä, toisin kuin muissa esitetyissä arkkitehtuureissa jossa keskitytään IoT-järjestelmien toiminnalliseen kuvailuun. Arkkitehtuurin avulla pyritään tuottamaan alustapalvelu (PAAS, engl. Platform as a Service) jolla ruokaketjun eri alojen sidosryhmät voivat toimia yhdessä.

## 5.2 Haastattelujen tulokset

Tässä alaluvussa kuvaillaan teemahaastattelujen tulokset, joista ensin käsitellään sisällönanalyysin tulokset, minkä jälkeen kuvaillaan haastatteluaineisto teemoittain jaoteltuna. Haastateltavista käytetään nimimerkkejä A.A., B.B., C.C., D.D. ja E.E.

### 5.2.1 Haastatteluaineiston sisällönanalyysin tulokset teemoittain

Tässä alaluvussa kuvaillaan haastatteluaineiston sisällönanalyysin tuloksia. Tuloksista käsitellään ensin määrälliset havainnot, jotka on jaoteltu alikategorioiden ja niiden yleisten teemojen mukaan. Tämän jälkeen käydään läpi sisällönanalyysiin taulukoinnista tehdyt havainnot. Alalukujen tekstissä koodien nimet ja viittaukset yksittäisiin koodeihin on **liha-voitu**.

#### *Tietojenkäsittely*

Tekniikka-kategorian alikategoriassa Tietojenkäsittely oli 168 havaintoa. Tietojenkäsittelyn yleisimmät asiasisällöt havaintojen määrien mukaan olivat viljelijän **päätöksenteon avustaminen** erilaisilla järjestelmillä on keskeisimpiä aiheita **digitalisaation** ja **tietojenkäsittelyn alustapalveluiden** kanssa. Digitalisaation yhteydessä käsiteltiin laajasti erilaisia asiakokonaisuuksia tällä hetkellä saatavilla olevista järjestelmistä tulevaisuuden visioihin ja digitalisaation haasteisiin. Alustapalveluiden katsottiin usein olevan keskeisiä maataloudessa tuotetun tiedon keräämisessä ja integroinnissa. Integraatioita tarvitaan useiden eri tyyppisten järjestelmien välillä, alkaen maatalon eri järjestelmien yhteen tuomisesta aina koko tuotantoketjun järjestelmien integrointeihin. Haastatteluissa 2 ja 5 käsiteltiin erityisesti **ihmisen roolia päätöksentekijänä ja datan tulkitsijana**. Haastatteluissa tuotiin selkeästi esille, että keinoäly halutaan avustamaan viljelypäätöksissä ja viljelyprosessien hallinnassa, mutta ei tekemään päätöksiä ja toteuttamaan niitä automaattisesti. Muita keskeisimpiä tietojenkäsittelyn asiasisältöjä olivat **data-analytiikka**, **asiakkaalle räätälöidyt analytiikkaratkaisut** ja **data-analytiikkaa tuottavat palvelut**. Analytiikkaratkaisuiden räätälöitävyyden nähtiin olevan maatalouden toiminnassa erityisen tärkeä kehityskohde johtuen maatalojen toiminnan yksilöllisyydestä. Uusissa tuotteissa ja erityisesti analytiikkapalveluissa pyritään yleisesti hyödyntämään **koneoppimista**, mutta haastatteluaineistossa se havaittiin vain viidesti. Suurin osa uusista tuotteista ja palveluista rakennetaan **pilvipalveluiksi**, josta tehtiin useita havaintoja. **Datan siirreltävyttä** palveluiden välillä ei vielä ole käytännössä toteutettu rajapintojen tai vastaavien automaattisten ja käytettävien tapojen avulla. Suurta osaa tuotetusta tiedosta ei C.C.n mukaan voi automaattisesti hyödyntää kolmannen osapuolen analytiikkapalveluissa (Polvinen 2017a).



Analytiikka, digitalisaatio ja tiedon tuottama lisäarvo olivat lämpökartalla kohtuullisen lähekkäin ja niiden havainnot painottuivat haastatteluihin 1 ja 5. Datan siirreltävyyden koodi oli vastaavasti lähellä tietojärjestelmien rajapintoja, datan jakamista, datan merkityksen ymmärtämistä ja teknologioiden omaksunnan kynnystä.

**Datan integraatiota** käsiteltiin kaikissa haastatteluissa ja se liittyi muihin keskeisimpiin tietojenkäsittelyn asiasisältöihin kuten edellä mainittuun datan siirreltävyyteen. Datan integraatio pitää sisällään erilaisten tietolähteiden kuten anturi- ja **kuvantamisdatan** heterogeenisen datan yhdistämisen esimerkiksi pilvipalveluna toimivassa palvelussa analytiikka varten. **Anturidata** puolestaan on AIoT-ratkaisuissa keskeisessä asemassa analysoitavan tiedon lähteenä. Analyyseissä voidaan yhdistää anturien tuottamaa dataa paikkatietoihin ja tuottaa tiedon havainnollistamiseksi karttoja, joita voidaan puolestaan yhdistää muun muassa satelliiteilla tai UA-laitteilla tuotettuun **kuvantamisdataan**. Tällainen kuvantamisdata kootaan yleensä useista kuvatiedostoista **ortomosaiikkikartoiksi** analyysiä varten.

Lämpökartalla datan integraation havainnot jakautuivat kohtuullisen tasaisesti painottuen haastatteluihin 2 ja 5. Sille läheisiä koodeja olivat kokonaisvaltainen maatalanhallintajärjestelmä, tulevaisuuden tietojärjestelmät ja käyttöliittymät.

### ***Tietojärjestelmät, tietoliikenne ja alustaratkaisut***

Tekniikka-kategorian alikategoriassa Tietojärjestelmät oli 55 havaintoa, Tietoliikennealukategoriassa vastaavasti 47 havaintoa ja Alustaratkaisut-alukategoriassa 20 havaintoa. Tietojärjestelmiä käsittelevät yleisimmät asiasisällöt olivat **kokonaisvaltainen maatalan tiedonhallintajärjestelmä (FMIS)** sekä **tulevaisuuden tietojärjestelmät**. Kokonaisvaltainen tai holistinen maatalan tiedonhallintajärjestelmä pyrkii integroimaan maatalan tuotantojärjestelmät ja tuottamaan käyttäjälle kokonaiskuvan maatalan tilanteesta. Tällä hetkellä C.C.n mukaan kokonaisvaltaiset järjestelmät ovat vielä kehitysvaiheessa mutta ne tulevat yleistymään lähivuosien aikana (Polvinen 2017a). Tulevaisuuden tietojärjestelminä haastatteluaineistossa mainitaan muiden muassa integroitu tuotantoketju joka voisi välittää tuotteiden tuotantotapa- ja käsittelytiedot kuluttajille asti, tuotantodataa keräävät ja analysoivat palvelut, täysautomatisoidut keinoälyn ohjaamat viljelyjärjestelmät ja työkoneet, viljelijöiden datasettien vertailun ja myynnin alustapalvelut sekä alustapalveluiden ekosysteemit.

Lämpökartalla kokonaisvaltainen FMIS sijoittui samaan ryhmään tulevaisuuden tietojärjestelmien ja tietojärjestelmien käyttöliittymien kanssa. Tämä johtuu ryhmän havaintojen painottumisesta haastattelu 5:een, jakautuen harvalukuisina ja tasaisesti muiden haastattelijien kesken.

Haastatteluissa käsiteltiin myös konventionaalisia **maatilan tiedonhallintajärjestelmiä, viljelysuunnitteluohjelmistoja ja viljelysuositusjärjestelmiä** jotka toimivat suurimmaksi osaksi erillään muista järjestelmistä tai vain yhden valmistajan laitteiden kanssa. Järjestelmien kehityksen suunta on kohti eri järjestelmien ja valmistajien tuotteiden yhteistoiminnallisuutta. Yhteisiä toiminnallisuuksia mahdollistavia **rajapintoja** sivuttiin osassa haastatteluja. Haastatteluaineistosta saatava yleinen mielikuva oli, että koneelliseen viljelydatan siirtoon käyttökelpoiset rajapinnat ovat vielä harvinaisia mutta niille voi tulevaisuudessa olla huomattavan paljon kysyntää.

Järjestelmien tulee olla käytettäviä loppukäyttäjän taidoilla tai niitä ei tulla ottamaan käyttöön laajamittaisesti. **Käytettävyys** on olennainen osa teknologioiden omaksuntaa (ks. alla). Käytettävyyden yhteydessä haastatteluaineistossa käsiteltiin myös **käyttöliittymiä** yleisesti ja **viljelijän omaan käyttöön räätälöitäviä käyttöliittymiä**. Käytettävyys ja käyttöliittymien toimivuus mainitaan haastatteluaineistossa maatalouden järjestelmien haasteena. Aikaisemmat täsmäviljelyratkaisut ovat olleet usein A.A.n mukaan sekä liian kalliita että liian vaikeakäyttöisiä. Tulevien täsmäviljelyratkaisuiden tulisi olla niin edullisia ja helpokäyttöisiä että niiden hyödyt voidaan realisoida laajassa mittakaavassa (Polvinen 2017b).

**Avointa lähdekoodia** sivuttiin yhdessä haastattelussa, mutta haastatteluaineistosta saatava yleisvaikutelma viittasi avoimen lähdekoodin olevan maatalouden sovelluksissa harvinaista.

Tietoliikenteeseen liittyvät keskeisimmät asiasisällöt olivat **tietoliikenneverkot ja yhteydet, langattomat verkot ja tietoliikenteen haasteet**. Langattoman tietoliikenteen kehitys on peltoviljelyn AIoT-sovelluksien keskeinen mahdollistaja. Kasvihuoneissa on voitu soveltaa kiinteitä verkkoja ja suurelta osin tämän takia kasvihuoneteknologia on peltoviljelyteknologioita edellä. Tällä hetkellä suuri osa Suomessa käytössä olevasta maatalousautomaatiosta käyttää tiedonsiirtoon matkapuhelinverkkoa ja SMS-viestejä, mitkä voivat muodostua kalliiksi viljelijöille laitteiden määrän kasvaessa korkeiden liittymähintojen takia. Lisäksi useiden peltojen sijainti syrjäisillä laaksopaikoilla on usein verkkojen katvealueella. Vaikka dataa pystytään keräämään suuria määriä, sen siirtämiseen tarvittavaa infrastruktuuria ei vielä ole (Polvinen 2017c).

Muita keskeisiä tietoliikenteen asiasisältöjä olivat **tiedon vaihdanta** ja siihen liittyvä **datan julkaisu ja jakaminen**, missä käsitellään suurimmalta osin tulevaisuuden visioita alustapalveluista, jotka toisivat maatalouden tuottaman datan yleisesti saataville ja hyödynnettäväksi. **Viljelijöiden verkostoitumisalusta myyntiin ja ostoihin sekä viljelijöiden ja kuluttajien yhteyksien** asiasisällöissä puolestaan käsiteltiin visioita alustapalveluista, joissa viljelijät ja kuluttajat voisivat viestiä keskenään ja ryhmittä tekemään hankintoja tai myy-

mään tuotteitaan yhteistoiminnassa. Samoin asiasisältöä **viljelijöiden sosiaalinen verkostoituminen** sivuttiin alustapalvelua, jossa viljelijöiden olisi mahdollista verkostoitua tiedon vaihdantaa ja muuta yhteistoimintaa varten.

### ***Teknologioiden omaksunta***

Tekniikka-kategorian alikategoriassa Teknologioiden omaksunta oli 70 havaintoa. Se oli yksi haastatteluaineiston keskeisimpiä asiasisältöjä ja sitä käsiteltiin eri näkökulmista ja eri painotuksilla kaikissa haastatteluissa. Sen yhteydessä käsiteltiin **omaksunnan laajuutta, kynnyksiä** teknologioiden omaksunnalle, omaksunnan hyvin **asteittaista etenemistä** ja omaksunnan esteenä olevia haasteita kuten **käyttäjien teknisiä taitoja**. Kuitenkin selkeästi eniten haastatteluaineistossa käsiteltiin uusien **teknologioiden omaksunnan hyötyjä**. Erityisesti haastatteluissa 1, 2 ja 5 käsiteltiin omaksunnan mahdollistamia hyötyjä enemmän kuin omaksunnan haasteita.

Lämpökartalla yleinen teknologioiden omaksunta oli haastatteluihin 2 ja 5 painottumisen takia lähimpänä päätöksenteon avustamista, viljelyprosessien tehostamista ja tuotantojärjestelmien integraatiota. Teknologioiden omaksunnan laajuuden lähin koodi lämpökartalla puolestaan oli aidot IoT-järjestelmät, jotka painottuvat haastatteluun 3. Asteittaisen omaksunnan koodi taas oli lähimpänä tietojärjestelmien käytettävyyttä, mikä vaikuttaa usein järjestelmien omaksuntaan.

### ***Toimintaympäristön muutos, maatalous toimintaympäristönä ja maataloustuotannon data***

Toimintaympäristö-kategorian alikategoriassa Muutos oli 61 havaintoa, Maatalous-alikategoriassa 59 havaintoa ja alikategoriassa Maataloustuotanto Data puolestaan oli 23 havaintoa. Toimintaympäristön muutoksen keskeinen asiasisältö haastatteluaineistossa oli **digitalisaatio**. Haastatteluissa 1 ja 5 se oli yleisin, mutta haastatteluissa 3 ja 4 käsiteltiin toimintaympäristön muutoksen yhteydessä enemmän **digitalisaation riskejä**. Haastattelussa 2 digitalisaatiota sivuttiin, toimintaympäristön muutoksen yleisimmän asiasisällön ollessa **tilannehallinta vaihtelevissa olosuhteissa**. Tilannehallinnan viitattaessa esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttamien tautipaineiden tai hyönteisinvaasioiden hallintaan. Toinen toimintaympäristön muutosta käsittelevä keskeinen asiasisältö oli **tilakoon kasvu**. Toiminnan digitalisaatio mahdollistaa osaltaan **toiminnan tehostumisen** ja tätä kautta maatalojen kasvun. Tilakokojen kasvuun liittyvä **tilamäärän väheneminen** toisaalta havaittiin harvemmin, samoin kuin digitalisaatioon liittyvä ja tarkemmin rajattu **datan käyttöön siirtyminen**. Digitalisaation myötä mahdollistuvat tai edistyvät myös muut toimintaympäristön muutoksen keskeiset asiasisällöt kuten **uudet liiketoimintamallit** ja toimin-

tatavat. Tämä vaikuttaa myös **viljelijän työnkuvaan** joka voi D.D.n mukaan muuttua suorittavasta enemmän viljelyprosesseja hallinnoivaksi (Polvinen 2018a).

Toimintaympäristön digitalisaation myötä nousee esille kysymys **datan omistajuudesta** josta ei yleisessä käytössä ole selkeitä ja vakiintuneita käytänteitä. Palveluiden ja laitteiden valmistajat kertovat että datan omistajuus kuuluu sen tuottaneelle käyttäjälle, mutta käytännössä **datan saatavuus**, hallinnointi ja käsittely eri järjestelmien välillä asiakkaan toimesta voi olla vielä vaikeaa. Haastattelussa 5 sivuttiin myös **dataperustaista poliittista päätöksentekoa**, jossa maataloustuotannosta saatava mitattu digitaalinen tieto toimisi suoraan poliittisten päätöksenteon perusteena.

Maataloustuotannossa **datan merkityksen ymmärtämistä** ja **tuotannon historiatietoja** käsiteltiin erityisesti haastattelussa 2, missä käsiteltiin myös ihmisen roolia ensisijaisena tiedon tulkitsijana ja päätöksentekijänä. Tuotannon historiatietoja aikaisemmilta satokausilta ei voida käyttää ennusteiden laatimiseen olosuhteiden vaihtelevuuden takia, mutta toimenpiteiden vaikutuksia tuotantoon voi arvioida muun muassa satotasomittauksien avulla. Tuotannossa syntyvän digitaalisen tuotantotapatiedon avulla voitaisiin myös toteuttaa **dataperustaista laatuhinnoittelua** tuotteiden myynnissä.

Lämpökartalla datan merkityksen ymmärtämisen koodi oli samassa ryhmittymässä muiden muassa tuotanto- ja **lannoitepanosten** sekä teknologioiden omaksunnan kynnysten kanssa. Datan merkityksen ymmärtäminen liittyy sen tulkintaan ja tulkinnan perusteella tuotantopanosten käytön suositusten tekemiseen. Teknologioiden omaksuntaan puolestaan vaikuttaa niiden käyttäjälle tuottama hyöty, joka on tietoa käsittelevien ratkaisuiden tapauksessa osittain riippuvainen tiedon ymmärrettävyydestä.

Maatalouden tilannetta kuvaavista asiasisällöistä **toimintaympäristön yleiskuvan** jälkeen keskeisimpiä asiasisältöjä haastatteluaineistossa olivat **Suomalaisen viljely-ympäristön erityispiirteet** kuten peltojen pirstaleisuus, peltojen koon pienuus verrattuna Keski-Eurooppaan ja USA:n, **kasvukauden** lyhyys jne. Myös maatalouden **käyttötarpeiden suuri vaihtelevuus** mainittiin haastatteluissa. Osin samoja asioita käsiteltiin myös tarkemmin rajatuissa asiasisällöissä **maatalouden hajanaisuus** ja **maatilojen yksilöllisyys**. Maatalouden **teknologiatuotteiden hajanaisuutta ja siiloutuneisuutta** käsiteltiin haastatteluissa 4 ja 5.

Lämpökartalla suomalaisen viljely-ympäristön erityispiirteiden kanssa samassa ryhmittymässä oli muiden muassa tuotannon **syötteet kuten ravinteet ja lannoitteet**. Viljelytoiminnassa tarvitaan kasvien kasvattamiseksi syötteitä, joiden annostelussa tulee ottaa huomioon viljely-ympäristön erityispiirteet ja kasvien tarpeet.

**Ruokaturvan parantaminen** mainittiin monien AIoT:in tutkimushankkeiden motivaationa. Haastateltavien näkökulmista suomalaisen ruokaturvan tärkein kehityskohde on maatalouden tuotannon kannattavuus, jotta omaa tuotantoa voitaisiin ylläpitää. Maatalousalan tutkimusta tarkasteltaessa tulee myös ottaa huomioon yleinen **tutkimuksen aikajänteen pituus** joka usein voi olla yli 10 vuotta.

### ***Teknologiat, teknologioiden sovellukset ja standardit***

Tekniikka-kategorian alikategoriassa Teknologia oli 49 havaintoa, Teknologiasovellus-alikategoriassa 44 havaintoa ja Standardi-alikategoriassa 28 havaintoa. Teknologioista **anturiteknologia** ja **teollisuusautomaatio** olivat yleisimmin haastatteluaineistosta havaitut teknologioita käsittelevät asiasisällöt. Useat IoT-ratkaisut perustuvat antureiden tuottaman tiedon käsittelyyn ja anturiteknologia oli yksi niiden keskeisiä mahdollistajia. Teollisuusautomaatiota käsiteltiin haastatteluissa 1 ja 3. Maatalousautomaatiossa voitaisiin soveltaa teollisuudessa kehitettyjä ratkaisuita, mikä vähentäisi niiden tuotantokustannuksia huomattavasti verrattuna maatalouteen erikoistuneiden laitteiden kehittämiseen. C.C.n mukaan laitteiden hankintahinnat olisi saatava alemmas, jotta niiden käyttöönotto olisi taloudellisesti kannattavaa (Polvinen 2017a). Teollisuusautomaatiota on voitu soveltaa helposti kasvihuonetuotannossa joka muistuttaa tehdasympäristöä, kun taas peltotuotannon ratkaisuiden on täytynyt odottaa langattomien tiedonsiirtoratkaisuiden kehittymistä (Polvinen 2017b).

Useissa haastatteluissa käsiteltiin **aitoja IoT-ratkaisuita**, jotka ovat vielä harvinaisia. Aiidolla IoT-ratkaisulla tarkoitetaan ratkaisua, jolla on anturiperustaisen datan tuottamisen ja verkon yli siirtämisen lisäksi kyky ympäristöönsä vaikuttamiseen esimerkiksi toimilaitteilla datan analytiikan perusteella. Markkinoilla on C.C.n mukaan saatavilla useita laitteita joihin on lisätty joitakin IoT:in toiminnallisuuksia, mutta laitteet, joiden toimintaan voi vaikuttaa verkon ylitse anturoinnin lisäksi ovat harvinaisia (Polvinen 2017a). Kasvintuotannossa tehdasautomaation ratkaisuita hyödyntävissä järjestelmissä esimerkiksi kasvihuoneissa verkon yli kontrolloitavat toimilaitteet ovat yleisempiä (Polvinen 2017b). Kehitys on kuitenkin nopeaa ja täysautomaattisesti toimivat viljelyjärjestelmät tulevat todennäköisesti leviämään markkinoille nopeasti lähitulevaisuudessa (Polvinen 2017c). Valtran ensimmäinen telemetria- ja IoT-järjestelmä on saanut E.E.n mukaan hyvän vastaanoton markkinoilla (Polvinen 2018b).

Tuotteiden, järjestelmien ja muun muassa tiedostoformaattien **elinkaaria** käsiteltiin useissa haastatteluissa. Maatalouden teknologiaratkaisuiden kehittämisen haasteena mainitaan laitteiden pitkät elinkaaret, jotka voivat olla esimerkiksi traktoreilla yli 30 vuotta. Lisäksi vanhojen laitteiden tulisi olla yhteensopivia uusien ratkaisuiden kanssa. Erityisen

haasteelliseksi elinkaarisuunnittelu kuvaillaan ohjelmistokehitykselle. Ohjelmistohuoltovarmuuden takia tulisi säädöksillä varmistaa kolmannen osapuolen jatkokehityksen mahdollisuus alkuperäisen kehittäjän lopettaessa (Polvinen 2017a). Samoin IoT-laitteeseen liittyvän palvelun toiminnan päättyessä laitteista tulee usein hyödyttömiä, eikä näin riskialttiita laitteita voida ottaa toimintakriittisen järjestelmän osiksi – ainakaan jos järjestelmän toiminta on riippuvainen kyseisestä laitteesta (Polvinen 2018a).

**Keinoälyä** sivuttiin haastatteluissa 1 ja 5. Jotta **keinoälyä** voitaisiin hyödyntää maataloudessa on haastateltavien mukaan vielä tehtävä paljon töitä. Perusautomaatiikka on jo A.A.n mukaan olemassa, mutta systeemiautomaatio vaatii kehittämistä jotta sitä voitaisiin käyttää keinoälyn kanssa työn ohjaamiseen ja ylemmän tason päätöksenteon avuksi tehtävään analytiikkaan. Keinoälyn soveltaminen rajoittuu tällä hetkellä vielä operatiivisiin tehtäviin kuten rikkaruohojen tai esteiden tunnistamiseen ja työtehtävien automatisointiin. Jo operatiivisella automaattiohjauksella saadaan yleensä lisättyä työkoneiden työtehoa. Seuraavassa kehitysvaiheessa voidaan keinoälyn avulla automatisoida yhä enemmän toistuvia työsuoritteita. Tämä voi ilmetä täysin keinoälyn ohjaamina **autonomisina traktoreina**, joissa voitaisiin hyödyntää autoteollisuuden kehittämiä ratkaisuita. Pidemmälle kehittyneen keinoälyn käyttöönottoon tulisi olla selkeä taloudellinen peruste. Keinoälyn kehittyessä voitaisiin saada käyttöön järjestelmiä, jotka datasta suoraan päätelmiä tekevä keinoäly voisi ohjata automaation toteuttamia toimenpiteitä. Toinen mahdollinen toimintamalli olisi ehdottaa käyttäjälle toimenpiteitä, jotka sitten annetaan automaation suoritettaviksi. (Polvinen 2017b, 2018b)

**Teknologiasovelluksista** havaintojen määrän mukaan yleisin haastatteluissa käsitellyistä teknologiasovelluksien asiasisällöistä olivat **Tiedonkäsittelyn alustapalvelut** ja -järjestelmät. Asiasisällössä käsiteltiin erilaisia alustapalveluita aina anturidatan analytiikasta viljelijöiden sosiaaliseen verkostoitumiseen asti. Haastatteluissa mainittiin maataloustoiminnassa syntyvän datan käsittelyn ja verkostoitumisen alustapalveluista Farmobile (<https://www.farmobile.com>) ja Farmer's Business Network (<https://www.fbn.com>), jotka toimivat USA:ssa. Datan jakamisen esteenä on Suomen toimintaympäristössä vielä alustapalvelun puuttuminen ja datan saatavuus viljelyjärjestelmistä. Viljelytoiminnassa syntynyttä dataa ei mitenkään systemaattisesti käytetä hyväksi. Alustaratkaisuille ja palveluille jotka mahdollistaisivat tiedon vaihdannan, analytiikan, vertailut ja yhteisen liiketoiminnan voisi olla kysyntää ja haastatteluissa pohdittiin palveluiden visioita mahdollisina toteuttaa. Tällä hetkellä keskitytään eri tahojen eri tarkoituksiin keräämien tietojen integroimiseen eri toimijoiden kesken, mutta tietojen integraatiossa on vielä suuria ongelmia. Esimerkiksi meneillään olevassa Agrirouter-projektissa pyritään yhdistämään erilaiset toimijat, FMIS:it, IoT-toiminnot, telemetriatoimittajat ja ISOBUS-koneet. Tulevaisuudessa laajamittainen yhteen toimivien järjestelmien käyttöönotto on riippuvainen alustojen kehityksestä ja saa-

tavuudesta ja todennäköisesti viiden vuoden kuluttua järjestelmien välisiä ja dataa integroivia ratkaisuita on jo yleisessä käytössä. Järjestelmäintegraation, datan käsittelyn ja alustojen yhteisten ekosysteemien onnistunut toteutuminen tulisi muuttamaan maataloustyön luonnetta. (Polvinen 2017b, 2017c, 2017a, 2018a, 2018b)

Teknologiasovelluksien asiasisällössä **telemetri**an havaintoja oli tietojenkäsittelyn alustapalveluiden jälkeen eniten. Etähavainnointina se on tärkeä toiminnallisuus lähes kaikissa AIoT-ratkaisuissa. Maanviljelyn sovelluksissa pyritään telemetrian avulla lisäämään työtehoa työkoneiden ennakoivan huollon ja vikadiagnostiikan avulla. Telemetriapalveluista saadaan analytiikan avulla tietoa paitsi koneiden myös tuotantoprosessien tilasta, jolloin toimintaa voidaan optimoida parempien tulosten saavuttamiseksi. (Polvinen 2017b) Lannoitteiden kohdentamista varten käytetään satelliitti- tai UA-laitteilla kerättyä kuvantamisdataa, josta analytiikan avulla muodostetaan lannoitustoimenpide (Polvinen 2017a). Telemetriapalveluiden hankkeita oli E.E.n mukaan käynnissä useilla merkittäväillä maatalousalan laitetoimittajilla. Telemetriatuotteet ovat kuitenkin selkeästi eri kategoriassa kuin esimerkiksi FMIS-tuotteet eivätkä aina voi käyttää toistensa tuottamaa tai käsittelemää dataa yhteistoiminnassa. (Polvinen 2018b)

Yleinen osa AIoT-ratkaisuita ovat myös **anturiverkot**, joissa mittauksia tehdään laajalta alueelta. Haastatteluaineistossa anturiverkot oli havaittu vain kolmeen kertaan. C.C.n mukaan mittausverkon rakentaminen maatilan toimintaa mittaroimaan on haaste, johon vastaamista IoT-laitteet voisivat helpottaa. Vielä tällä hetkellä peltoviljelyssä anturiverkkoja on käytössä lähinnä vain tutkimuskäytössä ja tilatasolla anturointi rajoittuu **sääasemiin**. (Polvinen 2017a)

Standardeista haastatteluaineistossa yleisimmin käsitelty standardi oli **ISOBUS**, joka on kehitetty traktorien ja työkoneiden väliseen tiedonsiirtoon ja laitteiden hallintaan. ISOBUSilla on D.D.n mukaan ratkaistu koneiden yhteenliitettävyyden ongelma ja tällä hetkellä ollaan menossa kohti seuraavaa kehitysvaihetta, jossa koneet kytketään osiksi suurempaa järjestelmää (Polvinen 2018a). ISOBUSia on kehitetty pitkään AEF:n työryhmissä, joissa jatketaan uusien toiminnallisuuksien kehitystä. Esimerkiksi **teollisen Ethernetin** käytön mahdollisuuksia CAN-väylän rinnalla tutkitaan suuremman tiedonsiirtokapasiteetin vaatimuksien täyttämiseksi (Polvinen 2017b). Asiasisällössä **muut standardit** käsiteltiin standardien kehittymistä, yleistä luonnetta ja tärkeyttä maatalousteollisuuden toiminnalle. **Avoimien standardien** kuvailtiin olevan erityisen tärkeitä jotta voidaan välttää yhteen valmistajaan lukittuminen (engl. vendor lock). D.D.n mukaan luultavasti merkittävin yritys avoimien tietojenkäsittelystandardien kehittämiseksi ja yhteen toimittajaan lukittumisen välttämiseksi on AEF:n yritys saada ISOBUS-standardilla kytketyt koneet yhdistettyä viljelysuunnitteluohjelmistoihin (Polvinen 2018a).

## **Maataloustuotannon laitteet ja maataloustuotannon tehostaminen**

Maataloustuotanto-kategorian alikategoriassa Laitteet oli 39 havaintoa ja alikategoriassa Tehostaminen vastaavasti 32 havaintoa. Laitteita käsittelevistä asiasisällöistä eniten havaintoja oli maataloustuotannossa käytettävien **laitteiden yhteensopivuus ja integraatio** -asiasisällössä. Yksittäisen toimijan on A.A.n mukaan käytännössä mahdotonta toteuttaa peltoviljelyn kokonaisvaltaista ratkaisua. Tällöin yhteensopivuus eri valmistajien laitteiden välillä muodostuu tärkeäksi. (Polvinen 2017b) Yhteensopivuuteen liittyvät edellä käsitellyt standardit kuten ISOBUS sekä dataa yhteen keräävät maatalan tiedonhallintajärjestelmät. Laitteintegraatio, laitteiden yhteensopivuus ja yhteen kytkettävyys ovat D.D.n mukaan parantuneet selkeästi viimeisen neljän vuoden aikana (Polvinen 2018a).

**Laitteiston ROI** eli laitteisiin sijoitettujen investointien tuotto oli toinen useissa haastatteluissa käsitelty asiasisältö. Uutta teknologiaa soveltavat laitteet ovat maataloudessa pienviljelijöille hyvin kalliita investointeja, joiden pitäisi tuottaa vähintään investoinnin verran takaisin.

Maatalouden uusien teknologioiden julkisuuskuvassa usein esillä olevat **UA-laitteet** olivat esillä myös haastatteluissa. UA-laitteiden tuottama kuvantamisdatan määrä on suuri ja analysointi usein haasteellista. Lisäksi tehtävien tuottaminen kuvantamisdatasta tehdyn analyysin perusteella voi olla viljelijälle vaikeaa tällä hetkellä saatavilla olevilla ohjelmistoilla. UA-laitteiden käyttö vaatii käytännössä myös oman teknologiaekosysteemin käyttöönottoa, mikä voi sekä olla haasteellista. (Polvinen 2018a)

Laitteiden **hintojen halpeneminen** on uusien teknologioiden laajamittaiselle omaksunnalle tärkeää. C.C.n mukaan keskeinen tekijä laitteiden hintojen alas tuomiselle on olemassa olevan teollisuusautomaation soveltaminen (ks. asiasisältö teollisuusautomaatio). Lisäksi laajamittaiselle omaksunnalle on C.C.n ja D.D.n mukaan tärkeää, että laitteiden **toimintavarmuuteen** ja **toimintaympäristön vaatimuksiin** kiinnitetään erityistä huomiota (Polvinen 2017a, 2018a).

Tuotannon tehostamisen alikategorian asiasisältöjä käsiteltiin kaikissa haastatteluissa. Suurin määrä havaintoja oli asiasisällöllä **Viljelyprosessien tehostaminen**, mihin kuuluvat myös prosessien optimointi sekä tuotannon automatisointi. Työtehokkuuden parantamisen osana asiasisältö **työn helpottaminen** liittyy myös edellä käsiteltyyn investointien tuottavuuteen: usein aikaisempaa tehokkaammilla laitteilla ja prosesseilla pyritään tehostamaan työtä helpottamalla työtehtäviä ja automatisoimalla toistuvia toimenpiteitä. **Resurssien käytön** asiasisällössä kuvaillaan miten aikaisempaa tarkemmin hallituilla prosesseilla erityisesti tuotantopanoksia osataan säätää paremmin (Polvinen 2017b, 2017c). Viljelytoiminnan tehostamisen lisäksi IoT-ratkaisuilla voidaan pyrkiä koko tuotantoketjun



toiminnan parantamiseen. Tuotantoketjun mittaroinnissa pyritään usein ympäristöystävällisempään ja/tai tehokkaampaan toimintaan. (Polvinen 2017a) Työn helpottaminen ja automatisointi voi muuttaa työn luonnetta ja saattaa vähentää viljelijän asiantuntemusta jos toiminnassa nojaututaan täysin automaattisen järjestelmän tuottamiin ohjeisiin (Polvinen 2018a). Toisaalta tuotannossa voi olla huomaamatta jääneitä pullonkauloja, jotka voitaisiin havaita data-analytiikalla (Polvinen 2018b).

### ***Tuotteet ja teknologiaratkaisut***

Tekniikka-kategorian alikategoriassa Tuotteet ja teknologiaratkaisut oli 23 havaintoa. Haastatteluissa käsiteltiin useita erilaisia **tuotteita ja ratkaisuita**. Yksittäisten ja nimeltä mainittujen tuotteiden, ratkaisuiden tai järjestelmien havainnot rajoittuivat **Yara N-sensoria** lukuun ottamatta yksittäisiin haastatteluihin, eli kukin mainittiin vain yhdessä haastattelussa. Suurin osa mainituista ratkaisuista on pilvipalveluita, joita käytetään maatalon tiedonhallintajärjestelminä, maatilan tuottaman datan integrointiin, yhteishankintalustoina, viljelijöiden verkostoitumiseen jne. Haastatteluaineistossa ei mainittu N-sensorin ja SoilScoutin lisäksi nimeltä muita tuotteita, joita käytettäisiin viljely-ympäristön tai kasvien havainnointiin. Toisaalta vastaaviin ratkaisuihin liittyviä teknologioita, järjestelmiä ja palveluita kuten anturitekniikkaa käsiteltiin yleisesti.

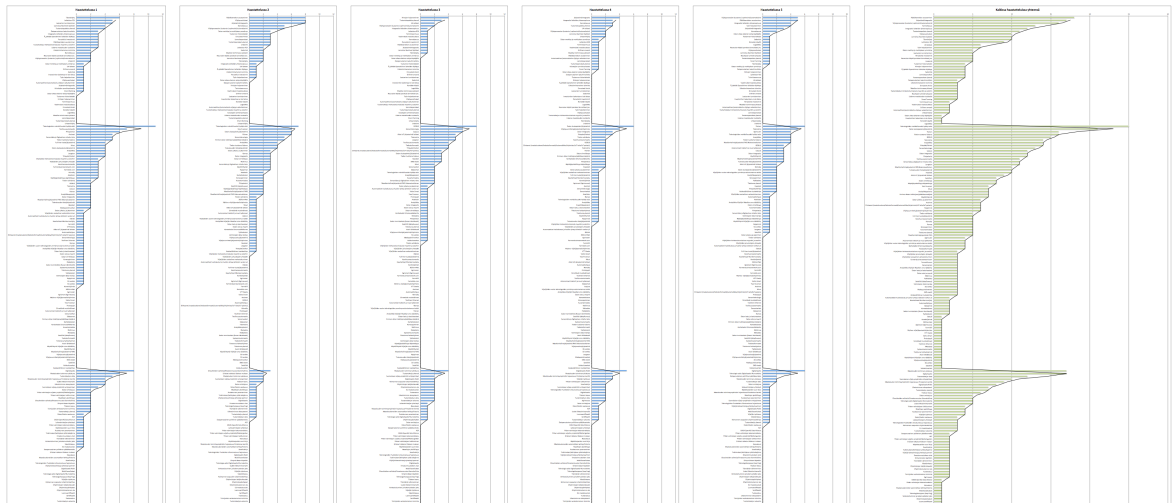
Esimerkkinä anturitekniikan sovelluksesta traktorin katolle asennettavan N-sensorin avulla voidaan reaaliaikaisesti havainnoida kasvien tilaa ja kontrolloida lannoitteen levitystä, välttämällä lannoitteiden liiallinen levittäminen kasveille jotka eivät sitä tarvitse. Lisäksi N-sensorin mittausdataa voidaan yhdistää paikkatietoihin, jolloin voidaan tuottaa kartoja kasvien tilasta. **Valtra Connect** on Valtran traktoreiden telemetriaominaisuuksia hyödyntävä järjestelmä, jolla voidaan tarkkailla traktoreiden toimintaa, tehdä tarvittaessa vika-diagnostiikkaa ja ohjata huollon toimintaa kentällä.

**365FarmNet** (<https://www.365farmnet.com/>) on pilvipalveluna toimiva kokonaisvaltainen maatilan tiedonhallintajärjestelmä, jossa voidaan käyttää muun muassa N-sensorin tuottamaa dataa yhdessä muiden tietolähteiden ja maatalouden järjestelmien kanssa (Polvinen 2017c). **Agrirouter** (<https://my-agrirouter.com>) on toinen samankaltainen maataloustuotannon dataa yhteen kokoava palvelu, joka mainittiin haastatteluaineistossa. A.A.n mukaan suomalaisilla viljelijöillä voisi olla tarvetta USA:ssa toimivien **Farmobile:n** ja **Farmer's Business Network**:in kaltaisille alustaratkaisuille, joissa viljelijät voivat verkostoitua, vertailla, myydä ja ostaa tuottamaansa tietoa sekä tehdä yhteishankintoja. Mtech (<https://www.mtech.fi>), entinen Suomen Maatalouden Laskentakeskus Oy, on toteuttanut alustan viljelijöiden yhteishankinnoille **FarmiDiili**-palvelussaan. (Polvinen 2017b)

## Sisällönanalyysiin taulukoinnin havainnot

Tässä alaluvussa kuvaillaan sisällönanalyysin tulosten taulukoinnista tehtyjä havaintoja. Taulukoinnin tuloksia tarkisteltaessa on pyritty välttämään havaintojen lukumäärien käsitelyä ja keskittymään asiakokonaisuuksiin ja tulkintoihin, jotta yksittäiset havainnot eivät vaikuttaisi kokonaisuudesta tehtäviin johtopäätöksiin. Tämä johtuu suurelta osin yksittäisten havaintojen tulkinnanvaraisuudesta ja osin virheiden todennäköisyydestä havaintojen ollessa vain tekijän omia tulkintoja haastatteluaineistosta.

Kun havainnot jaoteltiin erikseen haastatteluittain ja järjesteltiin kategorioiden mukaan havaintojen määrän järjestykseen, nähtiin että kussakin haastattelussa koodien havaintojen jakauma oli samankaltainen mutta havainnot kohdistuvat eri aihealueille eli koodeille. Kaikissa haastatteluissa kussakin kategoriassa oli muutama keskeinen eniten havaintoja saanut koodi, useampia vähemmän havaintoja saaneita koodeja sekä useita vain yhden havainnon saanut koodi (kuvio 1).



Kuvio 1. Koodien havaintojen lukumäärien kaaviot haastatteluikohtaisina (siniset) ja koko haastatteluaineistossa (vihreä)

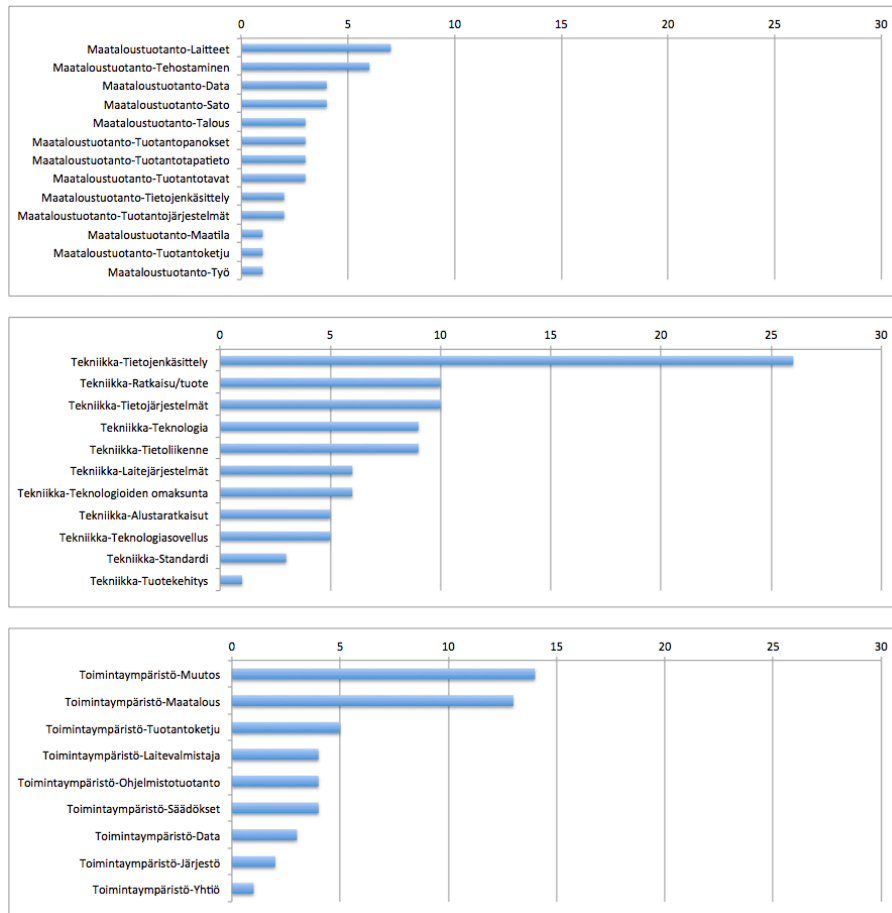
Tekniikan kategorian koodien havaintoja oli jokaisessa haastattelussa huomattavasti enemmän kuin Maataloustuotanto- ja Toimintaympäristö-kategorioissa, usein lähes yhtä paljon kuin kahdessa muussa yhteensä. B.B.n haastattelussa (taulukoissa Haastattelu 2) Maataloustuotanto-kategorian koodien havaintoja oli muihin haastatteluihin verrattuna poikkeuksellisen paljon. Muissa haastatteluissa Maataloustuotanto- ja Toimintaympäristö-kategorioiden koodien havainnot jakoutuivat keskenään tasaisemmin.

Koko haastatteluaineiston koodien havaintojen yhteenlasketut määrät jakoutuivat samankaltaisesti yksittäisten haastattelujen havaintojen kanssa kun ne järjesteltiin kategoriottain havaintojen määrän järjestykseen. Jokaisessa kategoriassa (Maataloustuotanto, Tekniik-

ka ja Toimintaympäristö) oli muutama keskeinen eniten havaintoja saanut koodi, jonka jälkeen havaintojen määrä laski selkeästi ja päättyi "pitkään häntään" koodeja, jotka saivat vähän havaintoja.

Koko haastatteluaineistosta yhteen kootuista havaintojen määrästä nousivat esille uusien teknologioiden omaksunta ja sen hyödyt, tietojenkäsittelyn alustapalvelut, tiedon tuottama lisäarvo, järjestelmäintegraatiot, maatalouden toiminnan digitalisaatio, päätöksenteon avustaminen sekä viljelyprosessien optimointi ja automatisointi. Useita havaintoja oli myös asiasisällöillä maataloustuotannon kannattavuus ja suomalaisen toimintaympäristön erityispiirteet, ISOBUS-standardi, telemetriaratkaisut, data-analytiikka ja datan integraatiot, pilvipalvelut, tietoliikenne- ja sensoriteknikat, laitteiden integraatio ja yhteensopivuus, tuotantotapatio ja tuotantoketjun data.

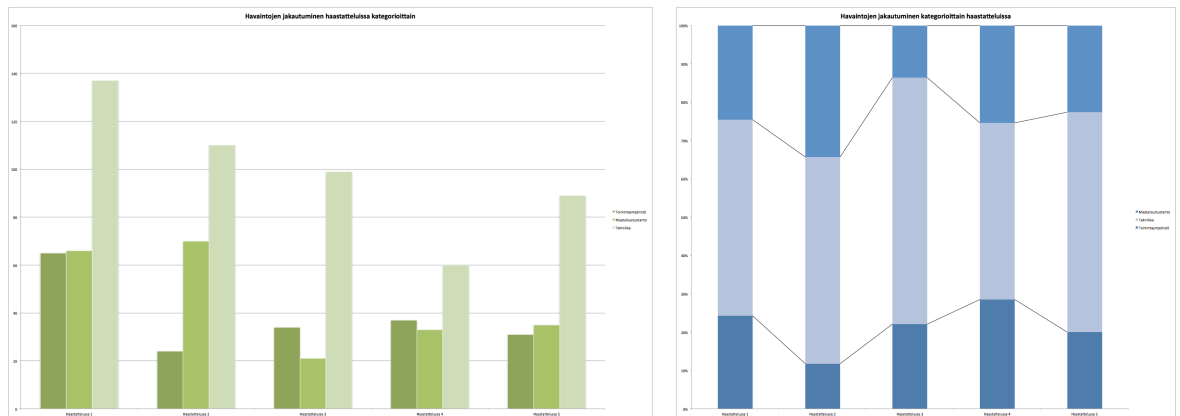
Asiasisällöt jakautuivat alikategorioihin ja kategorioihin epätasaisesti (kuvio 2). Tekniikan kategoriaan luokiteltujen koodien määrä oli lähes kaksinkertainen maataloustuotannon ja toimintaympäristön vastaaviin verrattuna. Alikategorioista selkeästi eniten koodeja luokiteltiin tietojenkäsittelyn tekniikkojen alikategoriaan. Seuraavaksi eniten erilaisia koodeja luokiteltiin toimintaympäristön muutoksen ja maatalouden toimintaympäristön alikategorioihin. Näitä seurasi useampi tekniikan alikategoria kuten teknologiatuotteet, tietojärjestelmät, erilaiset teknologiat ja tietoliikenne. Muita koodien määrältään mainittavia alikategorioita olivat maataloustuotannon laitteet ja tuotannon tehostaminen, laitejärjestelmät, teknologioiden omaksunta ja alustaratkaisut. Nämä havainnot eivät suoranaisesti kuvaa kuinka usein kunkin alikategorian koodeja havaittiin haastatteluaineistossa tai kuinka keskeisiä mitkäkin alikategoriat ovat, mutta ne kuvaavat kunkin alikategorian asiasisällön monisäikeisyyttä.



Kuvio 2. Kategorioiden (Maataloustuotanto, Tekniikka ja Toimintaympäristö) kaaviot alikategorioiden asiasisältöjen eli koodien lukumäärästä

Vertailtaessa kaikkia haastatteluaineistossa yli viidesti havaittuja koodeja kussakin haastattelussa yli kerran havaittuihin, voitiin havainnoida kuinka suurelta osin yksittäisissä haastatteluissa käsiteltiin samoja asiasisältöjä kuin kaikissa haastatteluissa yhteensä. Samalla voidaan tarkastella mitkä ja kuinka monet koodit oli havaittu vain yhdessä haastattelussa ja mitkä asiasisällöt ovat näin olleet ominaisia kullekin haastattelulle. Havaintojen määrien rajausta oli valittu harkinnanvaraisesti kokeilujen perusteella ja niiden on arvioitu tuottavan parhaiten materiaalia havainnollistavan tuloksen. Yksittäisistä haastatteluista vähiten koko aineiston yleisistä koodeista löytyviä koodeja oli C.C.n haastattelussa (Haastattelu 3). Yleisiä koodeja havaittiin olevan kyseisessä haastattelussa hieman yli puolet haastattelun kaikista koodeista, 53 %. Eniten yleisiä koodeja havaittiin vastaavasti E.E.n haastattelusta, missä niitä oli 61 %. Muut haastattelut jakautuvat näiden välille. Suurin osa jokaisessa haastattelussa käsitellyistä asiasisällöistä oli siis sellaisia, joita oli todennäköisesti käsitelty myös muissa haastatteluissa. Tämä johtuu todennäköisesti kaikille haastatteluille yhteisistä haastatteluteemoista. Haastatteluille yksilöllisiä asiasisältöjä puolestaan oli eniten (30 %) A.A.n haastattelussa (Haastattelu 1) ja lähes yhtä usein C.C.n haastatte-

lussa (29 %). Vähiten (17 %) yksilöllisiä asiasisältöjä puolestaan oli D.D.n haastattelussa (Haastattelu 4).



Kuvio 3. Havaintojen määrien jakautuminen haastatteluissa kategoriittain (liite 4)

Vertailtaessa kunkin kategorian koodien havaintojen prosentiosuuksia kussakin haastattelussa muiden haastattelujen vastaaviin, voitiin havainnoida haastattelujen kesken kategoriakohtaisia painotuksia (kuvio 3). B.B.n haastattelu (kuviossa Haastattelu 2) painottui muita enemmän maataloustuotannon kategoriaan ja vastaavasti vähemmän toimintaympäristöön. C.C.n haastattelussa (kuviossa Haastattelu 3) oli muita pienempi prosentiosuus maataloustuotannon kategorian havaintoja ja vastaavasti enemmän tekniikan kategorian havaintoja. A.A.n ja D.D.n haastattelujen (kuviossa Haastattelu 1 ja Haastattelu 4) havaintojen osuudet jakoutuivat saman kaltaisesti, D.D.n haastattelun tekniikan kategorian osuuden ollessa hieman muita pienempi. D.D.n haastattelussa oli myös lukumäärällisesti tekniikan kategorian havaintoja selkeästi pienin määrä. A.A.n haastattelussa oli taas eniten tekniikan kategorian havaintoja. B.B.n haastattelussa puolestaan oli eniten maataloustuotannon havaintoja. C.C.n haastattelussa havaittiin myös lukumäärällisesti vähiten maataloustuotannon kategorian koodeja. Toimintaympäristön kategorian havaintoja oli selkeästi eniten A.A.n haastattelussa ja vähiten B.B.n haastattelussa.

Tekniikan kategorian koodeista kaikissa haastatteluissa havaituista keskeisimmät olivat uusien teknologioiden hyödyt, datan alustapalvelut, analytiikka, tietoliikenneverkot, pilvipalvelut ja datan integraatio. Maatalouden kategoriassa vastaavasti kaikissa haastatteluissa havaituista koodeista keskeisimmät olivat päätöksenteon avustaminen, järjestelmäintegraatio, viljelyprosessien optimointi, tuotannon kannattavuus ja laitteiden integraatio ja yhteensopivuus. Nämä olivat myös kategoriassaan eniten havaitut koodit ja tekniikan kategorian vastaavat koodit olivat hajautuneempia eri haastatteluihin. Toimintaympäristön kategorian kaikissa haastatteluissa havaituista koodeista keskeisimmät olivat maatalouden yleiskuva, tuotantoketjun data ja suomalaisen viljely-ympäristön erityispiirteet. Toimintaympäristön kategorian koodit olivat selkeimmin hajautuneet eri haastattelujen kesken.

**A.A.n haastattelussa** eniten havaintoja oli asiasisällöillä jotka käsittelevät uusien teknologioiden omaksunnan mahdollisuuksia, digitalisaation aiheuttamaa toimintaympäristön muutosta, teollisuusautomaation teknologioita, täsmäviljelyä tuotantotapana ja pilvipalveluita. Useita havaintoja oli myös asiasisällöillä avoimet teknologiastandardit, sensoridata ja mitattu digitaalinen tieto, tiedon tuottama lisäarvo, maataloustuotannon laitteiston investoinnin takaisinmaksu (ROI), sadon laatuerien tunnistaminen ja tuotantoketjun data. Haastattelussa keskeisiä yksilöllisiä, yli yhdesti havaittuja asiasisältöjä olivat tuotannon laatuerien tunnistaminen, tuotteiden lisäarvo ja dataperustainen hinnoittelu, uudet liiketoimintamallit, viljelijöiden ja kuluttajien verkostoituminen, datan käyttö ja omistajuus. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottui teknologioiden tuomiin mahdollisuuksiin ja niiden realisointiin maataloudessa.

**B.B.n haastattelussa** vastaavasti eniten havaintoja oli asiasisällöillä, jotka käsittelevät päätöksenteon avustamista ja viljelysuositusten tuottamista tietojenkäsittelyn avulla, tuotantojärjestelmien integraatiota ja uusien teknologioiden omaksunnan mahdollisuuksia. Useita havaintoja oli myös asiasisällöillä maataloustuotannon kannattavuus, viljelyprosessien optimointi, tiedonkäsittelyn alustapalvelut, Yaran N-sensor, teknologioiden omaksunta, sensortechnologiat ja ihmisen rooli datan tulkitsijana. Haastattelussa keskeisiä yksilöllisiä, yli yhdesti havaittuja asiasisältöjä olivat kartta- ja satelliittidata, tuotantodatan ymmärrys, tuotannon historiatiedot, tuotannon tehostaminen, satoennusteet ja mallinnus sekä lannoitepanokset. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottui data-analytiikan ja sensortechnologioiden sovelluksien sekä niiden integraatioiden tuomiin mahdollisuuksiin maataloudessa.

**C.C.n haastattelussa** puolestaan eniten havaintoja oli asiasisällöillä jotka käsittelevät ISOBUS-standardia, sensortechnologioita ja teknologioiden omaksunnan laajuutta. Useita havaintoja oli myös asiasisällöillä aidot IoT-järjestelmät ja laitteet, telemetriaratkaisut ja langattomat tietoliikennetekniikat. Haastattelussa keskeisiä yksilöllisiä, yli yhdesti havaittuja asiasisältöjä ovat ohjelmistotuotanto, ohjelmistojen tekijänoikeudet ja kolmannen osapuolen ohjelmistokehitys, tuotantoketjun valvonta ja tuotevastuu, sääasemat ja anturiverkot, laitteiden hintojen halpeneminen, tiedostoformaatit ja EU-maataloustuki. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottui maatalouden tuotantoon, siinä käytettäviin laitteisiin ja teknologioihin, tietoliikennearatkaisuihin ja teollisuusautomaation soveltamiseen maataloudessa.

**D.D.n haastattelussa** eniten havaintoja oli asiasisällöillä jotka käsittelevät tietojenkäsittelyn alustapalveluita, viljelynsuunnittelujärjestelmiä, digitalisaation riskejä, tuotantojärjestelmien integraatioita ja laitteiden yhteensopivuutta. Useita havaintoja oli myös asiasisällöillä datan integraatio, tietoliikennetekniikat, maatalouden toimintaympäristön hajanai-

suus, tuotannon kannattavuus ja tuotantotapatieo. Haastattelussa keskeisiä yksilöllisiä, yli yhdesti havaittuja asiasisältöjä olivat maataloustuotannon sovelluskirjo, teknologiatuotteiden siiloutuneisuus, viljelijän työnkuvan muutos ja ortomosaiikkikartat. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottui järjestelmien integroinnin sekä maatalouden toimintaympäristön haasteisiin.

**E.E.n haastattelussa** taas eniten havaintoja oli asiasisällöillä jotka käsittelevät uusien teknologioiden omaksuntaa, maatalouden digitalisaatiota, toimintaympäristön muutosta, telemetriaratkaisuita, laitteiden integraatiota, viljelyprosessien optimointia ja automatisointia, päätöksenteon avustamista ja viljelijän työn helpottamista. Useita havaintoja oli myös asiasisällöillä tiedon tuottama lisäarvo, data-analytiikka, maatalon tiedonhallintajärjestelmät ja teknologiaomaksunnan hyödyt. Haastattelussa keskeisiä yksilöllisiä, yli yhdesti havaittuja asiasisältöjä olivat maatalouden digitalisaation murros, autonomiset traktorit, paikkatieto, viljelijöiden teknologia-asiantuntemus, tietoturva, käyttäjälähtöinen tuotekehitys ja poliittinen päätöksenteko. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottui digitalisaation ja uusien teknologioiden mahdollistamaan muutokseen maataloudessa.

Haastatteluaineistosta lasketuissa sanamäärissä toistuivat eniten tutkimusaiheelle keskeiset asiasanat kuten data, järjestelmät, tietoverkot, sensorit, tuotekehitys, koneet, palvelut, automaatio, standardit, isobus ja ohjelmistot. Sanamäärissä ei ollut näkyvissä suurta määrää olemassa olevia ratkaisuita ja valmistajia. Sanamääristä sai vaikutelman, että haastatteluissa puhuttiin yleisellä tasolla visioista ja tulevaisuudesta sekä niistä asioista, joihin tullaan vaikuttamaan ja jotka tulevat muuttumaan. Näkyvissä oli myös laadullista kuvailua helppokäyttöisyydestä, yhteensopivuudesta, hajanaisuudesta jne. – ei niinkään valmiista jo tunnetuista ja koetelluista ratkaisuista tai toimintatavoista.

Lämpökartan (liite 9) avulla tehdyt havainnot koodien jakautumien samankaltaisuuksista haastatteluissa eivät merkittävästi tuoneet esille uusia yhteyksiä eri asiasisältöjen välille. Tämä oli odotettavissa, koska käytetyssä menetelmässä kunkin koodin esiintymien määrä kussakin haastattelussa ei ole yhteydessä koodin asiasisältöön tai kontekstiin, missä koodi havaittiin.

Lukuja tulkitessa tulee ottaa huomioon, että jo yhden koodihavainnon ero voi helposti aiheuttaa huomattavalta vaikuttavan eron. Yksittäiset havainnot eivät tämän analyysin tapauksessa ole kovin luotettavia. Lisäksi useiden koodien ollessa päällekkäisiä ja/tai samoja aiheita eri konteksteissa käsitteleviä, voidaan havaintojen lukumääriä pitää korkeintaan suuntaa antavina. Luvuista kuitenkin voitiin havaita kunkin haastattelun painotuksia ja lähestymiskulmia, jotka muotoutuivat kullekin haastateltavalle asiantuntijalle ominaisiksi.

## 5.2.2 Haastatteluaineiston kuvaus

Tässä alaluvussa kuvaillaan haastatteluissa käsiteltyjen teemojen mukaan jaotellut haastattelutulokset. Havainnot on tehty haastatteluaineiston litterointien ja niistä tehtyjen muistiinpanojen sisällöstä.

### *AIoT:in tilanne yleensä*

Haastatteluissa A.A. kuvaili maatalouden yleistä tilannetta AIoT:in näkökulmasta hyvin hajanaiseksi ja pirstaleiseksi. Samaan tapaan C.C.n mielestä yleistilanne on hyvin sekava ja B.B. kuvaili peltokasvintuotannon tavoitetilan olevan useiden teknisten rajoitteiden takana. D.D.n mukaan tällä hetkellä on jo saatavilla useita AIoT-tekniikaratkaisuita, mutta näiden järjestelmien välinen vapaa ja avoin yhteistyö ja dataintegraatio on vielä vaikeaa. E.E. puolestaan näkee, että AIoT:in tekniikaratkaisuissa ja maatalouden digitalisaatiossa ollaan murroksen partaalla. (Polvinen 2017b, 2017c, 2017a, 2018a, 2018b)

A.A. kertoi, että täsmäviljelyä on historiallisesti toteutettu jo hevosajkaan käsityökaluilla nojautuen viljelijän omaan hiljaiseen tietoon ja hyvin vähäisillä panoksilla. Myöhemmin viljelyn tehostumisen ja nyt EU:n pinta-alaperustaisen maataloustuen vaikutuksesta maatiilojen koon on ollut pakko kasvaa. Tilakokojen kasvu on tarkoittanut, että yhden ihmisen tulee pystyä käsittelemään yhä suurempia peltopinta-aloja samassa aikaikkunassa kuin aiemmin. Tällöin myös koneiden koko on suurentunut, peltolohkoista on tehty suurempia ja lohkoja on käsitelty samoilla tasasäädöillä jolloin viljelytoiminnasta ollaan menetetty tarkkuus ja tuntuma. Uudella tekniikalla ollaan ottamassa takaisin sitä tarkkuutta, mitä talikolla levitettäessä aikanaan toteutettiin. (Polvinen 2017b)

A.A.n mukaan täsmäviljelyssä pyritään asettamaan jokaiseen pellon neliöön vain sen tarvitsema panos eikä yhtään enempää, jolloin suurilla peltopinta-aloilla toimittaessa voidaan täsmäviljelyn vaatiman laite- ja järjestelmähankinnan hankintakustannukset kattaa jo kolmessa vuodessa saavutettavilla lannoitesäästöillä. Tämä on tullut mahdolliseksi tarvittavien tekniikoiden leviämisen ja hintojen alenemisen myötä, jolloin niistä on tullut niin sanottua perustekniikaa. Toisaalta pienillä peltopinta-aloilla toimittaessa tulee täsmäviljelyn vaatima lisäinvestointi koneiden hinnassa kattaa työn tehostamisella. Työtehota voidaan yleensä lisätä työkoneiden automaattiohjauksella ja telemetriatoimintojen avulla toimivan ennakoivan huollon sekä vikadiagnostiikan avulla. Telemetriatoimintojen tuottamasta datasta saadaan analytiikan avulla tietoa paitsi koneiden, myös tuotantoprosessien tilasta jolloin toimintaa voidaan optimoida parempien tulosten saavuttamiseksi. Tällaisia etuja on aikaisemmin saavutettu vain full-liner -järjestelmien avulla, mutta nyt vastaavia tietoja tuottavia järjestelmiä on tullut markkinoille myös full-liner -ratkaisuiden ulkopuolelle. Oman työn tehostumisen lisäksi säästöjä voidaan saavuttaa myös tehokkaammalla ura-



koitsijoiden käytöllä, kun töiden ohjeistaminen tehdään digitaalisesti ohjaustiedostoilla. Työkoneiden ja prosessien datan keräämisen ja tallentamisen avulla viljelijän omaa hiljais-ta tietoa voidaan hyödyntää myös urakoitsijan hoitaessa töitä. (Polvinen 2017b)

B.B. ja A.A. arvioivat maanviljelytoiminnan luonteen muuttuvan liiketoimintamaisemmaksi tilakokojen kasvun ja tilojen määrän pienenemisen johdosta. Tämä liiketoimintamaisempi toimintatapa voi A.A.n mukaan alentaa uusien teknologioiden käyttöönoton usein korkeaa kynnystä. Toimintatapojen muutos on selkeästi esillä myös E.E.n näkemässä murrokses-sa, jossa ollaan siirtymässä analogisista hevosvoimia tuottavista laitteista digitaalisiin tie-toa tuottaviin ja käsitteleviin laitteisiin. Murroksessa on kyse erityisesti uusien teknologioiden käyttöönotosta kun maanviljelytoimintaan vaaditaan samankaltaisia toiminnallisuuksia kuin muualla yleistyneet palveluiden mobiilikäyttöliittymät ja sosiaalinen verkostoituminen erilaisten laitteiden avulla. (Polvinen 2017b, 2017c, 2018b)

Yleinen teknologiaratkaisuiden muutos näkyy C.C.n mukaan maatalouden sovelluksissa, joissa ollaan nähty siirtymä ensin keskuskoneista tilakohtaisiin PC-mikroiin ja nyt takaisin verkon yli toimiviin ratkaisuihin. Laitteiden verkottuminen on hänen mukaansa vielä alku-vaiheessa mutta suuntana selkeä. Aikaisemmista muutoksista poiketen laitteet ovat nyt liittymässä tilan tuotantokoneisiin, joista kerätään tuotantotietoa ja niitä ohjataan kerätyn tiedon perusteella. Tiedon keräämiseksi laitteisiin on tulossa aikaisempaa enemmän antu-rointia ja verkkoliikenne on siirtymässä toimimaan muilla tavoin kuin SMS-viesteillä, jotka ovat tähän asti olleet käytössä useissa maatalousautomaation laitteissa. (Polvinen 2017a)

Kasvihuoneissa automatiikan laitteissa anturointi ja tietoverkot ovat jo yleisesti käytössä. Automatiikan näkökulmasta kasvihuoneet ovat luonteeltaan samankaltaisia kuin monet teollisuuden tuotantolaitokset. Kasvihuonetuotannossa voidaan soveltaa suoraan tehdasautomaatiota jo konseptitasolla: ne ovat kiinteitä rakennelmia joihin on helppo asentaa sähkö- ja tietoverkkoja sekä erilaisia antureita ja toimilaitteita. Tämä on yksi syy siihen miksi lähiverkkotekniikalla toimivaa kasvihuoneautomaatiikkaa on ollut käytössä jo pitkään. Kasvihuonejärjestelmissä teollisuusautomaatio on yleensä muokattu viljelijän tarpeisiin sopivaksi ja niin helppokäyttöiseksi, että viljelijän oma asiantuntemus riittää sen käyttöön. Samoin kuin muussa teollisuusautomaatiossa kasvihuonejärjestelmät voivat yleensä ha-vaita itse siinä ilmeneviä vikoja ja lähettää huoltokutsuja tarvittaessa. Näin tuotettua tietoa valmistajat käyttävät pääasiassa oman tuotekehityksensä apuna, mutta voivat myös tarjo-ta käyttäjälle etätukea tarvittaessa. (Polvinen 2017b)

On tärkeää huomata, että tehdasmaisessa toimintaympäristössä yksi valmistaja on voinut rakentaa kattavan kokonaisratkaisun tai 2-3 toimijaa ovat voineet muodostaa pienen ekosysteemin, joiden tuotteet muodostavat keskenään vastaavan kokonaisratkaisun. Tä-mänkaltaisen ratkaisun ei tarvitse olla yhteensopiva tai toimia minkään muun toimittajan

järjestelmien kanssa, mikä tekee tuotekehityksestä paljon helpompaa peltotuotannon vastaavaan tuotekehitykseen verrattuna. Tuotekehityksen lisäksi Suomessa on pitkälle tutkitu suljettuja kasvihuoneita, joissa sovelletaan hyvin pitkälle automatisoituja monikerrosviljelyn ratkaisuita. (Polvinen 2017b)

Haastattelussa D.D. kertoi, että AIoT:in ja maatalouden digitalisaation alueella on jo tällä hetkellä tarjolla valmiita teknologiaratkaisuita ja niitä on riippuen maatalouden osaluueesta jossain määrin otettu käyttöön (Polvinen 2018a). Nykyiset ratkaisut ovat vielä E.E.n mukaan keskenään erilaisia ja osittain omiin tuotekategorioidensa siiloutuneita, esimerkiksi laitetelemetriatuotteet ja maatalon tiedonhallintajärjestelmät (FMIS, engl. Farm Management Information System) toimivat vielä selkeästi erillään (Polvinen 2018b). Teknologiaratkaisuiden käyttöönotto on kentällä A.A.n mukaan tapauskohtaista ja niitä otetaan käyttöön yksittäin eikä koko viljelyprosessin laajuisesti. Koko viljelyprosessin kattavien yksittäisten ratkaisuiden kehittäminen onkin hänen mukaansa hyvin vaikeaa. (Polvinen 2017b) Vastaavasti C.C. kertoi AIoT-ratkaisuita on kaupallisina tuotteina saatavilla vähän ja kentällä käytössä olevissa ratkaisuissa voi lähinnä olla joitain varsinaisten IoT-ratkaisuiden piirteitä ja toiminnallisuuksia (Polvinen 2017a).

Vaikka meneillään on E.E.n mukaan IoT-teknologioiden yleistymisen aalto, laitteita jotka olisi alun perin suunniteltu IoT-laitteiksi on C.C.n mukaan aika vähän. Näillä tarkoitetaan laitteita, joilla on oma verkko-osoite, josta voidaan sekä kerätä dataa että jonka toimintaan voidaan vaikuttaa verkon ylitse. Oikeiksi IoT-ratkaisuuksi luokiteltavien tuotteiden yleistymistä odotetaan C.C.n mukaan tapahtuvaksi lähiaikoina. (Polvinen 2017a, 2018b)

Ylipäättään tilanne on D.D.n oman kokemuksen mukaan parantunut neljän viimeisen vuoden aikana ja laitteita pystytään nyt kytkemään vapaasti toisiinsa enemmän kuin aikaisemmin. Vapaa ja avoin järjestelmien välinen yhteistyö ja dataintegraatio on vielä vaikeaa: on suuria ongelmia saada erilaiset, eri valmistajien eri lähtökohdista suunnittelemat kiinteät laitteet, liikkuvat työkoneet, viljelysuunnitteluohjelmistot, anturijärjestelmät ja ulkopuolisten tahojen tarjoamat datalähde tai -analyysipalvelut toimimaan yhdessä. Kaikki nämä järjestelmät tulisi saada jakamaan dataa ja tietoa niin, että sitä pystyisi helposti käyttämään maatalon toiminnan parantamisessa. (Polvinen 2018a) Tämän kaltainen peltokasvintuotannon tavoitetila on myös B.B.n mukaan monien teknisten rajoitteiden takana. Erityisen ongelmalliseksi hän näkee tietoliikenneverkkojen puutteet: Dataa pystytään kyllä keräämään pellolta suuria määriä, mutta sen siirtämiseen ei ole tarvittavaa infrastruktuuria. Hänen ymmärryksensä mukaan datan suuri määrä on järjestelmien välisen reaaliaikaisen tiedonsiirron este ja nopeat tietoliikenneyhteydet edistäisivät AIoT-ratkaisuiden tuotekehitystä huomattavasti. (Polvinen 2017c)

Samoin kuin D.D., myös C.C. toi esille laitteiden välisen yhteensopivuuden puutteen, mikä ratkaisuksi on kehitetty ISOBUS-standardi. ISOBUS-standardi on D.D.n mukaan ratkaissut pitkälle työkonien yhteenliitettävyyden ongelman ja nyt kehityskulku on menossa kohti seuraavaa vaihetta, missä työkonet liitetään osaksi jotain laajempaa järjestelmää. Esimerkkinä tällaisesta hän mainitsi Agrineuvoksen kehittämän ratkaisun, jolla Valtaran traktorit ja Agrismart-järjestelmä voidaan liittää yhteen: Agrismartin avulla traktorin tuottama data siirtyy automaattisesti viljelysuunnittelujärjestelmään ja viljelysuunnittelujärjestelmässä laaditut tiedot traktoriin. (Polvinen 2017a) B.B. kertoi haastattelussa samankaltaisesta kehityskulusta, jossa ollaan siirtymässä koko ajan lähemmäs kokonaisvaltaista maatalan tiedonhallintajärjestelmää: tällä hetkellä keskitytään eri tahojen eri tarkoituksiin keräämien tietojen yhdistämiseen, tiedolliseen käyttämiseen ja jakamiseen eri toimijoiden kesken. (Polvinen 2017c)

Muissa kuin ISOBUS-standardia käyttävissä laitteissa on käytössä erilaisia ratkaisuita, joiden C.C. kertoi olevan sovelmia muista standardeista eivätkä ne itsessään ole millään tavalla toimialan de facto -standardeja. Järjestelmien välisessä käytössä on vastaavasti jäsentymättömiä Comma Separated Value (CSV) -pohjaisia ratkaisuita. Nämä CSV-pohjaiset ratkaisut ovat joko laitevalmistajien itse kehittämiä ratkaisuita tai yleiseen käyttöön otettuja tapoja toimia, joita ei ole alun perin suunniteltu yleiseen käyttöön. Osa niistä on muodostunut ilman tuottamusta, ikään kuin tahattomasti toimijoiden omaksuessa ad-hoc -ratkaisuita huomioimatta niiden mahdollista elinkaarta. (Polvinen 2017a)

### ***Digitalisaatioharppauksen alku***

E.E.n näkemyksen mukaan viljelijöiden tekemä harppaus digitaaliseen toimintaympäristöön ja siitä saadut kokemukset ovat tärkein osa tämänhetkistä kehityskulun vaihetta. Käyttöönotoista saatujen kokemusten avulla voidaan päästä nyt nousevan ensimmäisen digitalisaation aallonharjan ylitse. Aallonharjan ylitse pääsyn jälkeen voidaan jatkaa tuotekehitystä saatujen kokemusten viitoittamaan suuntaan. Hänen mukaansa tämä digitalisaatioharppaus etenee pienillä askelilla kunkin viljelijän oman harkinnan ja toiminnan yksilöllisten tarpeiden mukaisesti. Tämä voi esimerkiksi alkaa yhden telemetriatuotteen käyttöönotolla josta viljelijä voi lähteä laajentamaan digitaalisten teknologioiden käyttöä omassa toiminnassaan. Samalla he voivat kasvattaa omaa osaamistaan ja havaita uusien teknologioiden hyötyjä ja millaisia etuja ne tarjoavat juuri heille. (Polvinen 2018b)

**Käyttöönoton perusteet ja lähtötilanne** vaihtelevat tapauskohtaisesti. A.A. valottaa viljelijöiden yksilöllisten tarpeiden taustaa korostamalla maatalojen yksilöllisiä toimintaympäristöjä: maatilat ovat tuotantosuunniltaan, tilakooltaan, henkilöstöltään, historialtaan, teknologiatasoltaan ja teknologiaorientoitumiseltaan hyvin erilaisia. Samalla kun osa viljelijöistä

aktiivisesti etsii ja ottaa käyttöön uusia teknologioita toimintansa tehostamiseksi, osa taas ei ottaisi niitä käyttöön vaikka niitä tarjottaisiin valmiina ratkaisuina. (Polvinen 2017b) E.E. kuitenkin korosti, että hänen kohtaamansa viljelijät haluavat ymmärtää miten heidän omaa toimintaansa voidaan parantaa: miten nykyisestä peltopinta-alasta pystyttäisiin tuottamaan enemmän, tehokkaammin ja/tai pienemmällä kustannuksilla. Hänen mukaansa tähän on kaksi selkeästi esillä olevaa lähestymistapaa: 1) laitteiden tuottaman tiedon hyödyntäminen ja 2) viljelyprosessien parantaminen maatilan tiedonhallintajärjestelmän analytiikan avulla. Eli miten lopputuotetta voitaisiin tehdä enemmän tai tehokkaammin. (Polvinen 2018b) Käyttönoton kannattavuudesta B.B. kertoi, että viljanviljelyn riskiarvioita tehdessä voidaan arvioida sadon epäonnistumisen riski ja siitä johtuvat taloudelliset riskit. Silloin voidaan arvioida onko kannattavampaa ottaa näitä teknologioita käyttöön kuin olisi olla käyttämättä, koska näillä teknologioilla voidaan vähentää tuotannon tehon laskun riskiä myös ilmastonmuutoksen aiheuttaessa muutoksia. (Polvinen 2017c)

**Ensimmäiset AIoT-ratkaisut** ovat jo otettavissa käyttöön valmiina tuotteina. E.E. kertoi, että AIoT:in ja maatalouden digitalisaation projekteihin panostetaan voimakkaasti useissa yrityksissä. Telemetriatuotteiden, maatilan tiedonhallintajärjestelmien ja laitteiden käytön osa-alueet on yleisesti katsottu prioriteeteiksi ja ne edustavat maatalouden uuden teknologia-aallon huippua. Esimerkiksi Valtra on lähdössä kaupallistamaan ensimmäistä telemetria- ja IoT-ratkaisua, mikä on saanut hyvän vastaanoton. Asiakkaiden arvioiden mukaan ratkaisu ei ole vain hyödyllinen lisä vaan toiminnalle vastaisuudessa ehdottoman tarpeellinen. Ratkaisulla pyritään helpottamaan viljelijän työtä toimintaympäristössä, missä hänen tulee ymmärtää kasvibiologiaa ja meteorologiaa, koneiden huoltoa ja operointia, liiketoimintaa jne. sekä hallita näihin liittyviä toimintoja päivittäisessä työskentelyssä. Samalla Valtra laitevalmistajana pyrkii laitteiden tuottaman tiedon avulla läheisempään yhteistyöhön viljelijöiden kanssa. Lisäksi pyritään tekemään aikaisempaa parempaa ja asiakaslähtöisempää tuotekehitystä. Näin IoT-ympäristön kehittymisestä on hyötyä koko maataloudelle, samoin kuin siitä on molemminpuolinen hyöty sekä laitevalmistajille että heidän asiakkailleen. (Polvinen 2018b)

**Viljelijän työnkuvan muutos** on kohti yhä korkeamman tason päätöksentekoa ja hallintointia. Uusien teknologiaratkaisuiden levitessä ja tilakokojen kasvaessa D.D. kehotti kiinnittämään huomiota viljelijän toiminnan luonteen muuttumiseen: rooli peltotöiden suorittajasta on muuttumassa "manageriksi" ja tilan toiminnan hallinnoijaksi. Robotin suorittaessa peltotyön viljelijän puolesta viljelijä voi päätyä kauemmas itse pellostaan ja pellolla vallitsevasta tilanteesta. Tämä voi vaikuttaa sekä pitkällä tähtäimellä negatiivisesti viljelijän ammattitaitoon että lyhyellä aikavälillä viljelijän tilannetietoisuuteen pelloilla vallitsevasta tilanteesta. (Polvinen 2018a)

## ***AIoT-teknologioiden omaksumisen tilanne Suomessa***

C.C.n mukaan Suomessa on länsimaisen kulttuuriympäristön osana käytettävissä samat teknologiat kuin muuallakin, mutta Suomi ei ole AIoT-ratkaisuiden omaksumisen edelläkävijä. Teknologioiden käyttöönoton nopeutta ja laajuutta ohjaa niiden soveltuvuus Suomen ympäristöön. Esimerkkinä maatalouden perusteknologiasta Suomessa käytetään samoja traktoreita ja leikkuupuimureita kuin kaikkialla maailmassa, mutta Keski-Eurooppaan ja USA:han verraten hieman pienikokoisempina. AIoT-teknologiaratkaisuista peltoviljelyssä anturiverkkoja on hänen mukaansa käytössä oikeastaan vain tutkimuskäytössä, tilatasolla anturoinnin rajoituksissa sääasemiin. Tilakohtaisia sääasemia käytetään puutarha- tai perunanviljelyssä enemmän kuin viljanviljelyssä, mutta erikoisviljelyssä taas sääasemien käyttöä on vähän enemmän. (Polvinen 2017a)

AIoT-teknologioiden omaksumista B.B. kertoi, että Yaran N-sensorin käyttö on Suomessa harvinaisempaa kuin Ruotsissa, missä käytössä on noin 220 - 230 laitetta ja laskennallisesti 80 % vehnätuotannon pinta-alasta ajetaan N-sensorin kanssa. Tilanteen parantamiseksi Suomessa viljelijöiden ja teknologiatoimittajien tulisi pyrkiä keskustelemaan enemmän vallitsevasta tilanteesta ja teknologioiden tuomista mahdollisuuksista. (Polvinen 2017c)

B.B.n mukaan anturitekniikka kuten Yaran N-sensori antaa mahdollisuuksia ulosmitata lohkolta saatavan satovasteen potentiaali tasaisesti ja anturitekniikan omaksuminen on etenemässä viljelijöiden keskuudessa. Toisaalta uutta tekniikkaa ei todennäköisesti omaksuta jos aiempi kehitysvaihe on vielä ottamatta käyttöön. Viljelijät eivät hänen näkemyksensä mukaan todennäköisesti tee suuria tekniikkaohjauksia tai hyppäyksiä kehitysvaiheiden ylitse. Esimerkkinä peltoviljelyn lannoituksesta B.B. mainitsi tämän aikaisemman kehitysvaiheen olleen jaettu lannoitus ja uusi kehitysvaihe vastaavasti on jaettu lannoituksen hallinta uusien teknologioiden avulla. Ylipäätään AIoT-teknologioiden omaksumista B.B. kertoi, että viljelijät voivat käyttää anturitekniikkaa lannoituksen jakoon mutta hän ei ollut tietoinen, että UA-laitteilla tai satelliiteilla tehdyistä kuvantamistiedoista olisi vielä tehty levitystä tukevaa tehtävää. (Polvinen 2017c)

## ***Laitevalmistajien yhteistyö***

Koska maatalouden toimintaympäristö on hyvin hajanainen, A.A.n mukaan mikään yksittäinen toimija ei ole halunnut tehdä suurinvestointeja oman standardinsa kehittämiseen ja riskeerata suurta tappiota kilpailutilanteessa muiden toimijoiden kanssa. On myös huomattu, että niin sanottu full-liner -ratkaisu, missä kaikki maatilan laitteet ja työkonet on hankittu samalta valmistajalta, ei sovellu kaikkien tilojen tarpeisiin. (Polvinen 2017b)

**Yhteiset standardit** ovat tulleet vahvasti esille laitevalmistajien välisessä yhteistoiminnassa. Kilpailun sijaan on päädytty lähtökohtaisesti kehittämään toimintaympäristön standardeja yhdessä jakaen tuotekehityksen kustannukset. Vielä noin 10 vuotta sitten valmistajat uskoivat yleisesti suljettujen järjestelmien luovan kilpailuetua ja lisäävän liiketoimintaa. Nyt toimijat ovat havainneet kentän olevan niin hajanainen, että liiketoiminta on mahdollista vain avoimen yhteistoiminnan kautta. Avoimesti kehitetty ja mahdollisimman toimiva standardi on A.A.n näkemyksen mukaan tekninen alusta, jota kehittää ekosysteemi erilaisia toimijoita. Sitten kun standardin tekniset ongelmat on ratkottu ja pullonkaulat avattu sen ympärille kehittyi sitä hyödyntävä liiketoiminnan ekosysteemi. Kypsien standardien kuten ISOBUSin etu on, että niitä on kehitetty pitkään ja teollisuus on sitoutunut niihin. (Polvinen 2017b) Samoin E.E. kertoo, että laitevalmistajien välisellä yhteistyöllä on tavoitteena esimerkiksi ISOBUS-standardin tuotekehityksessä rakentaa yhteinen toimintaympäristö, jossa voidaan rakentaa uusia digitaalisia ratkaisuita ja teknologiasovelluksia (Polvinen 2018b).

**Standardien kehittäminen** on maatalouden alalla hyvin pitkäjänteistä toimintaa. ISOBUS-standardin kehittämistä johtaa Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF), jonka työryhmät toteuttavat standardin osien kehittämistä. A.A.n mukaan standardi takaa laitteiden toiminnan muiden standardin mukaisten laitteiden kanssa myös käytännön toiminnassa kentällä. Laitteiden välinen kommunikaatio on saatu ISOBUS-standardissa toimimaan, mutta tiedonsiirto ISOBUS-väylästä pilvipalveluun tai maatalon datavarastoihin on vielä työn alla. Samalla A.A. huomautti, että voi vaikuttaa siltä, että maatalous olisi jäljessä muihin teollisuudenaloihin verrattuna, mutta tämä johtuu osin toimialan pirstaleisuudesta sekä ISOBUS-standardin kehittämisessä on pitkään jouduttu keskittymään traktorien ja työkoneneiden väliseen viestintään. (Polvinen 2017b)

D.D.n mukaan AEF:n yritys saada vuonna 2018 ISOBUS-standardilla kytketyt koneet yhdistettyä viljelysuunnitteluohjelmistoihin on luultavasti merkittävin yritys avoimien tietojenkäsittelystandardien kehittämiseksi ja yhden toimittajan palveluihin lukittumisien välttämiseksi. Tästä integraatiosta on tulossa osa ISOBUS-standardia ja sitä valmistelemassa on useita keskieurooppalaisia ohjelmistotuotannon yrityksiä. Suomalaisista toimijoista ainakin Agrineuvoksen kehittäjät ovat seuraamassa tämän integraation kehitystä. D.D. arvioi, että he seuraavat tilannetta toistaiseksi ja kun standardista tulee riittävän stabiili he tekevät päätöksiä siitä, missä määrin ottavat standardin käyttöön omassa toiminnassaan. (Polvinen 2018a)

**Standardien edut laitevalmistajille** voivat olla huomattavia varsinkin pienille toimijoille. Maatalouden laitevalmistajien kilpailussa ollaan siirtymässä yhä enemmän koneiden fyysisistä ominaisuuksista palveluiden ominaisuuksiin ja siihen, millaista lisäarvoa käyttäjä

voi saada palveluiden tuottaman tiedon avulla. Avoimien standardien avulla valmistajat, jotka eivät voi tarjota full-liner -ratkaisuita pystyvät tarjoamaan samankaltaista lisäarvoa koneidensa hankkineille käyttäjille kuin full-liner -ratkaisuiden valmistajat. Pienet valmistajat voivat silloin keskittyä tekemään parhaan mahdollisen koneen joka on avoimien standardien avulla yhteensopiva modernien automaatio- ja pilvijärjestelmien kanssa. Esimerkiksi kylvökoneen arvolupaus on suurempi, jos se toimii osana urakoitsijan konevalikoimaa tai yrittäjien keskinäistä koneketjua. Yksittäinen kylvökone voi tehdä mekaaniset toimensa hyvin, mutta se on sinänsä vain yksittäinen kylvökone ja sen arvolupaus rajoittuu siihen itseensä. Ollessaan kytketty suurempaan kokonaisuuteen kylvökone voi tuottaa enemmän liiketoimintaa, arvoa ja tuottoa. (Polvinen 2017b)

**Standardien edut viljelijöille** ovat erityisesti siinä, että ne mahdollistavat standardiperusteisten teknologioiden käyttöönoton asteittain pienin askelin. Tämä sopii useimpien viljelijöiden toimintaan paremmin kuin full-liner -ratkaisun hankinta kerralla. A.A.n mukaan kun standardiin on sitoutunut koko teollisuudenala ja sitä on kehitetty 20 - 30 vuotta, niin myös viljelijät voivat sitoutua sen käyttöön. Standardien mukaiset laitteet ovat yleensä myös tietoturvallisempia ratkaisuita ja valmistajat ovat ymmärtäneet, että asiakkaat loppuvat nopeasti jos tietoturvasta ei pidetä huolta. (Polvinen 2017b)

**Uusien standardien tutkimus** voi tuottaa tuloksia hitaasti. Tulevaisuudessa voi tulla käyttöön teknologioita, jolla asiat voi tehdä helpommin kuin CAN-väylää käyttäen, mutta niiden omaksuminen tulee tapahtumaan hitaasti. Tällä hetkellä standardisoinnissa tutkitaan teollisen ethernetin mahdollisuuksia CAN-väylän sijaan. Jos uudet standardit tulevat käyttämään sitä, tulisi sen silti olla yhteensopiva ja käyttökelpoinen vanhojen laitteiden kanssa, jotka voivat olla jopa 30 vuotta vanhoja traktoreita. (Polvinen 2017b)

### ***Kokonaisvaltainen maatalan tiedonhallintajärjestelmä (FMIS)***

**Datan saatavuuden ja käsittelyn haasteita** on kohdattu erityisesti datan omistajuuden ja hallinnan kysymyksissä. A.A.n mukaan käyttäjän on aikaisemmin ollut vaikeaa saada tietoa omistamansa laitteen tuottamasta datasta, samoin tuotetun datan saanti omaa analyysiä varten on ollut vaikeaa. Vielä jokin aika sitten oli käyttäjälle yleisesti mahdollista saada näkyville vain joitain valmistajan ennalta määrittelemiä graafeja, mutta nyt on enenevässä määrin tullut mahdolliseksi ladata tietoja esimerkiksi Excel-formaateissa. Yleisesti ollaan vielä kaukana siitä, että käyttäjä voisi saada järjestelmiensä tuottamaa dataa haluamassaan formaatissa tai ladata sitä itselleen suoraan rajapinnasta toiseen järjestelmään. Samoin ollaan kaukana siitä, että käyttäjä pystyisi määräämään, että hänen omistamansa laitteen tuottama data siirrettäisiin vaikka kilpailijan tuottamaan järjestelmään. Tällä hetkellä viljelijöiden saatavilla on lähinnä monitorointitietoa tuotantotoiminnan tehos-

tamista ja vahinkojen välttämistä varten. Käyttäjät ovat lukittuja yhteen toimittajaan kunkin valmistajan järjestelmän kanssa, joista jokainen on kehitetty vain tiettyä tarkoitusta varten. A.A. huomautti, että tämä on teollisuusautomaatioissa ollut täysin käypä ratkaisumalli koska yksi valmistaja – tai muutaman toimittajan yhteenliittymä – on voinut tuottaa kokonaisvaltaisen järjestelmäratkaisun, jonka avulla asiakas on voinut teollisuudessa hallita koko tuotantoprosessinsa. (Polvinen 2017b)

**Maatilan kokonaiskuvan muodostaminen hajanaisista tietolähteistä** on vaikeaa. Samoin kuin teollisuusautomaatioissa, myös kasvihuonetuotannossa yhden toimittajan teollinen malli on toiminut mutta peltotuotannossa kenttä on hajanaisempi. Yksittäisen viljelijän käytössä on yleensä useita erikoistuneita järjestelmiä. E.E. kertoi epäilevänsä, että viljelijälle voi olla haasteellista kerätä tietoa useista järjestelmistä ja yhdistellä niitä kokonaiskuvan hahmottamiseksi. Hänen mukaansa maatilan tiedonhallintajärjestelmät tulevat todennäköisesti olemaan lähimpänä kokonaiskuvan tuottavaa tietojen esittämistä. (Polvinen 2018b)

**Kokonaisvaltaisen maatilan tiedonhallintajärjestelmän kehityksen tilanne** on vielä alkuvaiheessa. AIoT- ja telemetriaratkaisut ovat E.E.n mukaan yleistymässä hyvin nopealla tahdilla. Samoin maatilan tiedonhallintajärjestelmät ovat yleistymässä ja täsmäviljelyratkaisuiden kuten ISOBUS-standardin kehityshankkeen etenevät. Viljelijä voi valita näitä käyttöönsä oman tarpeensa mukaan, mutta näitä kaikkia yhdistävää kokonaisvaltaista järjestelmää ei E.E.n tietojen mukaan ole yksikään markkinoilla oleva toimija tällä hetkellä rakentamassa. (Polvinen 2018b) A.A. määritteli haastattelussaan peltotuotannon AIoT:in kehityksen pääasialliseksi ongelmaksi sen, että hajanaisessa käyttöympäristössä yhden toimittajan on mahdotonta toteuttaa kokonaisvaltaista järjestelmää viljelijän toimintaympäristön hallintaan. B.B.n mukaan järjestelmien välille ollaan tässä vaiheessa kehittämässä rajapintoja, kuten rajapinta Yaran laitteilla tuotetun datan käsittelyyn 365FarmNet-palvelussa. (Polvinen 2017c). C.C.n mukaan kokonaisvaltaiset maatilan tiedonhallintajärjestelmät ovat vasta kehityskaarensa ensimmäisellä neljänneksellä. Hän kertoi nähneensä viime Agritechnica-messuilla aikaisemmasta poiketen useita maatalouden datan integraatioratkaisuita tuottavia yrityksiä, joiden yhteinen tekijä oli ISOBUS-standardiin pohjautuvat teknologiaratkaisut. Hänestä oli ilmeistä, että nämä integraatioratkaisut olivat pitkälle kehittyneitä, niihin oli selkeästi investoitu ja niiden myyntiin ja markkinointiin panostettiin messuilla näkyvästi. (Polvinen 2017a) Kuitenkin E.E.n mukaan ollaan vielä kaukana kokonaisvaltaista maatilan tiedonhallintajärjestelmästä, johon kaikki tilan osajärjestelmät olisivat yhteydessä (Polvinen 2018b).

**Aitojen AIoT-järjestelmien kehittämisen tilanne** on sekin alkuvaiheessa. A.A.n tietojen mukaan ei ole saatavilla sellaista AIoT-järjestelmäratkaisua, jossa ensin tuotantojärjestel-



mien dataa voitaisiin käsitellä pilvipalvelussa ja sitten automaattisen analytiikan tulosten perusteella ja edelleen automatiikan avulla vaikuttaa viljely-ympäristöön. Tehdasautomaatiota hyödyntävissä laitoksissa tällaisen järjestelmän toteuttaminen voisi olla hänen mukaansa mahdollista. Nykyisissä järjestelmissä on jo älykkyyttä, mutta viljelytoiminnassa se rajoittuu pieniin operatiivisiin toimintoihin. Tarvittava perusautomaatiikka on siis jo olemassa, mutta systeemiautomaatio vaatii vielä työtä jotta sitä voisi käyttää työn ohjaamiseen ja ylätason päätöksenteon apuna. (Polvinen 2017b)

E.E. kuvailee nykyisen tilanteen olevan vaiheessa, jossa on saatu tieto laitteilta liikkumaan niitä keräävään järjestelmään. Näistä tiedoista nähdään laitteiden tuottamat tiedot kuten missä koneet ovat liikkuneet, niiden polttoaineenkulutus jne. Kokonaisvaltaisesta järjestelmästä voitaisiin vastaavasti saada yleisnäkymä koko maatilan toiminnasta. Jotta järjestelmä joka on keskittynyt laitteiden telemetriadatan keräämiseen voisi toimia johonkin muuhun keskittyneen järjestelmän kanssa, tulisi molempiin järjestelmiin kehittää sovitulla tavalla rajapinnat. Tällöin kolmas osapuoli voisi tehdä käyttöliittymän, jolla molempien järjestelmien tietoja voitaisiin analysoida yhdessä. Lisäksi E.E.n mukaan tällaisessa järjestelmässä asiakkaan tulisi voida itse räätälöidä käyttöliittymäänsä mitä tietoja hän itse haluaa näkyville. (Polvinen 2018b)

**Dataintegraation tilanne** on kehittymässä parempaan suuntaan, mutta avoimia haasteita on useita. Maatalouden dataintegraatiota pyritään toteuttamaan meneillään olevassa Agrirouter-hankkeessa, mitä ollaan E.E.n mukaan edistämässä globaaliksi maatalouden tietojenkäsittelyn ratkaisuksi. Agrirouterissa pyritään yhdistämään erilaiset maatalouden toimijat, maatilan tiedonhallintajärjestelmät, IoT-toiminnot, telemetriatoimittajat, ISOBUS-koneet jne. sellaiseen muotoon missä asiakas saisi niistä suurimman hyödyn. Agrirouter ja vastaavat hankkeet pyrkivät pohjimmiltaan yhdistämään dataa, tekemään datan liikuttelun mahdolliseksi ja rakentamaan tähän soveltuvan käyttöliittymän. E.E. arvioi, että kaikkien näiden erilaisten tietojen yhdistelyssä on vielä useita avoimia haasteita ratkaistavana ennen kuin ne toimivat saumattomasti yhteen. (Polvinen 2018b)

Vaikka useita maatalouden dataa integroivia hankkeita on käynnissä ja erilaisten järjestelmien tuottamat tiedot tulevat vielä varmasti yhdistymään, vielä ei E.En mukaan ole tietoa millä aikavälillä kokonaisvaltaisia maatilan tiedonhallintajärjestelmiä voisi tulla yleisesti saataville. Kehityskulku voi hänen mukaansa myös johtaa siihen, että kokonaisvaltainen maatilan tiedonhallintajärjestelmä tulee olemaan kolmen tai neljän järjestelmän kokonaisuus, mikä kattaa tilan tarvitsemat toiminnallisuudet. (Polvinen 2018b)

## **Datan käsittely**

**Kuvantamistiedon analyysin vaatimukset** voivat olla huomattavia. C.C. havainnollisti maatalouden datan käsittelyn erityisiä vaatimuksia esimerkiksi kevään täydennyslannoituksen pohjaksi tarvittavasta kuvantamistiedosta. Siinä missä Keski-Euroopassa ja USA:ssa kevään typpilannoituksen kohdentamisesta pyritään tekemään päätös satelliittikuvien perusteella, Suomessa satelliittikuvia käytetään vähemmän. Kuvaus voidaan tehdä jo ennen kuin kasvu on lähtenyt käyntiin ja yleensä se myydään viljelijälle palveluna, jossa kuvasta analysoimalla muodostetaan toimenpide. Yara ja Kemira ovat yrittäneet tuottaa lentämällä otetuista kuvista vastaavaa palvelua, mutta ongelma on vasteaika joka Suomessa pitäisi saada muutamaa päivää nopeasti lumen sulamisen jälkeen alkavan kasvukauden takia. Keski-Euroopassa vastaava aika on muutamia viikkoja, jolloin ehditään hyvin odottaa hyvää pilvetöntä säätä satelliittikuvausta varten. (Polvinen 2017a)

## **Datan liikkuminen tuotantoketjussa**

Tuotantoketjun mittaroinnissa pyritään usein ympäristöystävällisempään ja/tai tehokkaampaan toimintaan. C.C.n näkemyksen mukaan tuotantoketjun tuottamaa dataa hyödynnettäessä tulisi ottaa huomioon tuotantoketjun kokonaisuus eikä keskittyä vain tietyn mittarin seuraamiseen, oli sitten kyse ympäristöystävällisyyden tai tuotantotehon optimoinnista. (Polvinen 2017a)

**Viljelyprosessin tuotantotapatieto** voi mahdollistaa paremman päätöksenteon ja laatu- perustaisen hinnoittelun. Tuotantoketjun datan ensisijainen tarvitsija on viljelijä itse, joka sen avulla pyrkii parantamaan päätöksentekoa omassa viljelyprosessissaan (Polvinen 2017a). Viljelyprosessista kerätystä datasta kertyy tuotantotapatieto, joka voi käsittää mitä kylvetään, mihin paikkaan, mihin kellonaikaan, sääolosuhteet jne. Lisäksi sadonkorjuusta saadaan tieto mistä kohtaa peltoa sato on korjattu ja korjattuun satoon voidaan lisätä tunnistetieto sekä tuotantotapatiedot. Tällöin voidaan laskea korjatulle erälle hiilijalanjälki, lisätä tieto miten, jos kasvisuojeluaineita on käytetty niin millaisia ja lopuksi myydä se omana arvoeränä. Osa tuotannosta voitaisiin edelleen myydä bulkkituotantona kuin ennenkin, mutta osalle sadosta voitaisiin tavoitella parempaa hintaa. (Polvinen 2017b)

**Tuotantotapatieto tuotantoketjussa** voi mahdollistaa ketjun tehokkaamman toiminnan. Datan toissijainen tarvitsija on tuotantoketju, joka tarvitsee tuotantoinformaation pystyäkseen todistamaan tuotteen alkuperän ja tuotantoprosessin oikeellisuuden (Polvinen 2017a). A.A.n mukaan kuluttajalle asti tiedot tuottava ja läpinäkyvä tuotantoketju mahdollistuisi jos käytettävissä olisi standardit joiden mukaisesti datavirtaa käsiteltäisiin. Samalla mahdollistuisi tehokas tiedon jako ja verkostomainen toiminta erilaisten toimijoiden kesken. Tällaisen tehokkaan verkostomaisen toiminnan edellytyksenä olevat standardit ovat

vasta kehitteillä. A.A.n oman näkemyksen mukaan kentällä on edelläkävijöinä toimijoita, jotka soveltavat uusia toimintamalleja käytäntöön ja määrittelevät omalta osaltaan kehitettävien standardien toimintaa. Näitä standardeja kehitetään liiketoiminnan lähtökohdista sekä liiketoiminnan yhteyteen, tarkoituksena kehittää toimintaa entistä kustannustehokkaammaksi ja sujuvammin toimivaksi. (Polvinen 2017b)

**Pienten arvoerien verkostoitu markkina** voisi tarjota uusia mahdollisuuksia arvoerien myyntiin. Vaikka teknologia mahdollistaisi sadosta erillisten arvoerien tuotannon, ongelmaksi voi muodostua paitsi logistiikka erän käsittelyssä, myös miten viljelijä voi löytää pienelle erikoistuneelle erälle ostajan. A.A. hahmotteli visiona, miten viljelijät voisivat verkostoitua sopivan palvelun kautta, vertailla tuottamiensa erien tietoja ja myydä samankaltaiset erät yhdistämällä ne suuremmaksi eräksi. Tällaisia palveluita ei vielä ole saatavilla, mutta tällöin markkinoilta voitaisiin etsiä ostaja suuremmalle erälle joka voisi olla koottu vaikka koko Suomen tai pohjoismaiden alueelta. Samalla tavalla ostajat voisivat verkostoitua hankkimaan yhdessä sovittujen määritelmien mukaisia eriä. (Polvinen 2017b)

**Suorat keskusteluyhteydet kuluttajien ja tuottajien välillä** voisivat lisätä tuotantoketjun toimijoiden tasa-arvoisuutta. A.A. kertoi, että viljelijät ovat nähneet tärkeäksi suoran yhteyden kuluttajiin. Lähiruoalla on kysyntää, samoin tiedolle ruoan alkuperästä ja tuotantomenetelmistä. Tuotantoketju on tällä hetkellä suppilomainen kahden keskeisen toimijan hallitessa jakelua, mutta digitalisaation avulla voitaisiin kehittää keskusteluyhteyksiä suppilon päiden eli tuottajien ja kuluttajien välille. Keskusteluyhteyksiä varten maatalouden käyttöön on visioitu digitaalisia yhteiskehittämisalustoja kuten VTT:n Owela, missä viljelijät voisivat kehittää toimintaansa suorassa vuorovaikutuksessa kuluttajien kanssa. Tällaisten kehitysalustojen avulla voitaisiin myös lisätä kuluttajien tietoisuutta tuotteiden kulurakenteesta ja siitä, millainen osa hinnasta päättyy viljelijälle. Paremman tietämyksen avulla kuluttajat voisivat vaikuttaa tuotantoketjun tasa-arvoisuuteen omilla valinnoillaan. (Polvinen 2017b)

**Kuluttajien haasteet tuotantoketjun tietojen ymmärtämisessä** voivat olla suuria. Vaikka tuotantoketjun tuottamat tiedot saataisiin kuluttajien saataville, voisi tietojen ymmärtäminen silti osoittautua kuluttajille haasteelliseksi. A.A. arveli, että kuluttajille voi olla vaikea ymmärtää lannoituksesta laskettuja indikaattoreita ilman hyvää ymmärrystä lannoitteiden käytöstä kasvintuotannossa. Hänen mukaansa käytettävillä indikaattoreilla pitäisi pystyä selkeään kommunikointiin missä tuote on hyvä ja missä ei. Lisäksi tuotteiden hinnoittelun pitäisi myös perustua dataan, jotta tuotteelle voitaisiin antaa sen todellisen laadun mukainen hinta. (Polvinen 2017b)

D.D. puolestaan arveli tuotantoketjun tietojen kuluttajille tuomisen tarkoituksenmukaisuuden ja todellisen tarpeen olevan käytännössä vähäisiä. Hänen mukaansa suuren yleisön

kiinnostus lähiruokaa ja REKO-ruokarinkejä kohtaan on hiipunut ja tämä sovellus voisi olla samankaltainen ilmiö, joka toteutuessaan jäisi jonkin ajan kuluessa vain pienen harrastajapiirin käyttöön. Jotta kuluttajat yleensä jaksaisivat tarkastella tuotantotietoja, tulisi se näyttää heille täysin vaivattomasti vaikka lisätyn todellisuuden ja todennäköisesti Google Glass:in tapaisen laitteen avulla. Lisäksi näytettävien tietojen tulisi olla yksiselitteisiä ja helposti vertailtavissa keskenään. Hän arveli, että pakkauksessa näkyviä tietoja tulisi olla vain muutamia kuten millä tilalla se on tuotettu, kuinka pitkä matka sitä kaikkiaan on kuljetettu, kokonaishiilijalanjälki, hiilidioksidijalanjälki ja vesijalanjälki. Älypuhelinsovelluksena tällainen sovellus voitaisiin toteuttaa, mutta universaalia sovellusta voi olla vaikea kehittää useiden eri toimijoiden kuten S- ja K-ryhmän sovellusten yleensä kilpaillessa keskenään. (Polvinen 2018a)

### **Datan jakaminen ja julkaisu**

D.D. kertoi tietävänsä viljelijöitä, jotka jakavat kaiken viljelytoiminnassaan syntyneen datan johonkin palveluun, mutta he ovat hänen mukaansa yksittäistapauksia. Hänen mukaansa viljelytoiminnassa syntynyttä dataa ei yleisesti käytetä hyväksi millään systemaattisella tavalla. (Polvinen 2018a)

**Datan vertailu- ja markkina-alustat** ovat vielä tällä hetkellä visioita tulevaisuuden mahdollisuuksista. Sellaista järjestelmää, joka toimisi viljelijöiden tai muiden toimijoiden datatietojen vertailun alustana sekä osto- ja myyntikanavana ei haastattelun ajankohtana ollut B.B.n tiedossa. Hän kuitenkin arveli, että visiona se olisi mahdollinen. (Polvinen 2017c) Samoin C.C.n tietojen mukaan kaupallisena tuotteena ei ole palvelua, jossa voisi jakaa tai omatoimisesti analysoida maataloudessa tuotettavaa dataa. Hän on kuitenkin lukenut visioita tällaisesta palvelusta. (Polvinen 2017a)

C.C. huomautti liittyen tuotantotapatietojen myyntiin, että pohdittaessa datan myyntiä tällaisen palvelun tai alustan kautta kannattaa arvioida, kuka siitä olisi valmis maksamaan. Viljelijällä on usein sopimukseen kirjattu velvollisuus antaa viljelyyn liittyvä data tuotteen mukana. Tällöin datalla ei voi saada lisää hintaa vaan sen luovuttaminen on velvollisuus. Lisäksi ei ole ylipäätään selkeää kenelle myytävä data olisi tarpeellista ja miten tämä data voisi tuottaa taloudellista lisäarvoa niin, että sen ostaminen olisi perusteltua. Näiden puuttuessa ei ole muodostunut talousmekanismeja maatalouden datan markkinoille. (Polvinen 2017a)

**Laatusertifikaattien toiminnan parantaminen datalähtöisyydellä** voisi mahdollistaa tuotannon joustavuutta. Laatusertifikaattien valvontaan tarkoitettu sovellus voisi D.D.n mukaan olla mahdollinen toteuttaa. Tieto tuotantotavoista voisi liikkua jatkuvasti tuotantoketjussa ja näin laatusertifikaatin toteutumisen valvonta voisi olla jatkuvaa. Monet sertifi-

kaatit ovat tällä hetkellä aika kömpelöitä, esimerkiksi päätös luomutuotannosta tulee tehdä ennen tuotantoa koska byrokratia on raskas. Luomutuotantoa tarkkaillaan päätöksen jälkeen tilan omalla kirjanpidolla ja pistokokeilla. Luomutuotannon toteutuksessa voitaisiin toimia ketterämmin toteutuneen viljelytavan perusteella. Jos viljelijä havaitsee ettei tänä kesänä tarvitsekaan ruiskuttaa kasvinsuojeluaineita voitaisiin luomun vaatimusten täyttyminen näyttää toteen. Tällaisella datalähtöisellä sertifioinnilla voitaisiin saada erilaisten laatumerkkien toiminta joustavammiksi. (Polvinen 2018a)

## **Datan omistajuus**

Datan omistajuuskysymys siirryttäessä pilvipalveluihin on vielä avoin. Kun viljelysuunnitteluohjelmat siirtyvät yhä enemmän paikallisista ohjelmista pilvipalveluihin viljelijän toiminnassaan tuottaman datan omistajuudesta ei aina ole varmuutta. Siinä missä aikaisemmin käyttäjän omalle koneelle tallennettu tieto oli täysin käyttäjän omassa hallinnassa, niin nyt palveluntarjoajan tietojärjestelmään tallennettuun tietoon käyttäjällä on vain pääsy. D.D.n ymmärryksen mukaan kaikki merkittävät suomalaiset viljelysuunnitteluohjelmat ovat menossa kohti pilvimallia, jossa tietoja käsitellään verkkoselaimen tai vastaavan sovelluksen läpi. Tällöin kysymys datan omistajuudesta muodostuu yhä merkittävämmäksi. (Polvinen 2018a)

B.B.n mukaan he eivät ole vielä kohdanneet viljelijöiden kanssa toimiessaan datan omistajuuskysymystä. Heidän toiminnassaan asiakas omistaa aina tuottamansa datan, eivätkä he kerää asiakkaan tuottamaa tietoa, vaan asiakas tuottaa ja käyttää dataansa itse. Suurin osa toimijoista jotka pyrkivät datan siirtelemiseen tai hakevat pääsyä dataan ovat heidän tapauksessaan ohjelmistotuottajia, jotka pyrkivät yhteistyöhön laitevalmistajien kanssa. Pieni osa datan käsittelystä kiinnostuneita toimijoista on yksittäisiä viljelijöitä, jotka käyttävät maatilan tiedonhallintajärjestelmiä ja pohtivat voisiko dataa liikutella tai tuoda sitä muuten käytettäväksi eri järjestelmien välille. (Polvinen 2017c)

Haastattelussa E.E. toi esille näkökulman datan omistajuudesta ja viljelijöiden käytännön tarpeista: Asiakas omistaa kaiken datan, mitä heidän järjestelmänsä käsittelee. Asiakas voi heidän järjestelmästäan ottaa oman datansa käsiteltäväksi vaikka taulukkolaskentasovellukseen, mutta heidän käyttöliittymänsä tarjoaa paremmat mahdollisuudet datan analysointiin ja vertailuun. Käyttöliittymän avulla voidaan datasta jalostaa raportteja ja analyseja – ilman käyttöliittymää data ei ole hyödynnettävissä. Hänen oman näkemyksensä mukaan on hyvin epätodennäköistä, että viljelijöillä olisi aikaa tai motivaatiota kehittää omaa analytiikkaa tuottamastaan datasta jos suinkin on saatavilla käyttöliittymä, josta tarvittavat asiat voi nähdä helposti. Lisäksi käyttöliittymä voi ohjata käyttäjää tunnistamaan viljelijän toiminnassa olevat pullonkaulat ja näin ohjata viljelijää keskittämään resursseja

toimenpiteisiin, joista on hänen omalle toiminnalleen suurimpia hyötyjä. Ylipäätään E.E.n mukaan AIoT-ratkaisuiden tuottaman datan käsittelyssä korostuvat käyttäjien tarpeet helppokäyttöisyydestä ja tarvittavan tiedon tuomisesta esille oikea-aikaisesti. (Polvinen 2018b)

### ***AIoT:in vaikutukset***

**Seuraavat kehitysaskeleet ja uudet toimintatavat** voivat lisätä kannattavuutta sekä tuottaa uusia kilpailuetuja ja liiketoimintamalleja. Maataloudessa ollaan siirtymässä dataa tuottaviin prosesseihin. A.A.n mukaan seuraavaksi viljelijöiden tulisi saada tuottamansa data omiin käsiinsä ja käyttöönsä palvelut jotka mahdollistaisivat tiedon vaihdannan, analytiikan, vertailut ja yhteisen liiketoiminnan. Tämän lisäksi viljelijöiden verkottuminen voisi tuoda heille lisää neuvotteluvoimaa kilpailuttamiseen. Hänen mukaansa uudet teknologiat mahdollistavat uusia toimintatapoja ja liiketoimintamalleja, joita hyödyntämällä maatilat voivat muuttua oikeasti kilpailukykyisiksi ja kannattaviksi. Uusia liiketoimintatapoja voisi olla vaikka laatuerien myyminen kilpailutettuun hintaan virtuaalimarkkinoilla sekä suoremmat yhteydet kuluttajien ja tuottajien välillä. (Polvinen 2017b) D.D. arvioi, että myös maatilojen tekemä yhteistyö voisi saada uusia toimintamalleja. Tällä hetkellä maatilat tekevät järjestäytymätöntä yhteistyötä niin, että edistyneemmän viljelijän toimintatapa voi levitä naapuritilojen käyttöön. Samankaltaista yhteistyötä voitaisiin tehdä teknologisilla alustoilla. (Polvinen 2018a)

Kasvihuonetuotannossa on uusien teknologioiden avulla voitu ottaa käyttöön niin sanottuja kasvitehtaita. D.D. arveli, että kasvitehtaissa tuotetaan erityisesti korkean hinnan nopeasti kasvavia lajikkeita, esimerkiksi salaattia jota voi markkinoida steriilisti kasvatettuna ja josta voi saada korkeamman hinnan. Pienempikokoisista konttiviljelmistä on ollut monen tyyppisiä kokeiluita ja sovelluksia. Niillä voitaisiin mahdollistaa tuoreen ravinnon tuottaminen katastrofialueilla, missä tuoreiden elintarvikkeiden saatavuus on heikko ja niiden kuljettaminen paikan päälle voi olla vaikeaa mm. kylmäketjun puuttuessa. (Polvinen 2018a)

E.E. kuvaili, että digitalisaation avulla voidaan tehostaa tuotantoa niin, että samalla työmäärällä tai resursseilla voidaan saada määrältään tai laadultaan parempia tuloksia. Selkeät tulokset todennäköisesti motivoisivat digitaalisten työkalujen käyttöön ottaneita toimijoita kehittämään toimintaansa edelleen. (Polvinen 2018b) Esimerkkinä tällaisesta B.B. kertoi tuotannon tehostamisesta Yaran N-sensorin avulla. Saksassa N-sensorin käytöllä saadaan yleisesti 6 % suurempia satoja ja Ruotsissa vastaavasti 4 %, samalla saavuttaen säästöjä panoksissa. Sadonlisää on selkeästi saatavilla, mutta kunkin lohkon sadonlisän lukemat ovat riippuvaisia lohkon sisäisistä vaihteluista, lannoitusstrategiasta jne. (Polvinen 2017c)

**AIoT-teknologiat päätöksenteon apuna** voivat helpottaa päätöksentekoa, keventää viljelijän työtaakkaa ja lisätä tuotannon joustavuutta. Uusien teknologioiden vaikutuksesta ollaan E.E.n mukaan väijäämättä menossa siihen, että maatalan tiedonhallintajärjestelmät tulevat antamaan viljelijöille toimintasuosituksia ja helpottamaan viljelijän päätöksentekoa. Järjestelmät voivat laskea monen muuttuvan tekijän perusteella parhaita suosituksia ja datan perusteella ymmärtää miten viljelijän työtä voidaan helpottaa. Lisäksi järjestelmät voivat arvioida millaisilla toimilla saadaan paras tulos juuri kyseisessä toimintaympäristössä. (Polvinen 2018b) B.B. kertoi, että useamman vuoden historiatietoja vertailemalla voidaan pyrkiä selvittämään kasvuun liittyviä ongelmia, esimerkiksi miksi juuri tietty kohta pellossa tuottaa aina huonoa satoa tai on muuten ongelmainen (Polvinen 2017c). Kaiken kaikkiaan A.A.n mukaan mitattuun ja digitaalisessa muodossa olevaan tietoon perustuvan viljelyn ja maatalouden avulla voidaan vastata joustavammin tuleviin tilanteisiin: tiedon avulla pystytään reagoimaan muuttuvaan ympäristöön ja muihin haasteisiin. Ilman tietoa ei voida reagoida. (Polvinen 2017b)

**Laatuerien arvon tunnistaminen** voisi parantaa osasta tuotannosta saatavia hintoja, mutta käytännön toteutukset voivat olla haasteellisia. A.A.n mukaan 10 - 15 % tilojen tuotosta voisi olla oikeasti kilpailutettavaa laadukasta tuotantoa. Tästä tuotannosta voisi tehdä erillisiä laatueriä, joista viljelijät voisivat saada paremman tuoton. Pienet suomalaiset maatilat hyvin todennäköisesti hyötyisivät Farmobilin ja Farmer's Business Networkin kaltaisista palveluista, koska tuotannon kannattavuutta voidaan parantaa juuri arvon tunnistamisella. (Polvinen 2017b) Erillisten arvoerien tuottaminen voisi olla myös D.D.n mukaan mahdollista, mutta käytännössä vaatisi teknologian lisäksi huomattavia muutoksia toiminta- ja ajattelutavoissa niin viljelijöillä, elintarvikevalvonnassa kuin elintarviketeollisuudessa (Polvinen 2018a). AIoT-teknologiat voisivat mahdollistaa yksittäiselle viljelijälle tietyn viljelytavan toteuttamisen, esimerkiksi asiakkaalle voisi näyttää että tuotteet on viljelty tietyillä tavoilla ekologisesti, terveellisesti jne. Toisaalta laajempi käyttöönotto ja omaksuminen vaatii vähintään aikaa eikä välttämättä sittenkään ota tuulta purjeisiinsa, vaikka kyseinen innovaatio olisi hyvin edistyksellinen ja tarjoaisi selkeitä etuja. Vaikka teknologia on mahdollistaja, lopulta käyttöön jäävän ratkaisun valikoitumista ohjaavat liiketoiminta, käytettävyys ja muut vastaavat ominaisuudet ja olosuhteet. (Polvinen 2018a)

**Ihmisen rooli päätöksentekijänä AIoT-ratkaisuissa** on vielä merkittävä – ja hyvästä syystä. Vaikka IoT-ratkaisuiden määritelmässä ollaan usein kuvattu havainnointi, päätöksenteko ja toimeenpano automaattisiksi koneiden suoritteiksi, niin suuri osa IoT-ratkaisuiksi kutsutuista ratkaisuista on vielä käytännössä anturidatan tarkkailua ja ihmisten vastuulle on jäänyt ainakin lähes, jos ei kaikki, päätöksenteko ja toiminnanohjaus. Tämä johtuu D.D.n mukaan juuri järjestelmien välisen kommunikaation puutteesta. Toisaalta hänen mielestään ihmiselle jäävä päätösvalta ei ole pelkästään huono asia: mitä enem-

män käytetään dataa ja mitä enemmän kone tekee ihmisen puolesta päätöksiä, niin sitä enemmän pitää kiinnittää huomiota käyttäjän oman asiantuntemuksen ylläpitoon. Käyttäjän nojautuminen täysin automaattisen järjestelmän varaan voi helposti aiheuttaa käyttäjän oman asiantuntemuksen puutteen ja sitä kautta kokonaisprosessin ymmärryksen vähenemisen. (Polvinen 2018a)

E.E.n mukaan nykyisillä tuotantotavoilla ja ammattitaidolla yksittäinen viljelijä voisi hyvin pärjätä vastaisuudessakin, tuotannossa voi silti olla huomaamatta jääneitä pullonkauloja jotka voitaisiin havaita datan analysoinnilla. Samaan tapaan tehtyjen viljelypäästösten todellisia vaikutuksia ei ehkä voida hahmottaa ilman datan analysointia. (Polvinen 2018b) Lisäksi B.B. kertoi, että urakointina voidaan ulkoistaa täsmäviljelytyöt, jotka on aikaisemmin pitänyt tehdä oman hiljaisen tiedon varassa mutta jotka on uudella teknologialla saatu dokumentoitua ja tallennettua urakoitsijalle annettavaan ohjaustiedostoon. (Polvinen 2017c)

**AloT-teknologioiden käyttöönoton kannattavuus** voi vaihdella. E.E.n mukaan tarjolla on monia erilaisia ratkaisuita ja hänen oman näkemyksensä mukaan lähes mikä tahansa digitalisaatio- tai IoT-ratkaisu voi tuottaa käyttäjälleen hyötyjä lähes välittömästi jo kokeilun perusteella (Polvinen 2018b). Toisaalta D.D. kertoi, että maanviljelyn digitalisaation ja IoT-ratkaisuiden tarjoamien hyötyjen tuomasta kannattavuudesta on vaikea sanoa mitään varmaa. Tämä on hänen mukaansa jo pitkään ollut ongelma: yleisesti nähdään, että teknologiaratkaisuilla on paljon potentiaalia mutta käytännössä mukaan lähteminen vaatii investointeja eikä ole riskitöntä. Uuden teknologian integroiminen omaan toimintaan vaatii viljelijältä sekä rahaa että aikaa, varsinkin jos samalla joudutaan uusimaan konekanta ja ottamaan käyttöön uusia ohjelmistoja. Erityisesti subscription-lisenssimallin ohjelmistojen käyttöönoton kynnyksellä voi olla tällä hetkellä korkea. (Polvinen 2018a)

**AloT-teknologioiden mahdollisuudet** ovat merkittävät. Kokonaisuudessaan E.E. näkee, että digitalisaatio tuo nykyiseen toimintaympäristöön vain parannuksia: viljelijälle voidaan tuottaa dataa, jonka avulla hän voi kasvattaa viljamääriä, tehostaa koneidensa käyttöä ja minimoida tiettyjen aineiden käyttöä. Samoin maataloustuotannon logistiikkaa voidaan parantaa, jolloin voidaan säästää polttoainetta ja vähentää liikenteen päästöjä. Kaiken kaikkiaan AloT-teknologioilla voidaan helpottaa viljelijän työskentelyä tai antaa hänelle aikaa keskittyä vaikka perhe-elämään. Järjestelmät voidaan suojata tietoturvaaukia vastaan ja riskit minimoida. Sitä mukaa kun markkinoille tuotetaan uusia IoT-ratkaisuita valmistajat oppivat miten asiakkaat haluavat niitä käyttää. Asiakas- ja käyttäjälähtöisellä kehittämisellä voidaan päästä nyt nousevan ensimmäisen digitalisaation aallonharjan ylitse ja jos suurin osa viljelijöistä ottaa käyttöön uusia digitaalisia työkaluja voimme hänen mukaansa nähdä hyvinkin suuria muutoksia maanviljelyksessä. (Polvinen 2018b)



## **Ruokaturva**

**AIoT-tekniologioiden mahdollisuudet ruokaturvan parantamisessa** liittyvät erityisesti parempaan tiedon tuottamiseen ja saatavuuteen. IoT-tekniologiat ja digitalisaatio maataloudessa ovat A.A.n mukaan tärkeässä roolissa ruokaturvan ylläpitämisessä. Tietoon perustuvan maanviljelyn leviämisen myötä tapahtuva tilannetietoisuuden paraneminen auttaa ruokaturvasta vastaavaa viranomaista tekemään päätöksiä varsinkin kriisitilanteessa. Niukkojen resurssien allokoinnissa voidaan tehdä paljon parempia ja nopeampia päätöksiä kun käytettävä tieto on yksityiskohtaista ja digitaalisessa muodossa. Samoin tietoon perustuvalla maanviljelyllä ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutostrendeihin päästäisiin kiinni. Esimerkiksi vain silmämääräisesti arvioituna satokoko voi muuttua huomaamatta ja hyönteisinvaasion päästään nopeammin käsiksi mitatun tiedon avulla. Samoin hyönteisinvaasio voitaisiin mahdollisesti myös taltuttaa tai rajata nopeammin, kun nähdään missä oloissa invaasio tapahtuu. Vastaavasti väestönkasvun haasteisiin voidaan vastata paremmin, kun tuotamme oman ruokamme emmekä kuluta muiden ruokaa. Ruokaturvaamme vaikuttaa myös oman tuotantomme kannattavuus: tuotannon ollessa kannattamatonta sitä ei enää jatketa, mikä vähentäisi ruoan tuotantoa. (Polvinen 2017b)

B.B.n näkemyksen mukaan ruokaturvan parantamiseen IoT-tekniologiat voivat osallistua vähentämällä viljantuotannossa viljelijän toiminnassa ilmeneviä riskejä, jolloin sadoista saataisiin varmempia. Samoin voidaan viljelijän toiminnassa saada järjestelmistä tarkkaa tietoa lohkojen historiasta ja nykytilanteesta, mikä parantaa tilankehintää kasvintuotannossa. Tiedon avulla voidaan myös tehdä parempaa lajikevalintaa, tunnetaan typen vapautumisen määrät, kasvien tuleentumisen eteneminen ja tämän kautta voidaan parantaa sadon määrää ja laatua ja sitä kautta ruokaturvaa. (Polvinen 2017c)

**Ruokaturvan parannuskohteet ja valvonnan tarve** vaativat tarkempaa määrittelyä.

Ruokaturvasta puhuttaessa C.C. halusi tarkentaa, että aluksi tulisi määrittellä onko ruokaturvassa todellista korjattavaa ongelmaa, kuinka vakava ongelma on ja millaista ongelmaa ylipäätään ollaan näillä IoT-tekniologioilla ratkaisemassa. Hänen mukaansa pääasiallinen ongelma ruokaturvassa on ruoan liikkumat pitkät matkat, jolloin ruoalle tarvittaisiin identiteettiä. Identiteetin avulla voitaisiin seurata mistä mikäkin ruokaerä on tullut. Lisäksi C.C. huomautti, että samalla kun valvontaa rakennetaan, tulisi arvioida todellinen valvonnan tarve ja syyt. Ruoan hinnan halpeneminen on hänen mukaansa lisännyt ruokaketjun valvonnan tarvetta, koska ruokaa käsiteltäisiin todennäköisesti paremmin jos se olisi arvokkaampaa ja tällöin valvonnan tarve olisi pienempi. (Polvinen 2017a)

Myös E.E. oli samoilla linjoilla ruokaturvan suhteen. Hänen mukaansa Suomen osalta kaikki mikä parantaa maatalouden tuottavuutta, parantaa myös omavaraisuutta ja sitä

kautta Suomen ruokaturvaa. Jotta Suomen ruokaturva voitaisiin varmistaa, niin elintarviketuotannon tulisi olla yksittäisille toimijoille kannattavaa ja työn sellaista, että se motivoisi maanviljelijää kehittämään omaa toimintaansa. Tällöin elintarviketuotanto kehittyisi jatkuvasti, maataloustuotannon kyky vastata tuleviin ja nykyisiin haasteisiin paranisi ja sitä kautta oma ruokaturvamme vahvistuisi. (Polvinen 2018b)

### ***AIoT:in avoimet haasteet haastatteluissa***

Tässä alaluvussa kuvaillaan haastatteluaineistossa ilmi tulleet AIoT:in avoimet haasteet. Haasteiden kuvailu on jaoteltu tietoliikenteen ja tietoturvan, elinkaarien, integraatioiden ja alustojen, käytettävyyden, asiantuntijuuden ja omaksumisen haasteiden alalukuihin.

#### **Tietoliikenteen ja tietoturvan haasteet**

D.D. kertoi haastattelussa, että syrjäseutujen tietoliikenneverkkojen luotettavuus ja nopeus on maatalouden näkökulmasta merkittävä haaste. Lisäksi pilvipalveluiden yleistyminen maatalouden käytössä asettaa kasvavia vaatimuksia tietoliikenneyhteyksien luotettavuudelle (Polvinen 2018a). A.A. mainitsi, että Suomessa telemetriaratkaisut on lähtökohtaisesti rakennettu matkapuhelinverkon varaan ja C.C.n mukaan SMS-viestiratkaisu on ollut valmistajille tämän maan toimintaympäristössä luotettava valinta (Polvinen 2017b, 2017a). Lisäksi D.D. arveli, että UA-laitteilla (miehittämätön ilma-alus, engl. Unmanned Aircraft) tuotetun datan määrä voi olla syrjäseutujen tietoliikenneverkkojen kaistanleveydelle liian suuri (Polvinen 2018a). Samoin C.C.n mukaan käytännössä verkot eivät kannaa UA-laitteiden tuottamaa kuvantamisdatan määriä, vaikka teoriassa se onkin mahdollista. Valokuituverkoissa tämä kyllä onnistuu, mutta radioverkoissa verkot ovat ahtaat ja matkapuhelinverkon nopeuden kasvattaminen riittäväksi haja-asutusalueella missä mastoväli on suuri, on erittäin haastavaa. (Polvinen 2017a)

A.A.n mukaan tehtäessä kuvantamista ja sen analytiikkaa UA-laitteilla on tarve saada kuvantamisdatan analyysin tulokset käytännössä saman tien kun ollaan vielä pellolla. 5G-tekniikoista voisi olla hyötyä ison datamäärän viemisessä pilveen ja takaisin, jotta voitaisiin saada analyysi pellostaan noin 10 minuutin kuluessa. (Polvinen 2017b) Toisaalta C.C.n mukaan tulevat 5G-ratkaisut lisäävät nopeutta lyhyillä matkoilla, eivätkä pitkillä matkoilla (Polvinen 2017a). A.A. kertoi, että 3G ei sekään vielä kannaa joka paikkaan mihin pitäisi, mikä on hänen mukaansa iso ongelma. Erityisesti suomalainen ongelma on maan pituus, peltojen pirstaleisuus ja sijainnit laaksopaikoilla, joissa kuuluvuus voi olla huono. (Polvinen 2017b)

Aikaisemmin maatiloilla olleet verkot ovat olleet hyvin vaatimattomia, mutta valokuituyhteyksien myötä voidaan maatiloilla hypätä verkkoyhteyksissä kehityksen kärkeen. C.C.n

mukaan haasteena on verkkoyhteyksien hitausongelman ratkettua maataloille rakennettujen verkkojen suunnitteleman rakenne. Verkkoja on rakennettu ja laajennettu kulloisenkin tarpeen mukaan lisäämällä ominaisuuksia, mikä tekee verkoista vaikeasti turvattavia. Verkon komponenttien ollessa ilman ylläpitoa ja huonosti suunniteltuna verkko voi olla haavoittuva. (Polvinen 2017a)

Tietoturva ja laitteistojärjestelmien kyberturvallisuus tulee olemaan maataloilla kasvava ongelma. D.D. muistutti haastattelussaan, että myös maatalouden verkkoon kytkettyjä laitteita koskevat samat tietoturvauhat kuin muitakin internetiin kytkettyjä teollisia järjestelmiä. Esimerkkinä hän kertoi, että kiristyshaittaohjelmalla voi hyvinkin haitata maatalan toimintaa, aivan samoin kuin vaikka Saksan rautateitä. Vaikka taloudelliset tappiot voisivat olla yksittäisellä tilalla tuotannon keskeytymisestä pienemmät kuin rautatieliikenteen pysähtymisen vastaavat, eläinten vaatiman jatkuvan hoidon lamaantuminen tarkoittaa välittömästi eläinsuojelu-uhkaa. (Polvinen 2018a)

E.E.n mukaan globaalisti tietoliikennehaasteet ovat huomattavia ja erityisesti globaalin WiFi- tai mobiiliverkon puuttuminen aiheuttaa ongelmia. Australiassa on useita peltoalueita, joilla ei ole minkäänlaista yhteyttä, samoin kuin Brasiliassa. Suomen ja Euroopan tietoliikenneyhteydet ovat yleisesti hyvät, mutta mentäessä Euroopan ulkopuolelle tietoliikenneyhteyksien haasteet tulevat nopeasti vastaan. Brasilian viljelijät saattavat tuottaa prosentin koko maailman tuotannosta tiettyjen kasvien osalta, mutta heillä ei ole mahdollisuuksia päästä digitalisaatioon käsiksi internet- ja puhelinyhteyksien puutteen takia. Tämä tarkoittaa huomattavia menetyksiä verrattuna siihen, mitä voitaisiin saavuttaa jos tietoliikenneyhteydet olisivat kyseisillä alueilla yhtä hyvät kuin Euroopassa. E.E.n mukaan olisi ratkaisevan tärkeää saada kaikki laitteet toimimaan reaaliaikaisesti yhdessä ja tämän yhteistoiminnan mahdollistamiseksi ollaan kehittämässä ratkaisuita satelliitti- ja 5G-verkon avulla. (Polvinen 2018b)

### **Elinkaarihaasteet**

C.C.n mukaan maataloilla käytössä olevan automatiikan haasteita ovat elinkaaren pituus ja luotettavuus. Viimeaikaisessa tutkimuksessa on havaittu maataloilla käytössä olevien laitteiden uhaksi ylläpidon puutteen tai komponenttien vanhenemisen niin, ettei varaosia enää ole saatavilla. Käytännössä 10 vuoden yleinen tuotevastuu on aika lyhyt verrattuna laitteiden elinkaareen, jolloin käytössä oleva tuote voi jäädä ylläpidon ulkopuolelle. Ohjelmistohuollossa kohdataan kysymys tekijänoikeuksista: mitä tapahtuu kun valmistaja lopettaa ohjelmiston tuotannon tai menee konkurssiin? Oikeudet ohjelmistoihin jäävät konkurssissa usein jollekin taholle kuten konkurssipesälle, jolla ei ole intressiä kehittää ja ylläpitää ohjelmistoja. Tällöin on epävarmaa mitä itse tuotteelle tapahtuu. Verrattuna mekaanisiin

laitteisiin kuten akseleihin, joita ollaan voitu ryhtyä tuottamaan omalla sorvilla jos valmistaja ei enää tuota osia, ohjelmistojen tapauksessa ei ole selkeää kuka voisi aikaisempiin versioihin perustuen jatkokehittää niistä uusia versioita. (Polvinen 2017a)

Eteneminen prototyypistä valmiiksi tuotteeksi on haastavaa osittain tuotevastuun takia, missä tuotteen elinkaaren kysymys tulee taas esille. Ohjelmistotuotannon toimiala on vielä verrattain nuori ja toisin kuin mekaanisia tuotteita, ohjelmistotuotteita on helppoa muuttaa ja päivittää. Nykyään traktorista on tullut ohjelmistoalusta, toisin kun aikaisemmin jolloin se oli vain rautaa ja sähköjohtoja. Ohjelmistoalan kypsyvämmä näkyvä vaikeuksina tukea pitkän elinkaaren tuotteita. Lainsäädännöllisesti tulisi reilun pelin hengessä paitsi turvata tekijänoikeudet myös varmistaa, ettei tuotetta voisi käyttää ohjelmistopäivitysten pakkomyyntiin. Tällöin valmistajan lopettaessa ylläpidon voisi olla olemassa säädetty toimintatapa kolmannen osapuolen ylläpidon ja kehittämistyöhön ryhtymiseen. Tämä voisi toimia samoin kuin patentti, joka on julkaistava voimassaolon päätyttyä. Ohjelmistoissa voisi olla samankaltainen toimintamalli. Vaikka C.C.lla ei ollut tiedossa, milloin voitaisiin nähdä ensimmäinen traktori jonka ohjelmisto perustuu avoimeen lähdekoodiin, niin hänen mukaansa kuka tahansa voisi sellaista ruveta rakentamaan. (Polvinen 2017a)

Tuotteiden pitkien elinkaarien asettamat haasteet näkyvät D.D.n mukaan myös siinä, että IoT-laitteet eivät tyypillisesti itsessään ole minkään arvoisia ilman niihin kytkettyjä palveluita. Palvelun ollessa laitteen valmistajan oma, voi tapahtua niin että laitteista voi tulla käytökelvottomia valmistajan tehdessä konkurssin. Nykyisen IoT-laitteiden nopean yleistymisen kauden systemaattinen uhka on epävarmuus nyt hankittavan laitteen toiminnasta tulevaisuudessa. Jos laitteen toimivuudesta ei ole varmuutta sen elinkaaren ajan niin sitä ei voi käyttää toimintakriittisen järjestelmän osana – ei ainakaan niin, että järjestelmä ei enää toimisi laitteen toiminnan lakatessa. (Polvinen 2018a)

### **Integraatio- ja alustahaasteet**

A.A. kertoi, että peltoviljelyssä järjestelmäintegraation kanssa on jouduttu työskentelemään niin pitkään, että vasta nyt eri järjestelmät alkavat toimia yhdessä. Vasta tämän jälkeen voidaan jatkaa tuotekehitystä varsinaisen datan käsittelemisen kanssa kun laitteiden tuottamaa dataa on saatavilla. (Polvinen 2017b)

B.B.n mukaan suurin osa viljelijöistä on vielä aika kaukana esimerkiksi Yaran N-sensorilla tehtyjen karttojen ja muitten lohkotietojen yhdistämisestä. Lisäksi ratkaisut, jotka mahdollistaisivat maatalouden toimintaympäristössä suurten datamäärien analysoinnin ja muuttamisen ohjelmistokäskyksi vaativat vielä paljon työtä. (Polvinen 2017c) Samoin E.E. kertoi, että hänen tietojensa mukaan markkinoilla ei vielä ole sellaista järjestelmää, joka ke-

räisi ja yhdistäisi tietoa erilaisista datalähteistä kuten UA-laitteilta, traktoreilta, työkoneilta jne. (Polvinen 2018b).

Järjestelmien väliset rajapinnat, integraatiot ja datavirtojen standardointi ovat B.B.n mukaan vielä työn alla. Samoin liiketoiminnan ekosysteemin rakentuminen uusien standardien ympärille tulee vaatimaan vielä paljon työtä. Kokonaisuudessaan laajamittainen yhteen toimivien järjestelmien käyttöönotto on hänen mukaansa riippuvainen alustojen kehityksestä ja saatavuudesta. Jos alustoja järjestelmien yhteistoiminnalle kehitetään ja tuodaan saataville, niin niitä tullaan varmasti ottamaan käyttöön. Esimerkiksi tiedon liikkuminen tuotantoketjussa kuluttajalle asti voisi toteutua jos saataville tulisi siihen sopiva alustajärjestelmä. (Polvinen 2017c)

D.D.n mukaan maatilat tekevät jo järjestäytymätöntä yhteistyötä, missä toimintatavat leviävät tilojen kesken edelläkävijöiltä seuraajille. Samalla tavalla vastaavaa yhteistyötä voitaisiin tehdä teknologisilla alustoilla. Alustaratkaisuiden kehittämisen haasteena on D.D.n mukaan miten palvelusta voisi kehittää sellaisen, että se oikeasti kiinnostaisi viljelijöitä. Periaatteessa tällainen ratkaisu olisi kyllä viljelijöitä kiinnostava, koska he tekevät jo paljon yhteistyötä muun muassa tietojen vaihdon muodossa. (Polvinen 2018a)

### **Käytettävyyshaasteet**

Käytännössä viljelijöiden tiedonvälityksen ja yhteistyön alustana toimivasta palvelusta tulisi tehdä mukavampi käyttää kuin Whatsapp. Se on tähän tarkoitukseen huono, mutta niin yleinen ja yleiskäyttöinen että se on käyttökelpoinen. Yhden asian sovelluksia, kuten tautipaineen havainnointia ja siitä viestittämiseen tehtyjä sovelluksia, tulisi niin monta että yhden huonon sovelluksen käyttö on käytännöllisempää kuin useiden hyvien. D.D. mainitsi muutamia sovelluksia esimerkkinä: tautipainepalvelu, suunnittelupalvelu, viljanostopalvelu, viljanmyyntipalvelu, lannoitteidenostopalvelu, ruiskutuskemikaalien ostopalvelu, ruiskutuskemikaalien suunnittelupalvelu jne. Järjestelmäintegraation lisäksi sovellusten ja palveluiden kirjo on muodostunut ongelmaksi. Samoin on muodostunut ongelmalliseksi miten nämä kaikki erilaiset toiminnallisuudet paketoitaisiin yhteen niin, että se olisi viljelijälle käytettävä. Tällä hetkellä tätä virkaa hoitaa maatalous- tai viljelyneuvoja, jolle voi soittaa. Se käyttöliittymä on edelleen hyvä ja älykäs monimuotoisiin asiantuntijajärjestelmiin ja monimuotoisiin tarpeisiin. Pitäisi siis kehittää palvelulle käyttöliittymä, joka toimisi yhtä hyvin kuin puhelinsoitto asiantuntijapalveluun. (Polvinen 2018a)

A.A. mainitsi uusien teknologioiden käytettävyydestä, että pienillä tiloilla ei ole ollut tähän asti mahdollisuuksia ottaa suuressa määrin käyttöön täsmäviljelyn ratkaisuita, koska ne ovat olleet heille liian vaikeakäyttöisiä ja liian suuria investointeja (Polvinen 2017b). Myös B.B. toi käytettävyyden esille: hänen mukaansa teknologiakehittäjien haasteena on käytet-

tävyys. Viljelijän tulee pystyä helposti käyttämään tuotetta tai järjestelmää oman osaamisensa avulla. Käyttöliittymien tulee olla yksinkertaisia ja yksiselitteisiä sekä tuotetun tiedon oikeaa, jotta sitä voidaan käyttää päätöksenteon ja suunnittelun tukena. (Polvinen 2017c)

Puhuttaessa UA-laitteilla tuotetusta kuvantamisdatasta koostetusta ortomosaiikkikartasta D.D. kertoi, että hänen ymmärryksensä mukaan ortomosaiikin rakentaminen on itsessään ratkaistu ongelma. Ortomosaiikin rakentamisessa käytettävät sovellukset toisaalta eivät ole vielä niin edistyneitä, että ne tekisivät sen automaattisesti tai melkein automaattisesti, eivätkä nämä sovellukset ole kaikille käyttäjille välttämättä kovin käytettäviä. Ortomosaiikkikarttaa koostettaessa varsinkin suurelta peltopinta-alalta kaikki kuvaukset eivät välttämättä ole keskenään vertailukelpoisia. Esimerkiksi 10 hehtaarin pinta-alan kuvaukseen UA-laitteella menee niin paljon aikaa, että olosuhteet ovat voineet sen aikana muuttua aurinkoisesta puolipilviseen ja takaisin. Kun analyysiä tehdään kuvista vaikka jonkin tietyn vihreän sävystä niin valaistusolosuhteet ovat vaikuttaneet kuviin eivätkä kuvat enää ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Tällöin analyysin tekeminen vaikeutuu vähentäen sen perusteella tehtävien johtopäätösten luotettavuutta. Aikasarjoja kuvatessa samalta pellolta voidaan aika varmoja että valaisuolosuhteet eivät ole olleet aika varmastikaan samanlaiset eri kerroilla. D.D. arveli, että on luultavasti joitakin menetelmiä joilla tätä voidaan yrittää kompensoida, mutta hänen ymmärryksensä mukaan ne eivät vielä tällä hetkellä toimi parhaalla tavalla. (Polvinen 2018a)

### **Asiantuntijuushaaste**

Uusien teknologioiden käyttö vaatii myös asiantuntijuutta. B.B.n mukaan erityisesti tarjolla olevien monenlaisten teknologioiden tuottaman tiedon merkityksen tulisi olla ratkaisun tarjoajan ja käyttäjän tiedossa. Samoin datasta tehtyjen johtopäätöksien ja niiden tekemisen metodien hallinta ja ymmärrys ovat hyvin tärkeitä, jotta saatua tietoa voitaisiin soveltaa. Kasvinviljelyssä on mahdollista kuvantaa erilaisia spektrejä ja saada tuloksena sinänsä oikeaa dataa, mutta datasta johtopäätöksien tekeminen ja niiden perusteella suositusten antaminen tuotantopanoksien käyttöön vaatii taustatyötä. Tämä taustatyö on N-sensorin tapauksessa muun muassa typpi- ja vaihtelualgoritmien kehittämistä. Nämä algoritmit perustuvat koetoimintaan ja niihin perustuvat johtopäätökset ja suositukset ovat testattuja. (Polvinen 2017c)

Kasvintuotannossa tulee B.B.n mukaan huomioida, että vaikka viljelijä tekisi kaiken samoin joka vuosi, maasta voi vapautua ohrakasvustolle tietystä kohtaa peltoa 100 kiloa tyypeä yhtenä vuonna ja toisena vuonna 60-70 kiloa. Koska olosuhteet ja kasvukaudet vaihtelevat, tarvitaan osaamista, datan louhintaa ja algoritmien tuotekehitystä aikaisemman tiedon pohjalta. Koska lannoitus suositus vaikuttaa sekä satotasoon että kannattavuus-

teen, tulee suosituksia tehdessä tietää mitä vaikka 40 kilon muutos tarkoittaa ja mihin kaikkeen se vaikuttaa. Toisaalta B.B.n mukaan noin puolet viljelijöistä ei laske viljatonnin tuotantokustannuksia, joten kustannusrakenteen tietoisuuteen tuomisessa on hänen mukaansa vielä paljon tehtävää työtä. (Polvinen 2017c)

Ihmisen asiantuntijuutta tarvitaan, koska käyttäjä on toiminnassa vahvasti mukana ja tulkitsee indeksien arvoja. Tässä tulkinnassa tarvitaan asiantuntijuutta jonka avulla tiedostetaan lukujen merkitykset ja tarkoitukset. Ilman sitä kokeisiin, tutkimukseen ja kokemukseen perustuvaa asiantuntijuutta voidaan mennä jopa huonompaan suuntaan. (Polvinen 2017c)

### **Omaksumisen haasteita**

Vaikka pieni joukko viljelijöitä B.B.n mukaan ottaa uutta teknologiaa kuten täsmäviljelylaitteita käyttöön matalalla kynnyksellä, niin suurempi joukko on sellaisia jotka eivät ota. Joko he eivät näe sen etuja sellaisina, että hankinta ja käyttöönotto olisi juuri heidän tapauksessaan kannattavaa tai sitten he eivät ole täsmäviljelyteknologioista tietoisia. Lisäksi uuden teknologian käyttöönottoa vaikeuttaa se, että Suomessa ei aina pystytty implementoimaan uusinta teknologiaa aikaisemman teknologisen kehitysvaiheen ollessa vielä kesken tai puuttuessa kokonaan. Jos suomalaisessa maanviljelyssä ei saada otettua käyttöön uutta teknologiaa, niin on olemassa riski, että suomalaiset viljelijät jäävät jälkeen teknologiakehityksessä. (Polvinen 2017c)

Täsmäviljelytekniikoiden omaksuminen on A.A.n mukaan jäänyt puutteelliseksi erityisesti niiden vaikeakäyttöisyyden takia. Hän toivoo, että digitalisoinnin, pilvi- ja IoT-teknologioiden avulla täsmäviljelyteknologioista voidaan kehittää niin helppokäyttöisiä, että niiden käyttöönotto ja omaksunta saadaan leviämään suurimmalle osalle viljelijöistä. Tällöin voitaisiin saavuttaa täsmäviljelyn mahdollistamia etuja kuten työn tehostumista ja täsmäviljelystä voisi tulla kannattavaa ja osa normaalia maanviljelystä. Tämä kehitysvaihe olisi jo niin sanottua smart farming:ia, jota kutsutaan myös agriculture 4.0:ksi. A.A.n mukaan agriculture 3.0 eli täsmäviljely jäi huonosti käytäntöön otetuksi välivaiheeksi jonka jatkeeksi on tarvittu nimenomaan tämä seuraava vaihe, missä älykkäiden järjestelmien avulla voidaan realisoida myös edellisen kehitysvaiheen edut. Toisaalta viljelijät eivät lähdä toteuttamaan täsmäviljelystä, koska sillä ei ole ollut juuri heille taloudellista perustetta. Osa viljelijöistä on hänen mukaansa edelläkävijöitä täsmäviljelyssä, mutta laajaan käyttöönottoon tarvitaan agriculture 4.0:n älykkäiden järjestelmien tuomat edut. (Polvinen 2017b)

C.C.n mukaan käytännössä täsmäviljelylaitteistolle voi olla vaikea saada lisäarvoa EU-tukijärjestelmän pitäessä tuotteiden hintoja alhaalla. Hänen mukaansa on vielä aivan rajal-

la, voiko viljelijä saada täsmäviljelylaitteiston investoinnin takaisin. Laitteiden hintojen olisi tultava alas, samalla kun yritysten olisi saatava tutkimus- ja kehityskulunsa katettua. Tuotantosarjojen pituus on tässä avainasemassa. Viljanviljelyssä täsmäviljelylaitteiston hinta ei voi olla kovin kallis viljan ollessa halpaa, vaikka paljon puhutaankin että täsmäviljelyllä saataisiin enemmän ja laadukkaampaa viljaa. (Polvinen 2017a) B.B. kertoi myös, että esimerkiksi Yaran N-sensorin hankintahinta nähdään Suomessa vielä usein korkeana, ainakin yksittäisenä investointina (Polvinen 2017c).

### ***Tavoitetila ja tulevaisuus***

A.A. kertoi, että yleensä maatalousteknologian tutkimuksessa on 15 vuoden aikajänne, mahdollisesti pidempikin. Uusia teknologioita kehitetään ja niitä tulee käyttöön hitaasti, koska ratkaisuiden pitää sopia niin monenlaisiin käyttöympäristöihin. Luonnollisesti poikkeuksia voi ilmetä, mutta ne eivät hänen mukaansa ole kokonaisuuden kannalta merkittäviä vaan kyse on yksittäistapauksista. Hänen oman näkemyksensä mukaan tällä hetkellä pyritään tuotetun datan keräämiseen, hyödyntämiseen ja prosessien haltuunottoon. (Polvinen 2017b)

Maanviljelyn prosessit tulisi saada haltuun peltotuotannossa ja kasvihuonetuotannossa samalla tavalla kuin prosesseja hallitaan tehdastuotannossa. Prosessien paremmalla hallinnalla tuotannossa tarvittavia panoksia osataan säätää paremmin ja tarkemmin. Viljelyprosessista tulisi tietää mitä mihinkin kohtaan peltoa laitettiin ja paljonko siitä jäi käyttämättä, millaiset emissioriskit olivat sekä millaiset saavutetut määrät ja laatu olivat. Lisäksi viljelijällä olisi tällöin tuotteen tarina sille nimenomaiselle tuotteelle, eli mitä siitä kohtaa peltoa tuli. Tällä tarinalla voitaisiin saada viljelijän tuotteelle lisäarvoa markkinoilta. Samoin tuotannon kytkeytyessä elintarvikeverkkoihin tuotteet voivat saada lisäarvoa. (Polvinen 2017b)

Prosessien hallinnan kautta voitaisiin parantaa myös maatalouden sivuvirtojen hallintaa, johon liittyvät kierrätyslannoitteet ja muut kierrätysprosessit maataloudessa. Mahdollisesti myös ekologian ymmärrys paranisi, kuten maaperän mikrobien roolin huomioon ottaminen kestävyydelle, satoisuudelle ja riskien minimoinnille. Hyväkuntoisesta pellostä tulee aina jotain säästä huolimatta ja parempi prosessien hallinta olisi myös varautumista ilmastonmuutoksen myötä uhkaaviin tauti- ja hyönteisinvaasioihin. Silloin tilankehittäminen olisi paljon parempi. Jos prosesseja osattaisiin hallita tarkemmin ja riskejä torjua, tuotanto olisi paljon kestävämpää. (Polvinen 2017b)

C.C.n mukaan tällä hetkellä on meneillään teknologia-aalto, missä vielä haetaan parhaiten sopivia teknologiasovelluksia ja ylilyöntejäkin on odotettavissa. Karsiutumisen jälkeen käyttöön tulevat jäämään merkityksellisimmät ratkaisut – kunhan ensin löydetään niille



sopivat käyttökohteet. (Polvinen 2017a) Samankaltainen muutosvaihe on meneillään myös E.E.n mukaan. Hän kertoi, että IoT on voimakkaasti tulossa maatalouden toimintaan ja kaikki merkittävät laitevalmistajat ovat kehittämässä omia IoT-ratkaisuitaan. (Polvinen 2018b)

Tulevaisuudessa IoT toimii C.C.n mukaan lähinnä välineenä maatalouden automatisoinnin taustalla. Automaation lisäämiseksi tarvitaan ennen kaikkea antureita: tietokone ei voi tehdä päätöksiä ilman tietoa. Mittausverkon rakentaminen maatalouden toimintaa mittaroi-  
maan on haaste, johon vastaamista IoT-laitteet voisivat helpottaa. Tähän tarpeeseen voisi vastata anturipaketeilla, joita on kehitetty muualla teollisuudessa. Niillä voitaisiin mitata haluttuja asioita ja niihin voitaisiin viitata verkko-osoitteella, jonka avulla anturien tieto voitaisiin lukea. Nämä laitteet olisivat tarkoitettu ei tiettyä tarkoitusta, vaan tiettyä mittausta varten. Niitä tulisi olla saatavilla hyllytavarana, niiden hinta laskisi massatuotannon avulla ja niitä valmistettaisi vielä 30 vuoden kuluttuakin. Tätä silmällä pitäen maatalouden laitevalmistajien tulisi tutkia mitä teollisuudessa on kehitetty ja soveltaa sieltä valmiita ja yleisessä käytössä olevia ratkaisuita. (Polvinen 2017a)

A.A. kuvaili, että tulevaisuudessa tuotantojärjestelmien tuottaman tiedon analytiikan avulla voitaisiin vaikuttaa automaattisesti viljely-ympäristöön. Keinoälyn kehittyessä datan perusteella voisi automaattisesti muodostaa toimenpiteitä tai antaa suosituksia viljelijän kuitattavaksi ja automaation toteutettaviksi. (Polvinen 2017b)

Kasvihuonetuotanto on D.D.n mukaan nykyään hyvin automatisoitua, mutta optimointivaraa voi vielä olla. Tulevaisuudelta hän odottaa erityisesti kerrosviljelyratkaisuita, joissa voisi viljellä peruselintarvikkeita kannattavasti. Vaikka kasvitehtaiden teknologiaratkaisut ovat jännittäviä, salaattilla ei voi ruokkia maailmaa. Viljan tai perunoiden tuotanto kerrosviljelmissä kannattavasti voisi merkitä selkeää muutosta elintarviketuotannon kehityksen suunnalle. Perunan tuotanto voisi onnistua hydroponisella viljelyllä ja ainakin siemenperunan viljelyä tehdään jo niin. Kuluttajaperunan viljely taloudellisesti kannattavalla tavalla olisi huomattava edistysaskel, joka voisi olla käännekohta maatalouden historiassa. Kerrosviljelyratkaisuilla voi kyllä tuottaa erikoistuotteita ja D.D. mainitsi, että hän on itse pitkään odottanut suomalaisen mansikan kasvihuoneviljelyn alkamista. (Polvinen 2018a)

Tilojen määrä on vähentynyt samalla kun tilakoot ovat kasvaneet ja A.A. arvioi, että todennäköisesti tilojen määrän vähentyessä yksi tila hoitaa yhä suuremmalla alueella olevia peltoja automaation avulla. Peltokeskittymän lähelle voisi tulla varastoja ja pientä prosessointia. Näiden vaikutuksesta valvonnan telemetriapalveluille voi tulla vielä suuri kysyntä. (Polvinen 2017b) B.B. kertoi samoin, että tilakoot ovat kasvamassa ja rakennemuutos on menossa yhä suurempien tilakokojen suuntaan. Hänen mukaansa tullaan näkemään ajo-suunnittelun ja urakointipalveluiden käytön yleistymistä. (Polvinen 2017c)

Suomelle tyypilliset pirstaleiset lohkot antavat B.B.n mukaan syitä kehittää tehokkuutta parantavia ratkaisuita, jotta voimme pysyä muun maailman tahdissa mukana. Pienillä tiloilla, joiden keskiarvoinen hehtaarikoko 40-50, täsmäviljelyn teknologiaratkaisut ovat erilaisia kuin tiloilla joilla on 200-400 hehtaaria. Tulevaisuudessa käytettävät laitteistot ja järjestelmät voivat poiketa toisistaan huomattavasti tilakoon mukaan. Samoin käytetyn teknologian saavutetut hyötysuhteet voivat vaihdella käyttöympäristöjen vaikutusten mukaan. (Polvinen 2017c)

B.B.n mukaan jos tahtoa toteuttaa viljelijöiden ja muiden datasettien vertailualusta löytyy, sitä tullaan jollain aikavälillä rakentamaan pala kerrallaan aloittaen luultavasti rajapintojen ja tietojen siirtämisen ratkaisuista. Todennäköisesti viiden vuoden kuluttua tällaiset järjestelmien väliset ja dataa kokoavat järjestelmät ovat jo yleisessä käytössä. (Polvinen 2017c) Vastaavasti E.E. arvioi, että suurin osa ammattimaanviljelijöistä Euroopassa tulee ottamaan Agrirouterin käyttöönsä. Yksittäiset asiakkaat saattavat ottaa Agrirouter:in käyttöön jo tänä vuonna (v. 2018). Kaupallistumisen aste ja omaksumisen/käyttöönoton nopeus tulee luultavasti olemaan hyvin nopea, mutta kaikki toimijat tuskin koskaan tulevat ottamaan Agrirouteria käyttöön. Pienemmille tilallisille ja harrastemaanviljelijöille tällaisesta järjestelmästä ei hänen mukaansa ole niin suurta hyötyä, että järjestelmä olisi tarpeellinen ja käyttöönotto kannattaisi. Hän muistutti samalla, että maanviljelijöitä on hyvin erilaisia eikä kannata yleistää heitä yhtenäiseksi joukoksi. (Polvinen 2018b)

Kaiken kaikkiaan tavoitella B.B.n mukaan on ihmisen toteuttamien työvaiheiden vähentäminen tietojenkäsittelyssä, mutta ei ole varmaa millä aikavälillä voitaisiin odottaa täysin automatisoidun järjestelmän tulemistä yleiseen käyttöön. Sellaisen toteutus on kuitenkin ilmeisesti lähellä. (Polvinen 2017c)

Maatalouden tulevaisuudenkuvana ajatellen viljelijä voisi saada käyttöliittymäänsä kehoituksia toimista ja niiden perustelut. Esimerkiksi anturien antaman tiedon analyysin perusteella tarvitaan lisälannoitusta tietynä ajankohtana. Lisäksi järjestelmä voisi myös kommunikoida muiden järjestelmien kuten tilanhallinnan, viljelysuositusjärjestelmän ja muiden erilaisten ohjelmistojen kanssa. Tällaisiin järjestelmiin on B.B.n mukaan vielä vähän matkaa, mutta mallinnuksen, datan keruun ja niiden perusteella tehtävien viljelysuositusten ja niiden ajankohtien määrittelyjen kanssa tehdään paljon työtä. Ylipäätään tällaiset järjestelmät voivat hyvinkin toteutua. Hieman kauemmaksi tulevaisuuteen voisi jo visioida itenäisesti pelloilla toimivia traktoreita. (Polvinen 2017c) E.E.n mukaan ollaan vääjäämättä menossa siihen, että maatilan tiedonhallintajärjestelmät tulevat antamaan suosituksia helpottamaan viljelijän päätöksentekoa. Tulevat järjestelmät voivat laskea johtopäätöksiä monen muuttuvan tekijän perusteella sekä datan perusteella ymmärtää miten viljelijän työtä voidaan helpottaa. Lisäksi tulevat järjestelmät kykenevät päättelemään millaisilla

toimilla saataisiin paras tulos juuri kyseisessä toimintaympäristössä. maatilan tiedonhallintajärjestelmät, laitteista kerätty data ja muu tieto tulevat varmasti yhdistymään ja niitä tullaan käyttämään yhdessä. (Polvinen 2018b)

D.D. kertoi, että järjestelmäintegraation, datan käsittelyn ja alustojen yhteisten ekosysteemien onnistunut toteutuminen tulisi muuttamaan maataloustyön luonnetta suorittavasta työstä suunnitteluun, ylläpitoon ja automatiikan ylläpitotyöhön. Järjestelmäylläpitotyön osuus kasvaa automaatiojärjestelmien monimutkaistuessa ja koon kasvaessa. Järjestelmien toimintaa pitää valvoa, rikkoutuvia laitteita korjata ja korvata uusilla. Tällöin hehtaari-tehokkuus per työntekijä kasvaa edelleen, mutta työn luonne muuttuu. (Polvinen 2018a)

Tuotekehityksen seuraavassa vaiheessa koneoppimisen ja keinoälyn avulla voidaan automatisoida yhä enemmän toistuvia työsuoritteita. E.E.n mukaan eteneminen voisi hyvinkin lähteä liikkeelle itseohjaavista pellolla toimivista koneista. Autoteollisuudessa on kehitetty pitkälle itse ajavia autoja. Pellolla työkoneiden ei tarvitse liikkua muun liikenteen seassa, mikä tekee toimintaympäristöstä huomattavasti yksinkertaisemmän ja helpomman toteuttaa. Keinoälyn voisi myös antaa tehdä päätöksiä viljelyaikana ja antaa sen hoitaa toimintaa. Nämä koneoppimisen ja keinoälyn avulla automatisoidut järjestelmät voivat olla hyvinkin lähitulevaisuuden maanviljelyn asioita. (Polvinen 2018b)

Teknologia koneoppimisen ja keinoälyn soveltamiseen peltotuotannossa on E.E.n mukaan jo sinänsä olemassa. Ainoa syy, että sen käyttöönotossa ollaan varovaisia on päättäjien, kuluttajien ja yleisesti ihmisten kokema pelko, kun kohdataan keinoälyn ajama kone. Ajan kuluessa teknologia tulee saavuttamaan ihmisten hyväksynnän. Digitaalisuus on tullut jäädäkseen ja sen vaikuttaa kaikkeen toimintaan maataloudessakin jatkuvasti voimakkaammin. (Polvinen 2018b)

### **5.3 Tutkimustulosten yhteenveto**

Tässä alaluvussa kuvaillaan kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen tulokset, jonka jälkeen esitellään vastaukset tutkimuskysymyksiin.

#### **5.3.1 Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen tulokset**

IoT-teknologiat ovat voimakkaasti tulossa käyttöön kasvintuotannon alalla. On meneillään teknologia-aalto, jossa muuttuvaan toimintaympäristöön parhaiten sopivia ratkaisuita ollaan vasta hakemassa. Maatalouden alalle on syntynyt uutta kilpailua sekä pienten kasvuyritysten että suurten teknologiayritysten kilpaillessa perinteisten alan toimijoiden kanssa AIoT-ratkaisuiden uusilla markkinoilla. Viljelytoiminnan tehokkuuden lisäämiselle on selkeä tarve ja IoT-teknologioiden avulla voidaan vastata tähän tarpeeseen. Vaikka AIoT-ratkaisut ovat kypsymässä nopealla tahdilla, teknologioiden laajamittaisen omaksunnan

tiellä on kuitenkin useita merkittäviä avoimia haasteita. Suuri osa niistä liittyy maatalouden toimialan ominaispiirteisiin kuten yleiseen hajanaisuuteen sekä data- ja järjestelmäintegraatioiden, tietoliikenneyhteyksien ja tuotantoympäristöjen haasteisiin. Näiden haasteiden vaikutuksesta kasvintuotannon IoT-tekniologioiden omaksunta on erityisesti peltotuotannon sovelluksissa muita teollisuudenaloja jäljessä. Valmiiden IoT-ratkaisuiden vähäisyyden takia tämän opinnäytetyön tutkimustulokset painottuvat valmiita ratkaisuita ja käytötapauksia enemmän tutkimusten, AIoT:in avointen haasteiden ja tulevaisuuden visioiden tarkasteluun. Samoin suurin osa AIoT-järjestelmistä ei ole "aitoja" tai "täysimittaisia" IoT-ratkaisuita, joissa antureiden tuottama data analysoidaan ja tulosten perusteella kontrolloitaisiin viljely-ympäristöön asennettuja laitteita täysautomaattisesti.

Uudet teknologiat vaikuttavat osaltaan toimintaympäristön muutokseen. Kasvintuotanto on tehostumassa globaalisti ja suuntaus on kohti yhä laajamittaisempaa, teollista ja teknologiaintensiivistä tuotantomallia. Nämä toimintamallit ovat yleensä datavetoisia ja vaativat yhä enemmän mitattua digitaalista tietoa. Tätä tietoa voidaan tuottaa IoT-tekniologioilla, jotka tulevat toimimaan kasvintuotannon automaation taustalla. Uudet teknologiat mahdollistavat myös uusien liiketoimintamallien kehittämisen.

Suurin osa kasvintuotannon IoT-järjestelmistä keskittyy mittausdatan tuottamiseen, kontrolloinnin järjestelmien ollessa harvinaisempia. Yleensä AIoT-järjestelmissä monitoroidaan viljely-ympäristön muuttujia kuten ilman lämpötilaa, ilmankosteutta, maaperän kosteutta ja auringonsäteilyä. Kontrolloinnin järjestelmissä käytetään useiden toimilaitteita kastelujärjestelmien automatiikassa ja kasvihuoneiden ilmastoinnissa. Viime aikoina monitoroinnin järjestelmiin on lisätty toiminnallisuuksia päätöksenteon tukemiseksi ja hallinnollisiin tarpeisiin.

AIoT-järjestelmien datan tuotanto perustuu yleensä anturilaitteisiin, jotka on yleensä kytketty anturiverkkoihin ja ne toimivat AIoT-järjestelmien toimintaketjun alkupäänä. Dataa voidaan tuottaa anturilaitteilla useilla eri tavoilla sekä kasveista että koneista. Maatalouskoneisiin asennettujen anturien tuottaman tiedon sekä kaukokartoituksen korkearesoluutiokuvien tuottaman tiedon avulla voidaan optimoida viljelmien hallintaa, jolla voidaan säästää parempia satoja ja parantaa tuottavuutta ympäristöystävällisemmin. Anturilaitteiden kehityksen keskeisiä avoimia haasteita ovat yksikköhintojen saaminen alas, energiatehokkuuden parantaminen ja laitteiden fyysisen kestävyuden kehittäminen vastaamaan käyttöympäristön vaatimuksia. Anturilaitteilla tuotettua dataa voidaan käyttää tosiaikaiseen työkonien ohjaamiseen, minkä lisäksi dataa voidaan siirtää verkon ylitse tallennusta ja analytiikkaa tuottavaan palveluun, josta analytiikan tulosten perusteella tuotetaan suosituksia ja toimenpidekäskyjä toimenpiteitä varten.

Maatilan koneet ovat muuttumassa yhä älykkäämmiksi ja ne ovat kytkeytymässä älylaitteiden verkoiksi. Koneet kehittyvät autonomisemmiksi ensin operatiivisen automaation avulla ja tulevaisuudessa koneet liittyvät elintarviketuotannon ja tuotantoketjujen verkostoihin. Autonomiset peltotuotannon robotit eivät ole vielä yleistyneet, mutta niiden kehitys on nopeaa. Kasvihuonetuotannon robotit ovat kehittyneet lähes samassa tahdissa muiden teollisuudenalojen vastaavien kanssa.

Tietoliikennetkaisuut ovat peltoviljelyn AIoT-ratkaisuissa yleensä langattomia verkkoja joista yleisimmin käytettyjä ovat yksityisiin langattomien verkkojen protokolliin perustuvat ratkaisut. Osa ratkaisuista käyttää matkapuhelinverkkoja, kun taas puutarha- ja erityisesti kasvihuonetuotannon ratkaisuissa on pitkään sovellettu yleisiä tai teollisuuden tietoliikennetkaisuuta. Yksi keskeisiä AIoT:in kehityksen haasteita on vakaiden ja luotettavien langattomien yhteyksien kehittäminen viljelyalueille, joilla tietoliikennetyhteydet ovat tällä hetkellä rajalliset. Lisäksi suuren mittakaavan AIoT-laitteiden käyttöönotot edellyttävät tietoliikenneverkkojen arkkitehtuurin uudistamista, jotta verkot voisivat sopeutua IoT-järjestelmien datan tuotannon muotoihin ja vaihtelevaan tietoliikennemäärään.

Analytiikkapalveluissa kasvien mallinnuksen, itse tuotetun sekä kolmannen osapuolen datan perusteella voidaan tuottaa ennusteita, kohdistuen usein ympäristöolosuhteisiin, tuotanto- ja satoennusteisiin. Lisäksi voidaan analysoida tautipaineita ja muita uhkia. Analytiikan perusteella voidaan tuottaa myös suosituksia viljelytoimenpiteiksi ja näin tukea viljelijän päätöksentekoa. Päätöksenteon tukeminen on AIoT-järjestelmien keskeisimpiä toimintoja. Suositusten toimeenpano tarvittavine päätöksineen voidaan jättää ihmisen suoritettavaksi tai automatisoida. Yleisesti ihminen halutaan pitää viljelytoiminnassa päätösten tekijänä ja erilaiset keinoäly-, ennuste- ja analytiikkajärjestelmät halutaan ottaa käyttöön viljelijän päätöksenteon tueksi.

Tällä hetkellä lyhyellä aikavälillä kehitetään päätöksentekoa tukevia järjestelmiä, mutta edistyneempien ennustavaan mallinnukseen ja kysyntäperusteiseen tuotannon suunnitteluun kykenevien data-analytiikan ratkaisuiden kehittäminen on maatalousalalla vielä avoin haaste. Analytiikan kehityksen avoimia haasteita ovat myös järjestelmien itse tuottaman datan yhdistäminen kolmansien osapuolien historia- ja ennustedatan kanssa. Järjestelmäkehityksen avoimia haasteita ovat puolestaan tietopalveluiden käytettävyys, opittavuus ja ymmärrettävyys, räätälöitävyys ja yhteentoimivuus muiden toimijoiden järjestelmien kanssa. Lisäksi tuotetun ja käsitellyn datan omistajuuskysymykset sekä siirrettävyys järjestelmästä toiseen ovat keskeisiä avoimia haasteita.

Näiden lisäksi avoimia haasteita ovat AIoT-ratkaisuiden käyttöönoton laajentaminen sekä tieto- ja kyberturvallisuuden kysymykset. AIoT-ratkaisuut ovat vielä suhteellisen pienen aikaisten omaksujien ryhmän käytössä. Jotta AIoT-ratkaisuiden tarjoamat edut voitaisiin

realisoida ja täsmäviljelytekniikoista siirtyä smart farming:iin, niiden omaksuntaa tulisi laajentaa suuressa mittakaavassa. Tämän esteinä ovat erityisesti uusien teknologioiden vaikeakäyttöisyys, hinta ja järjestelmien eristyneisyys. Tietoturvan haasteet puolestaan on tutkimuksissa otettu huomioon vaihtelevasti. Tietoturva ja laitteistojärjestelmien kyberturvallisuus tulee olemaan maataloilla kasvava ongelma. AIoT-järjestelmissä on selkeä tarve tieto- ja kyberturvallisuuden ratkaisuille, jotka huomioivat kokonaisvaltaisen tietoturvan laitteista pilvipalveluihin ja loppukäyttäjän sovelluksiin asti. Näiden ratkaisuiden tulisi kattaa niin väliohjelmistot, sovellukset ja pilvipalvelutkin kuin kentällä käytettävien laitteiden fyysisen turvallisuus ja eheyden varmistaminen.

Viljelytoimenpiteissä käytettyjen koneiden tuottama data voidaan tallentaa sadon tuotantotapatieihin ja jakaa tuotantoketjussa eteenpäin. Tallennettu tieto voidaan myös jakaa alustapalvelussa, jossa voidaan integroida useiden eri toimijoiden tuottamaa tietoa. Tällaiset maatalouden alustapalvelut ovat vasta tulossa markkinoille ja niiden kehittäminen on haastavaa, mutta on odotettavissa että niitä otetaan yleisesti käyttöön lähivuosien aikana.

Viime aikoihin asti suuri osa maatalouden tieto- ja automaatiojärjestelmistä on toiminut hyvin siiloutuneesti ja tiedon saatavuus esimerkiksi kolmannen osapuolen analytiikkapalveluun on vieläkin usein rajattua. Tällöin tuotettua dataa ei aina voida hyödyntää parhaalla tavalla. Dataa tuottavat laitteet toimivat usein vain valmistajan omien tietojärjestelmien kanssa, mikä aiheuttaa yhteen toimittajaan lukittumisen vaaran. Lukittumisen riskit ovat huomattavia, koska maatalouden koneiden käyttöikä voi olla 30 vuotta ja niiden toiminnan sitominen tietyn valmistajan tietopalveluun voi aiheuttaa ongelmia.

Tällä hetkellä viljelijän käytössä on yleensä useita eri tarkoituksiin tehtyjä tietojärjestelmiä ja maatilan kokonaiskuvan hahmottaminen on vaikeaa. Tätä varten markkinoille on tulossa kokonaisvaltaisia maatilan tietohallintajärjestelmiä, jotka integroivat dataa eri lähteistä. Näiden järjestelmien kehityksessä on havaittu avoimien ja suljettujen ratkaisuiden kilpailua, mutta järjestelmien tulevaa yleisen sulkeutuneisuuden tai avoimuuden astetta ei voida ennustaa. Yleinen kehityksen suunta näyttää kuitenkin olevan kohti avoimempia ratkaisumalleja avoimien rajapintojen ja standardien avulla. On mahdollista, että tulevaisuudessa kasvintuotannon toimijat käyttävät muutamaa tarveperustaisesti valittua järjestelmää yhteistoiminnassa. Tällä hetkellä AIoT-järjestelmien arkkitehtuurit ovat siirtyneet suurelta osin vanhasta tiedostojakoperustaisesta arkkitehtuurista palvelukeskeiseen arkkitehtuuriin.

Tilakohtaisen datan ja järjestelmien integraatiota seuraava kehitysaskel on tilojen tuottaman tiedon jakaminen ja integraatio alustajärjestelmiin, joihin voidaan yhdistää myös logistiikan ja kaupan järjestelmät. Datan tuottaminen, jakaminen ja toimijoiden verkostoituminen mahdollistaa kasvintuotannon tuotantoketjujen muuttumisen aiempaa dynaami-

semmiksi tuotantoketjujen verkostoiksi, joissa tuotanto on muuttumassa kysyntävetoiseksi. Tiedon jakamisen avulla voidaan ruoan tuotantotapatieito tehdä näkyväksi kuluttajille asti sekä seurata ja tehostaa logistiikan toimintaa. Kompleksisten tuotantoketjujen paremmalla tarkkailulla voidaan myös parantaa ruoan turvallisuutta. Tiedon jakamisella voidaan myös parantaa viljelijöiden välistä yhteistyötä ja reagointia kasvitautien tai hyönteisinvaasioiden hallitsemiseksi. Tällä hetkellä maatalouden toiminnassa tuotetun tiedon vaihdanta, datan julkaisu ja jakaminen onnistuvat jo rajatussa määrin tietyissä palveluissa, mutta yleisessä käytössä näitä ei vielä Suomen maatalouden käyttöympäristössä ole.

Lopulta merkittävimmän kehitysaskelen ottavat viljelijät, jotka omaksuvat käyttöönsä hyödyllisiä teknologioita. Heille AIoT-teknologioiden tulisi vielä selkeästi näyttää toteen hyödyllisyytensä. Viljelijät käyttävät tarkkaa harkintaa liiketoiminnan harjoittajina ja yrittäjinä tehdessään investointeja toimintansa parantamiseksi. Tällöin käyttöön otettavalle teknologiaratkaisulle tulee löytyä selkeä taloudellinen peruste. Tämän lisäksi uuden teknologian tulee soveltua yrityksen toimintatapoihin ja liiketoimintaprosesseihin, eli maatalojen viljelykäytänteisiin ja tapoihin tehdä asioita ja hoitaa tilaa. Jos näitä vaatimuksia ei kyetä täyttämään, laaja AIoT-teknologioista saatavien hyötyjen realisointi voi jäädä rajalliseksi.

### 5.3.2 Tutkimuskysymyksien vastaukset

**Tutkimuskysymys 1: Millaista tutkimusta IoT-teknologioiden soveltamisesta kasvin-tuotantoon on julkaistu?** Suurin osa aineiston kirjallisuuskatsauksissa käsitellyistä ja omassa tiedonhaussa löydetyistä julkaisuista käsittelee yksittäisiä AIoT-teknologiaratkaisuita, joista valtaosa pyrkii tarkkailemaan ympäristöolosuhteita tai muita kohteita ja välittämään anturilaitteilta saatua tietoa käyttäjille. Osassa julkaisuista pyritään tarkkailun lisäksi kontrolloimaan toimilaitteita tai robotteja, osan esitellessä päätöksenteon tuen ja ennustamisen järjestelmiä. Osa julkaisuista puolestaan käsittelee logistiikan IoT-ratkaisuita. Näiden lisäksi osassa tutkimuksia pyritään kehittämään erilaisia tietopalveluiden alustarakkaisuita kasvintuotannon AIoT-ratkaisuiden tuottaman datan keräämiseen, joissain tapauksissa myös integrointiin kolmansien osapuolten tuottaman tiedon kanssa. Suurin osa julkaisuista on Aasiasta, joista useissa on erityisenä motivaationa mahdollisimman edullisten ja yleisimpiä teknologioita soveltavien AIoT-ratkaisuiden kehittäminen pienviljelijöiden käyttöön, länsimaisen tutkimuksen keskittyessä enemmän uusien teknologioiden sovelluksiin.

**Alakysymys 1.1: Millaisia teknologiasovelluksia tutkimuksissa on esitelty?** Keskeisiä IoT:in mahdollistavia teknologioita ovat sulautetut laitteet, tunnistus-, anturointi- ja tietoliikennetekniikat (ks. anturi- ja aktuaattoriverkot) sekä väliohjelmistot ja tietopalveluiden alustarakkaisut, mikä on nähtävissä useissa esitetyissä IoT-arkkitehtuurimalleissa. RFID-tunnisteet ovat tunnistusteknologioista keskeisimpiä. RFID:tä ja muita NFC-ratkaisuita

käytetään erityisesti tuotteiden seurannan ratkaisuihin. Langattomat anturi- ja toimilaitteverkot (WSN ja WSAN) ovat keskeisessä osassa IoT-paradigman mukaista mitatun digitaalisen tiedon tuotantoa ja ympäristöön vaikuttamista. Useissa AIoT-sovelluksissa anturi- ja toimilaitteverkot mahdollistavat ympäristön tai laitteiden monitoroinnin tietoliikennetoiminnoilla varustetuilla anturilaitteilla. Tämä puolestaan mahdollistaa anturidatan siirtämisen digitaalisena tietona verkon yli tietovarastoon analysoitavaksi. Samoin toimilaitteverkoilla puolestaan voidaan käyttää verkkoon kytkettyjä toimilaitteita usein analytiikan perusteella ympäristöön vaikuttamiseksi. AIoT-ratkaisuissa käytettävistä anturitekniikoista yleisimpiä ovat ilmanlaatua, lämpötilaa, kosteutta, fysikokemiallisia ominaisuuksia ja säteilyä mittaavat laitteet.

Aktuoinnin kuten toimilaitteiden ja robotiikan teknologioita soveltavista ratkaisuista suurin osa on käytössä kontrolloinnin tai logistiikan järjestelmissä. Suuri osa aktuoinnin ratkaisuista on toteutettu osana AIoT-vetoisen täsmäviljelyn järjestelmiä ja yleisin aktuoinnin sovellus on kastelujärjestelmien kontrollointi toimilaitteiden avulla. AIoT-laitteiden voimallisten teknologioista yleisimpiä ovat aurinkopaneelien ja akkujen yhdistelmät, mutta toimilaitteiden tapauksissa yleisimmin käytetään verkkovirtaa. Viime aikoina tutkimuksissa on esitelty myös ns. self-power -energiankeräinratkaisuita, joissa voimallisten lähteenä käytetään usein pelkästään aurinkopaneeleja ja eräässä tutkimuksessa jopa maaperän kosteutta.

Tietoliikennetekniikoista yleisimmin käytettyjä ovat yksityisiin langattomien verkkojen protokollin perustuvat ratkaisut. Matkapuhelinverkoja käyttävät tietoliikennetietoisuudet ovat toiseksi yleisimpiä ja joissakin tutkimuksissa on esitelty myös NFC-ratkaisuita. Pienitehoiset tietoliikennetekniologiat kuten SigFox ja LoRa ovat yleistymässä AIoT-sovelluksissa. Verkon reunan tietojenkäsittelyssä on useiden käytössä mikrokontrolleripohjaisia ratkaisuita, yhden piirilevyn tietokoneiden ratkaisuiden ollessa harvinaisia. Tiedon tallennuksessa pilvipalvelut ovat avainasemassa AIoT-järjestelmien toteutuksissa. Tiedon julkaisu ja visualisointi loppukäyttäjille toteutetaan yleensä AIoT-järjestelmissä web-pohjaisten ratkaisuiden avulla, mobiilisovellusten ja paikallisratkaisuiden kuten perinteisten PC-ohjelmistojen ollessa harvinaisempia.

**Alakysymys 1.2: Minkä tyyppiset IoT-sovellukset tulevat tutkimusmateriaalissa selkeimmin esille, eli millaiset sovellukset ovat viime aikaisessa tutkimuksessa keskeisimpiä?** Valvonnan ratkaisuihin keskitytään useimmin ympäristömuuttujien kuten lämpötilan, kosteuden, fysikokemiallisten ominaisuuksien ja säteilyn mittaamiseen ja seurantaan ilmassa, maaperässä, vedessä ja kasveissa. Näistä useat ratkaisut soveltavat erilaisia langattomia anturiverkkoja (WSN) mittaustietojen yhdistämisessä osiksi suurempia järjestelmiä. Edellisen lisäksi erityisesti logistiikan ratkaisuihin käytetyt RFID-



tunnisteet ovat yksi laajimmassa käytössä olevia tarkkailun ja valvonnan teknologioita. Valvonnan ratkaisuiden pääasiallinen tarkoitus on informaation automaattinen keruu ilman ihmisen suorittamia toimintoja sekä kerätyn datan siirto palvelimelle tai tallennuspalveluun käsittelyä ja visualisointia varten. Näin voidaan tuottaa lisäarvoa viljelijöille keräämällä merkityksellistä tietoa satokasveista ja tilan toiminnasta päätöksenteon tukemiseksi.

Peltotuotannon valvonnan sovelluksissa keskitytään yleensä ilmasto-olosuhteiden ja maaperän mittaamiseen. Osassa tutkimuksia on pellon yleistilan, kasvien heijastuskyvyn tai lämpötilan mittaamiseen käytetty optisia antureita. Kuvantamisdataa tuottavia anturilaitteita käytetään julkaisuissa tavallisina turvakameroina, eläinten tunkeutumisen, hyönteisten tai haittakasvien uhkien havaitsemiseksi ja satokasvien kasvun tarkkailuun. Lisäksi paikkatietojärjestelmiä on integroitu osaksi AIoT-ratkaisuita jos täsmällinen paikkatieto on tarpeellinen järjestelmän toiminnalle. Viime aikaisissa tutkimuksissa on myös valvonnan järjestelmiin lisätty päätöksentekoa ja hallinnointia tukevia toimintoja, kuten kasvitautien automaattinen tunnistus viljelijän ottamista valokuvista joka on integroitu asiantuntijapalvelun yhteyteen. Näin voidaan tuottaa diagnoosi ja toimenpidesuosituksia automaattisesti kasvitautien hoitamiseksi.

Kontrolloinnin ratkaisuihin keskitytään yleisimmin kastelun, lannoituksen, tuholaistorjunnan ja valaisun hallinnoimiseen. Näissä ratkaisuihin sovelletaan usein langattomia anturi- ja aktuaattoriverkkoja (WSAN). Toisin kuin valvonnan ratkaisuihin joissa tiedon kulku on yksisuuntainen, kontrolloinnin ratkaisuihin tiedon kulku on kaksisuuntainen komentojen välittämiseksi toimilaitteille. Kontrolloinnin ratkaisuihin komentoja lähetetään joko käyttäjän toimesta käyttöliittymän avulla tai analytiikkamodulien tukeman päätöksentekoa algoritmin tuloksena. Useat järjestelmät pyrkivät veden, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käytön optimointiin, johon pyritään sääennustepalveluiden ja paikallisen anturiverkon tuottaman tiedon perusteella. Suuri osa ratkaisuihin käsittelee täsmäviljelyn järjestelmien toteutuksia AIoT-sovelluksien avulla ja osa erityisesti täsmäviljelyn tietojärjestelmiä. Suurin osa toimilaitteista on käytössä kontrolloinnin tai logistiikan järjestelmissä.

Kontrolloinnin ratkaisut ovat painottuneet kasvihuone- ja puutarhatuotannon ratkaisuihin, peltotuotannon kontrolloinnin ratkaisuiden ollessa harvinaisempia. Useissa julkaisuissa esitetyt kasvihuonetuotannon järjestelmät ovat parantaneet resurssitehokkuutta ja muun muassa kastelun täsmällisyyttä. Kasvihuonetuotannon yhteydessä pilvipalveluita soveltavat ratkaisut ja kasvitehtaat ovat jatkuvasti yleistymässä. Pilvipalveluiden avulla voidaan dataa analysoida syvällisemmin, nopeammin, tehokkaammin, edullisemmin ja luotettavammin kuin aikaisemmin. Useimmat kasvihuonejärjestelmien kontrollointijärjestelmistä keskittyvät kasvihuoneiden ilmaston sekä kastelun tarkkailuun ja kontrollointiin. Pieni osa

näistä pyrkii kasvihuoneen kontrollointijärjestelmän toteuttamiseen tai energiankulutuksen hallintaan.

Puutarhatuotannon järjestelmät keskittyvät pääasiassa tuotteiden tarkkailuun ja kontrollointiin. Puutarhatuotannon järjestelmistä pienempi osa on tuholaiistorjunnan ja aikaisten varoitusten järjestelmiä. Lisäksi on toteutettu yksittäisiä tuotteiden jäljitettävyyden, asiantuntijajärjestelmien, internet-kaupan, tarkkuuskastelun ja massadata-analyysin ratkaisuita.

Logistiikan ratkaisuissa puolestaan pyritään tehostamaan jakelun toimintaa, tuottamaan maatalouden tuotteille lisää arvoa sekä vähentämään hävikkiä ja riskejä. Ruuan turvallisuuden ja laaduntarkkailun IoT-ratkaisut logistiikassa ovat yleistymässä vastauksena yritysten ja kuluttajien vaatimuksiin sekä reaaliaikaisesta tiedosta ruokaketjun toiminnasta että ruoan jäljitettävyydestä pellolta pöytään asti. RFID-tunniste on ruoan tuotantoketjuissa yleisin käytössä oleva IoT-teknologia, jonka avulla voidaan seurata maatalouden tuotteiden liikkumista tuotantoketjussa. IoT-infrastruktuurin toteutuminen johtaa tuotantoketjujen virtualisointiin, koska tarkkailun ei enää tarvitse tapahtua fyysisesti varsinaisen tuotannon lähellä.

Päätöksenteon tuen ratkaisuissa mallinnuksen ja älykkäiden algoritmien avulla voidaan kerätyn datan perusteella muodostaa näkemyksiä tuotannon prosessien tilasta, tehdä sekä päätelmiä vallitsevasta tilanteesta että ennusteita tulevista mahdollisuuksista. Useimmat päätöksenteon tuen ratkaisut laativat ympäristöolosuhteiden ja tuotannon toiminnan ennusteita. Kasvien tarvitseman kastelun ja lannoitepanosten määrän ennusteet yhdessä kasvien kasvuennusteiden kanssa ovat yleisimpiä yksittäisiä ennusteiden aiheita, satoennusteiden ollessa harvinaisempia. Osassa ratkaisuita pyritään tuottamaan aikaisia varoituksia satokasveihin kohdistuvista tautipaineista ja hyönteisinvaasioista. Näiden lisäksi voidaan kasvien reaktioista tehtyjen havaintojen perusteella lähettää kontrollikäskyjä esimerkiksi kasvihuoneen automatiikalle.

## **Tutkimuskysymys 2: Miten kasvintuotannossa hyödynnetään IoT-teknologioita?**

Suurin osa kasvintuotannon AIoT-järjestelmistä keskittyy mittausdatan tuottamiseen, kontrolloinnin järjestelmien ollessa harvinaisempia. Yleensä AIoT-järjestelmissä tarkkaillaan viljely-ympäristön muuttujia kuten ilman lämpötilaa, ilmankosteutta, maaperän kosteutta ja auringonsäteilyä. Kontrolloinnin järjestelmissä käytetään useiten toimilaitteita kastelujärjestelmien automatiikassa, kasvihuoneiden ilmastoinnissa ja logistiikassa. Viime aikoina tarkkailun järjestelmiin on lisätty analytiikan toiminnallisuuksia päätöksenteon tukemiseksi ja hallinnollisiin tarpeisiin.

Maatilan koneet ovat muuttumassa yhä älykkäämmiksi ja ne ovat kytkeytymässä älylaitteiden verkoiksi. Koneet kehittyvät autonomisemmiksi ensin operatiivisen automaation

avulla ja tulevaisuudessa koneet liittyvät elintarviketuotannon ja tuotantoketjujen verkostoihin. Autonomiset peltotuotannon robotit eivät ole vielä yleistyneet, mutta niiden kehitys on nopeaa. Kasvihuonetuotannon automatiikka ja robotiikka on kehittynyt peltotuotannon vastaavia nopeammin, lähes samassa tahdissa muiden teollisuudenalojen vastaavien kanssa.

AIoT-järjestelmien datan tuotanto perustuu yleensä anturilaitteisiin, jotka on yleensä kytetty anturiverkkoihin ja ne toimivat AIoT-järjestelmien toimintaketjun alkupäänä. Dataa voidaan tuottaa anturilaitteilla useilla eri tavoilla sekä kasveista että koneista. Anturilaitteilla tuotettua dataa voidaan käyttää tosiaikaiseen työkoneiden ohjaamiseen, minkä lisäksi dataa voidaan siirtää verkon ylitse tallennusta ja analytiikkaa tuottavaan palveluun, josta analytiikan tulosten perusteella tuotetaan suosituksia päätöksenteon tueksi ja toimenpidekäskeyä viljelytoimenpiteitä varten. Harvoja poikkeuksellisen edistyneitä tapauksia lukuun ottamatta ratkaisuisia päätöksenteko ja viljelytoimenpiteiden toteuttaminen jää vielä viljelijän tehtäväksi. Useissa tapauksissa automaation avulla on voitu kuitenkin keventää viljelijän työtä määräsäätöautomatiikan ja automaattiohjauksen avulla.

**Alakysymys 2.1: Millainen IoT-ratkaisuiden yleistilanne kasvintuotannossa on tällä hetkellä?** AIoT:in teknologiaratkaisuissa ja maatalouden digitalisaatiossa ollaan murroksen partaalla, jossa ollaan siirtymässä analogisista hevosvoimia tuottavista laitteista digitaalisiin tietoa tuottaviin ja käsitteleviin laitteisiin. Kehityskulku on menossa kohti seuraavaa vaihetta, missä maatalouden työkoneet liitetään osaksi laajempaa järjestelmää. AIoT:in ja maatalouden digitalisaation projekteihin panostetaan voimakkaasti. Telemetriatuotteiden, maatilan tiedonhallintajärjestelmien ja laitteiden käytön osa-alueet edustavat tällä hetkellä maatalouden uuden teknologia-aallon huippua.

AIoT-ratkaisuiden ja maatalouden teknologiakehityksen yleistilanne on kuitenkin pirstaleinen, minkä lisäksi tavoitetilan saavuttamisen tiellä on useita avoimia haasteita. Nykyisin saatavilla olevien AIoT-järjestelmien välinen vapaa ja avoin yhteistyö ja dataintegraatio on vielä vaikeaa. Tällä hetkellä tietopalveluiden alustaratkaisuiden kehityksessä keskitytään eri tahojen eri tarkoituksiin keräämien tietojen integroimiseen eri toimijoiden kesken, mutta tietojen integraatiossa on vielä suuria ongelmia. Tällä hetkellä markkinoilla on tarjolla valmiita AIoT-ratkaisuita ja niitä on jossain määrin jo otettu käyttöön, mutta ratkaisut ovat vielä keskenään erilaisia ja osittain omiin tuotekategorioihinsa siiloutuneita. Kehitys on kuitenkin nopeaa ja täysautomaattisesti toimivat viljelyjärjestelmät tulevat todennäköisesti leviämään markkinoille lähitulevaisuudessa.

Keinoälyn hyödyntämiseen tarvittava perusautomatiikka on jo sinänsä olemassa, mutta systeemiautomaatio vaatii kehittämistä jotta sitä voitaisiin käyttää keinoälyn kanssa työn ohjaamiseen ja ylemmän tason päätöksenteon avuksi tehtävään analytiikkaan. Käytän-

nössä keinoälyn soveltaminen rajoittuu tällä hetkellä operatiivisiin tehtäviin kuten rikkaruohojen tai esteiden tunnistamiseen ja työtehtävien automatisointiin. Suomalaisessa peltoviljelyssä AIoT-teknologiaratkaisuista anturiverkkoja on käytössä tutkimuskäytössä, tilatasolla anturoinnin rajoituksessa sääasemiin. UA-laitteiden ja satelliittien tuottamaa kuvantamisdataa käytetään hyvin rajatusti ja käytännöllisten ratkaisuiden kehittämisessä on vielä avoimia haasteita.

**Alakysymys 2.2: Millaisia etuja ja hyötyjä IoT-ratkaisut voivat tarjota kasvintuotannossa?** IoT-ratkaisut voivat tehostaa kasvintuotantoa ja edistää kasvintuotannon muutosta kohti yhä laajamittaisempaa, teollisempaa ja teknologiaintensiivisempää tuotantomallia. Viljelijälle voidaan tuottaa tietoa, jonka avulla hän voi parantaa satoisuutta, tehostaa koneidensa käyttöä ja minimoida tuotantopanosten käyttöä. Samoin maataloustuotannon logistiikkaa voidaan parantaa, jolloin voidaan säästää polttoainetta ja vähentää liikenteen päästöjä. Uudet teknologiat mahdollistavat myös uusien liiketoimintamallien kehittämisen.

Työtehoa voidaan yleensä lisätä työkoneiden automaattiohjauksella, samoin kuin telemetriatoimintojen avulla toimivan ennakoivan huollon sekä vikadiagnostiikan avulla. Viljelijän oman työn tehostumisen lisäksi säästöjä voidaan saavuttaa myös tehokkaammalla urakoitsijoiden käytöllä, kun töiden ohjeistaminen tehdään digitaalisesti ohjaustiedostoilla. Maatalouskoneisiin asennettujen anturien tuottaman tiedon sekä UA-laitteiden ja satelliittien tuottamista korkearesoluutiokuvista jalostetun tiedon avulla voidaan optimoida viljelmien hallintaa, jolla voidaan saavuttaa parempia satoja ja parantaa tuottavuutta ympäristöystävällisemmin. Automatiikan edistyminen helpottaa viljelijöiden työtä ja koneiden kehittyminen yhä autonomisimmiksi muuttaa viljelijän työnkuvaa suorittavasta työntekijästä tuotantoa hallinnoivaksi johtajaksi.

Ympäristöolosuhteiden ja kasvien tarkkailun tuottaman tiedon, mallinnuksen ja data-analyysiin avulla voidaan tukea viljelijän päätöksentekoa tuottamalla ennusteita ja suosituksia, joilla voidaan pyrkiä tehostamaan viljelyä, välttämään kasvitauteja, rajata hyönteisten aiheuttamia tuhoja ja säätää tuotantoa joustavasti markkinoiden kysyntää vastaavaksi. Lisäksi data-analyysiin avulla voidaan havaita tuotannon pullonkauloja ja kartoittaa viljelypäästösten todellisia vaikutuksia. Viljelytoimenpiteissä käytettyjen koneiden tuottama data voidaan tallentaa sadon tuotantotapatieoihin ja jakaa tuotantoketjussa eteenpäin, mahdollisesti aina kuluttajalle asti. Tällöin tuotantoketju tulisi läpinäkyväksi pellostä pöytään asti. Tallennettu tieto voidaan myös jakaa alustapalvelussa, jossa voidaan integroida useiden eri toimijoiden tuottamaa tietoa. Tiedon jakamisen alustapalvelut mahdollistavat myös viljelijöiden keskinäisen yhteistyön sekä tieteellisen tutkimustiedon tuottamisen maataloilla.

### **Alakysymys 2.3: Mitkä ovat kasvintuotannon IoT-ratkaisuiden keskeiset avoimet**

**haasteet?** AIoT:in kehityksen keskeisiä haasteita on vakaiden ja luotettavien langattomien tietoliikenneyhteyksien kehittäminen viljelyalueille, joilla tietoliikenneyhteydet ovat tällä hetkellä rajalliset. Peltotuotannon toimintaympäristö kuitenkin asettaa haasteita langattomille tietoliikennetkaisuille. Erityisesti pilvipalveluiden ja korkearesoluutioisen kuvantamisdatan yleistyminen maatalouden käytössä asettaa kasvavia vaatimuksia tietoliikenneyhteyksien luotettavuudelle ja nopeudelle.

AIoT:in vahva standardisaatio parantaisi eri valmistajien laitteiden ja järjestelmien välistä yhteentoimivuutta. Järjestelmien väliset rajapinnat, integraatiot ja datavirtojen standardointi ovat vielä työn alla. Valtava kirjo erilaisia IoT-laitteita ja niiden tuottamaa heterogeenistä dataa asettavat haasteita standardisaatiolle, jonka avulla niiden yhteentoimivuutta voitaisiin edistää. Yksi tärkeimmistä avoimista haasteista on olemassa olevien IoT-ratkaisuiden integraatio avoimilla IoT-arkkitehtuureilla, alustoilla ja standardeilla jotta datan siirtely ja integraatio mahdollistuisi. Laajamittainen yhteen toimivien järjestelmien käyttöönotto on puolestaan riippuvainen alustojen kehityksestä ja saatavuudesta, mitä standardisaation puuttuminen hidastaa.

Energiatehokkaiden IoT-teknologioiden, laitteiden ja tietoliikenneyhteyksien kehittäminen nimenomaisesti maatalouden tarpeisiin on myös AIoT-järjestelmien kehityksen avoin haaste. Energiatehokkuus on usein suurin AIoT-laitteiden elinkaarta rajoittava tekijä. AIoT-ratkaisuiden havaintokerroksen laitteiden tulee pysyä aktiivisina ja toimia luotettavasti pitkiä aikoja usein rajatun akkukapasiteetin tai energiakeräimien varassa. Myös laitteiden toimintaympäristö asettaa niiden lujatekoisuudelle ja kestävyydelle kovia vaatimuksia. Havaintokerroksen laitteiden tulee kestää muun muassa auringon säteilyä, suuria lämpötilavaihteluita, sadetta, ilmakehää, tuulta ja tärinää.

Tietoturva ja laitteistojärjestelmien kyberturvallisuus tulee olemaan maataloilla kasvava ongelma. Teknisen tietoturvan näkökulmasta haasteena on datan eheyden ja autenttisuuden takaaminen. Tämä on tärkeää ruoan turvallisuuden ja jäljitettävyyden sovelluksissa, joissa tuotteen alkuperän ja prosessoinnin tietojen tulee olla luotettavia. Maatalouden IoT-sovelluksissa on selkeä tarve ratkaisuille, jotka huomioivat sekä kokonaisvaltaisen tietoturvan että kentällä käytettävien laitteiden fyysisen turvallisuuden ja eheyden. IoT-sovelluksissa yleensä käytettäville laitteille langattomien tietoliikenneyhteyksien tietoturvan toteuttaminen voi olla haastavaa niiden rajatun laskentatehon ja muistikapasiteetin takia. Tietoturvasta huolehtiminen ja järjestelmien tunkeutujilta suojaaminen on tärkeää myös käyttäjien fyysisen turvallisuuden takia. Tietoturvan takaaminen on usein haasteellisempaa IoT-ratkaisuiden kuin perinteisten tietojärjestelmien tapauksessa, koska hyökkäysvektoreita on huomattavasti enemmän.

Analytiikkaratkaisuiden kehitys päätöksenteon tukemisen järjestelmistä ennustavaan mallinnukseen ja kysyntäperusteiseen tuotannon suunnitteluun kykeneviksi data-analytiikan ratkaisuksi on maatalousalalla vielä avoin haaste. Lisäksi analytiikan kehittämisen haasteena on järjestelmien itse tuottaman datan ja kolmansien osapuolien historia- ja ennustedatan yhdistäminen, mitä vaikeuttaa yleisen standardisaation ja yhteentoimivuuden puuttuminen. Järjestelmäkehityksen avoimia haasteita ovat puolestaan tietopalveluiden käytettävyys, opittavuus ja ymmärrettävyys ja räätälöitävyys sekä yhteentoimivuus muiden toimijoiden järjestelmien kanssa. Lisäksi tuotetun ja käsitellyn datan omistajuuskysymykset sekä siirrettävyys järjestelmästä toiseen ovat avoimia haasteita. Dataa tuottavat laitteet toimivat usein vain valmistajan omien tietojärjestelmien kanssa, mikä aiheuttaa yhteen toimittajaan lukittumisen vaaran. Lukittumisen riskit ovat huomattavia, koska maatalouden koneiden käyttöikä voi olla 30 vuotta ja niiden toiminnan sitominen tietyn valmistajan tietopalveluun voi aiheuttaa ongelmia.

Tähän asti useiden AIoT-teknologioiden käyttöönotto on suurelta osin rajoittunut aikaisten omaksujien piiriin. Kehityshaasteena on saada teknologioiden omaksunta laajenemaan tämän piirin ulkopuolelle. Laajempaa omaksuntaa hidastavat uusien teknologioiden vaikeakäyttöisyys, hinta ja järjestelmien eristyneisyys. Lisäksi uuden teknologian integroiminen omaan toimintaan vaatii viljelijältä sekä rahaa että aikaa, varsinkin jos samalla joudutaan uusimaan konekanta ja ottamaan käyttöön uusia ohjelmistoja. Tällöin käyttöönoton vaatimat investoinnit muodostuvat usein yksittäiselle pienviljelijälle liian kalliiksi verrattuna todennäköisesti saavutettaviin etuihin.

## 6 POHDINTA

Tässä luvussa käsitellään työlle asetettujen tavoitteiden saavuttaminen ja työn tuloksista tehdyt johtopäätökset, joiden jälkeen tarkastellaan tutkimuksen luotettavuutta sekä hyödynnettävyyttä ja käsitellään ehdotetut jatkotutkimusaiheet. Lopuksi kuvaillaan tekijän oppimisprosessi työn aikana.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa ajankohtainen kartoittava katsaus kasvintuotannossa sovellettavien IoT-ratkaisuiden tilanteesta ja niiden tarjoamista mahdollisuuksista. Lisäksi pyrin tuottamaan lukijalle lähtökohdan kasvintuotannon alaan tutustumiseen IoT:in näkökulmasta. Toivon myös, että käsittelemäni lähteet ja aineiston haun menetelmät voivat toimia lukijan oman tiedonhaun apuna, koska AIoT-sovellukset ja niiden vaikutuksesta kasvintuotannon ja maatalouden ala on voimakkaassa muutosvaiheessa. Tämän johdosta opinnäytetyössä estelty tieto voi vanhentua nopeasti ja lukijan on hyvä pyrkiä päivittämään omia tietojaan.

Tämän opinnäytetyön kirjoittaminen on ollut selkeästi pidempi prosessi kuin mitä alun perin olin oletanut. Olen käyttänyt huomattavan määrän aikaa ja vaivaa itselleni täysin tuntemattomaan alaan tutustumiseen ja tutkimusmenetelmien opetteluun, minkä lisäksi teollisen kirjoitustyön alkeiden omaksuminen on ollut minulle yhtä haastavaa kuin se on ollut palkitsevaa.

Uteliaisuuteni aiheita kohtaan heräsi tuttavani kuvaillessa minulle tilanhoitajan työssään kohtaamia maatalan tiedonkäsittelyn haasteita. Vaikka olen työskennellyt pitkään IT-alalla, nämä haasteet olivat minulle tuntemattomia. Halusin selvittää, millainen tilanne kasvintuotannon digitalisaatiossa ja IoT:in omaksunnassa on. Lisäksi halusin opinnäytetyön sivutuotteena ottaa selkoa voiko kasvintuotannon, IoT:in ja IT:n rajapinnasta löytyä potentiaalia erikoistumiselle jatko-opintoja ja tulevia työpaikkoja silmällä pitäen.

Työni alkoi alustavan kirjallisuuskatsauksen tekemisellä, joka toimi myös tutkimussuunnitelman ja aihe-ehdotuksen pohjana. Tutkimusmenetelmiksi valitsin jo alustavassa suunnitelmassa työn laadullisen ja kartoittavan luonteen perusteella narratiivisen kirjallisuuskatsauksen ja teemahaastattelut. Kun työn aihe ja alustava suunnitelma oli hyväksytty, aloitin kirjallisuuden aineiston haut ja haastateltavien asiantuntijoiden etsinnät.

Kirjallisuuskatsauksen alustavat haut alkoivat tuottaa aiheeseen tutustuessani yhä parempia tuloksia, joista osa toimi myös esimerkkeinä tutkimusmenetelmien käytöstä ja joita sovelsin omassa työssäni. Käytin kirjallisuuskatsauksen aineiston etsinnässä osittain systemaattisen kirjallisuuskatsauksen menetelmiä, joista oli apua narratiivisen katsauksen harkinnanvaraisten hakumenetelmien tukemisessa. Kirjallisuuskatsauksessa käsittelemä-

ni lähteet ovat lopulta hyvin pieni otanta löytämästäni aineistosta, jota kertyi ajan kuluessa huomattava määrä. Lopulta käytettävissä oleva tila ja aika sanelivat aineiston määrän ja päätin käsitellä katsauksessa niin sanotun sateenvarjokatsauksen tapaan pääasiassa aineiston keskeisimpien kirjallisuuskatsausten tuloksia. Pysin tällä menetelmällä käsittelemään suuren määrän tutkimuksia mahdollisimman tiivistetysti ja kattavasti. Muuhun aineistoon keskittymällä olisin voinut mahdollisesti tuottaa enemmän omanlaiseni näkemyksen aineistosta, mutta päätin alaa tuntemattomana kirjoittajana tukeutua luotettaviksi arvioimieni asiantuntijoiden näkemyksien käsittelyyn. Lisäksi jouduin käsittelemään ilmiöitä suurelta osin ylätasoin käsitteiden kautta, ottamatta kantaa käytännöllisiin esimerkkeihin jotka olisivat voineet tuottaa lukijalle helpommin lähestyttävän kuvan AIoT-sovelluksista. Tämä heijastuu myös tutkimustuloksista, joissa olisin toivonut olevan enemmän käytännönläheisiä sovelluksia. Kirjallisuuskatsaukseni jäi siis omasta mielestäni tyngäksi, vaikka katson keskeisten ylätasoin käsitteiden ja ilmiöiden tulevan katsauksessa esille.

Teemahaastattelut vaikuttivat minusta aluksi suoraviivaiselta tavalta toteuttaa asiantuntijahaastatteluja. Tästä huolimatta lähes vapaamuotoinen ja keskustelunomainen mutta tavoitteellinen haastattelutilanne voi vaatia haastattelijalta taidokasta ohjailua, jotta haastateltava toisi tutkimukselle merkitykselliset näkemyksensä ja tietämyksensä esille. Erityisesti jos esille tulevat näkökulmat ja tiedot ovat haastattelijalle odottamattomia. Kaikissa tekemissäni haastatteluissa tuli esille jotain minulle odottamatonta, mutta asiantuntijahaastatteluina ne olivat kokonaisuudessaan helppoja toteuttaa. Tutustuin kaikkiin haastateltaviin kasvokkain ennen haastatteluja ja sovimme etukäteen käsiteltävistä teemoista, jolloin haastattelutilanteet etenivät sujuvasti. Ennakkoon käydyt keskustelut ja tutustuminen ovat mielestäni keskeinen osa haastatteluihin valmistautumista ja haastattelussa tarvittavaan luottamuksen rakentamista, joiden avulla pyrin myös varmistamaan haastattelijan toteutumisen. Alustavissa keskusteluissa esiin tulleet asiat auttoivat minua myös muotoilemaan haastatteluteemoja kullekin haastateltavalle sopiviksi. Tämä ei olisi ollut yleisten teemahaastattelun menetelmien mukaan mahdollista mutta arvioin, että asiantuntijahaastatteluissa poikkeamat teemoissa haastattelijan välillä ovat paitsi hyväksyttäviä, myös haastatteluaineistosta saatavaa tietopohjaa laajentavia.

Erilaisissa maatalouden alan tapahtumissa tapaamani kontaktit tuottivat minulle paitsi arvokasta tietoa haastatteluja alustavissa keskusteluissa, myös uusia kontakteja mahdollisiksi haastateltaviksi. Vaikka useat potentiaaliset kontaktit eivät päätyneet haastatteluihin sain haastattelut viideltä osin eri näkökulmista aiheesta lähestyvältä asiantuntijalta. Omasta mielestäni olen hyvin onnekas saadessani haastatella juuri näiltä asiantuntijoita, joista kolme on julkaissut aiheesta asiaa käsittelevää tutkimusta ja kaksi työskentelee aiheelle tärkeiden innovaatioiden ja tuotteiden parissa alan kansainvälisissä yrityksissä. Lisäksi



heillä on vankka yhteys kasvintuotannon todelliseen tilanteeseen kentällä asiakkaiden, tutkimustyön ja oman maanviljelytoiminnan kautta.

Valitsin sisällönanalyysin haastattelujen analysointimenetelmäksi vasta haastatteluaineistoa kuvailevan tekstin kirjoittamisen yhteydessä, jolloin tuli ilmi että tuottamani teksti voi sellaisenaan olla lukijalle liian laaja ja jäsentymätön. Sisällönanalyysi oli minulle suuritöinen ja vaati uuden tutkimusmenetelmän opetteluun ”lennosta”, mutta sen avulla suuri määrä haastatteluaineistoa tiivistyi kohtuullisempaan tilaan. Lisäksi sisällönanalyysin määrällinen menetelmä tuotti havainnollistavia kuvaajia, jotka voivat auttaa lukijaa hahmottamaan haastatteluaineiston sisältöä pelkkää kuvailevaa tekstiä paremmin. Sisällönanalyysi ei tuottanut minulle uusia näkemyksiä aineistoon, mutta havaintojen taulukoinnin avulla pystyin vahvistamaan määrällisellä menetelmällä laadullisia havaintojani. Aineistosta havaitsemieni asiasisältöjen taulukointi ja analysointi osoittautuivat työläiksi pelkän tekstinkäsittely- ja taulukkolaskentaohjelman avulla, joten suosittelen sisällönanalyysin tekoon siihen erikoistunutta sovellusta kuten Atlas.ti:tä tai vastaavaa.

Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen, teemahaastattelun ja sisällönanalyysin menetelmien käyttö vaati minulta opettelua ja omasta mielestäni työ alkoi sujua vasta aivan loppuvaiheessa. Pääasiassa tämän takia pidän tätä opinnäytetyötä itselleni lähinnä ensimmäisenä tutkimustyön harjoituksena ja tutkittavaan ilmiöön tutustumisena.

## **6.1 Tavoitteiden saavuttaminen**

Opinnäytetyön tavoitteena olevan ajankohtaisen yleiskuvan tuottaminen onnistui – aiheen laajuus huomioon ottaen – omasta mielestäni hyvin, ensimmäiseksi tutkielmaksi. Tutkimusmenetelmien käytössä voi olla parannettavaa, samoin kuin tiedon tiivistämisessä. Tämä on suurelta osin johtunut omasta epävarmuudestani tehdä omia päätelmiäni aineiston pohjalta. Kirjallisuuskatsauksessa epävarmuus näkyy mielestäni erilaisten sovelluksien ja teknologioiden ryhmittelyssä, joka nojautuu pitkälle lähteiden malleihin omien tulkintojen sijaan. Toisaalta kasvintuotannon ala on hyvin pirstaleinen, IoT ilmiönä vielä vakiintumaton ja maatalous huomattavan muutoksen alkuvaiheessa, jolloin erilaisten luokittelujen ja tulkintojen määrä kentällä on mielestäni hyvä tuoda esiin. Lisäksi omien pitkälle viettyjen tulkintojen tekeminen ilman alan asiantuntemusta voisi mennä minulta helposti viikaan.

Kirjallisuuskatsaus onnistuu mielestäni kuvailemaan AIoT:in yleistilannetta ylätasolla. En käsittele katsauksessa suurta osaa tiedonhaussa löytämistäni julkaisuista, joissa on esitellyt yksittäisiä AIoT-sovelluksia kuten kastelujärjestelmiä, tietopalveluiden alustajärjestelmiä, UA-laitteilla tuotetun kuvantamisdatan käsittelyä jne. Näiden käsittely olisi vienyt liikaa aikaa ja kasvattanut työn sivumäärää entisestään lisäämättä vastaavaa määrää uutta

tietoa. Lukija olisi voinut saada niiden avulla käytännönläheisemmän kuvan AIoT-sovelluksista, mutta ajan ja tilan rajoitusten takia jätin ne katsauksen ulkopuolelle.

Haastattelujen tuloksissa olen mielestäni onnistunut kuvailemaan seikkaperäisesti haastatteluaineistossa ilmenevät seikat. Sisällönanalyysin taulukoinnin tuloksissa on epävarmuustekijöitä, joiden takia määrällisiä tuloksia voi pitää vain suuntaa antavina ja havainnollistavina. Sellaisina ne tukevat haastatteluaineiston laadullisen kuvailun tuloksia, enkä ole havainnut niiden välillä ristiriitoja. Vaikka R:llä tehty lämpökartta ja dendogrammi näyttivät aluksi vaikuttavilta, ne eivät ota huomioon havaintojen konteksteja eikä niistä ollut minulle apua aineiston analysoinnissa.

## **6.2 Johtopäätökset**

AIoT:in teknologioiden voidaan odottaa yleistyvän voimakkaasti lähivuosien aikana. AIoT:in teknologioiden avulla voidaan saavuttaa monilla tavoin parempaa kasvintuotantoa, tuotantoketjun läpinäkyvyyttä ja uusia liiketoimintamalleja. Samalla voidaan tuottaa suurempia satoja aikaisempia alhaisemmilla tuotantokustannuksilla, pienemmillä tuotantopanoksilla ja suuremmalla työntekijäkohtaisella hehtaarithokkuudella, muuttaen samalla viljelytyön luonnetta kevyemmäksi. AIoT:in teknologioiden avulla voidaan edistää maatalouden siirtymistä seuraavaan "versioon", jossa täsmäviljelytekniikoista kehittyy älykkään maanviljelyn työkaluja samalla kun anturi-, toimilaitte-, robotiikka-, tietoliikenne- ja tietojenkäsittelyteknologiat mahdollistavat tuotantokoneiden yhdistymisen ensin tilakohtaisiksi järjestelmäkokonaisuuksiksi, minkä jälkeen tilakohtaiset järjestelmät voivat integroitua osaksi kasvavaa elintarviketuotannon ja -kaupan järjestelmien verkostoa. Tässä verkostossa voitaisiin jakaa ja vaihtaa tietoa kaikkien tuotantoketjun sidosryhmien kesken, mukaan lukien kuluttajat, poliittiset päättäjät ja tutkijat. Mitatun digitaalisen tuotantotapatiedon avulla voitaisiin myös parantaa ruoan turvallisuutta ja ruokaturvaa.

AIoT-ratkaisuiden kehitys ja omaksunta ovat kuitenkin vielä alkuvaiheessa, jossa ollaan vasta etsimässä alalle parhaiten sopivia ratkaisuita. Suurin osa ratkaisuista kerää anturilaitteiden tuottamaa tietoa, automatisoitujen ja keinoälyn avustamien viljelytoimenpiteiden tai suositusten ollessa harvinaisia. Tämän lisäksi suuri osa nykyisistä AIoT-ratkaisuista on vielä aikaisten omaksujien pienen joukon käytössä, ratkaisut ovat usein siiloutuneet omille toimi- tai tuotealueilleen ja data- ja järjestelmäintegraatio on vaikeaa. Kenttä on hyvin pirstaleinen ja toimijoiden välinen yhteistyö on ollut harvinaista viime vuosiin asti. AIoT:in laajamittaisen omaksumisen tiellä on vielä useita avoimia haasteita, samoin kuin sovellettavat teknologiat ovat suurelta osin kypsymättömiä ja liian kalliita viljelijöiden omaksuttaviksi. Kohdattavia avoimia haasteita on niin teknisiä kuin yhteiskunnallisiakin, unohtamatta tietojen ja kyberturvallisuuden sekä liiketoiminnan realiteettien asettamia vaatimuksia. Elintarvike-

tuotannon tulee kuitenkin tehostua huomattavasti tulevien vuosikymmenien aikana. AIoT-tekniikat voivat auttaa tähän haasteeseen vastaamisessa.

Globaalisti AIoT-ratkaisuiden markkinat ovat avautumassa ja sekä kysyntä että tarjonta ovat kasvussa. Myös Suomen markkinoilla AIoT-ratkaisuille on ilmennyt selkeää kysyntää ja niiden hyödyt ovat olleet ilmeisiä niitä kokeilleille viljelijöille. AIoT-ratkaisuiden kehittämiseen tarvitaan eri alojen osaajia, joilla on paitsi oman alansa osaamista, myös ymmärrystä maatalouden alan toiminnasta. IT-alan osaajille ja yrityksille, jotka ovat perehtyneet IoT-tekniikoihin ja jotka ymmärtävät maatalouden tarpeita voi odottaa kysyntää ja kasvun mahdollisuuksia lähivuosien aikana.

### **6.3 Luotettavuus**

Olen pyrkinyt parantamaan opinnäytetyön tutkimuksen luotettavuutta pääasiassa sen pätevyyden (validiuden) varmistamisella eri tavoin. Olen pyrkinyt kuvailemaan lähteiden hankinnan menetelmät mahdollisimman tarkasti opinnäytetyön rajoissa ja käyttänyt keskeisinä lähteinä tunnettujen tekijöiden kirjoittamia julkaisuita. Aiheen nopean kehityksen takia olen käyttänyt vertaisarvioitujen lähteiden lisäksi harmaata kirjallisuutta, erilaisten organisaatioiden ja joskus myös yritysten julkaisuja. Erityisesti ilmiön taustan kuvailussa käyttämäni useat lähteet eivät ole täysin luotettavia julkaisuja. Vaikka harmaan kirjallisuuden artikkelit eivät ole yhtä luotettavia kuin vertaisarvioitut julkaisut, niiden voidaan katsoa olevan julkisen tarkastelun alaisia ja näin ollen kohtuullisen luotettavia. Mielestäni harmaan kirjallisuuden aineisto rikastutti työni tietopohjaa. Muiden julkaisujen yhteydessä olen perustanut valintani omaan harkintaani niiden luotettavuudesta ja tuonut niiden alkuperän esille viittauksissa, mistä lukija voi tarkistaa niiden alkuperän. Kaikki käyttämäni lähteet ovat oman arvioni mukaan tarpeeksi luotettavia niihin käyttötarkoituksiin mihin niitä olen tekstissä käyttänyt.

Haastatteluaineistosta tekemieni litterointien, muistiinpanojen ja kuvailevan osion pätevyyden olen pyrkinyt varmistamaan tarkastuttamalla ne haastateltavilla asiantuntijoilla ennen sisällönanalyysiä. Kaikilta haastateltavilta ei kuitenkaan tullut vastauksia tarkistuspyyntöön. Suurin osa haastateltavista kuitenkin vastasi, esittäen vain pieniä oikaisuja kirjoittamaani kuvaukseen. Tein kaikki ehdotetut oikaisut kuvaukseen ennen sisällönanalyysiä. Käyttämällä sisällönanalyysin määrällistä menetelmää laadullisen kuvailun ohella pyrin varmistamaan tulkintojeni pätevyyttä menetelmätriangulaation keinoin. Lisäksi tekemieni päätelmien oikeellisuuden olen pyrkinyt varmistamaan ottamalla huomioon vain selkeimmin aineistosta erottuvat havainnot. Sisällönanalyysin tuloksien luotettavuutta olen kuvailut myös tekstissä, jossa olen kuvannut myös havaintojeni luotettavuuden tasoa. Havaintojeni ja tulosten luotettavuutta rajoittaa eniten se, että ne ovat vain omiani eivätkä

useamman tutkijan yhteistyön tulos. Tämä pätee myös kaikkiin muihin tämän opinnäytetyön tuloksiin.

Tutkimuksen toistettavuus (reliaabelius) on ollut vaikeammin varmistettavissa narratiivisen kirjallisuuskatsauksen menetelmän perustuessa hyvin pitkälle tekijän harkinnanvaraisiin valintoihin, joita ei yleensä raportoida (ks. alaluku 3.4 “Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä”). Myös haastattelutilanteista saadun aineiston toistettavuuden osoittaminen on vaikeaa. Haastatteluaineiston sisällönanalyysin oikeellisuuden pyrin varmistamaan laajalla aineiston laadullisella kuvailulla ja lisäämällä koodien taulukoinnin tulokset liitteiksi, joita tarkistelemalla tekemieni johtopäätöksien perusteluja voi jäljittää aineistoon.

#### **6.4 Hyödynnettävyys ja jatkotutkimusaiheet**

Opinnäytetyön tavoitteen mukaisesti työtä voidaan käyttää kartoitettaessa kasvintuotannossa käytettäviä IoT:in teknologiasovelluksia ja niiden tutkimusta yleistasolla. Lisäksi opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tiedonhaun lähtökohtana sekä pohdittaessa jatkotutkimuksen aiheita ja tarpeellisuutta.

Ehdotan jatkotutkimusaiheiksi perehtymistä aiheeseen keskittymällä valmiisiin markkinoilta saataviin tuotteisiin; haastattelututkimusta AIoT-ratkaisuiden käytöstä ja mahdollisuuksista keskittyen viljelyneuvojiin ja viljelijöihin; tarkemmin rajattuja yleiskatsauksia kasvintuotannon AIoT-sovelluksiin kasvihuone-, kasvitehdas-, puutarha- tai peltotuotannossa.

Katsaus valmiisiin markkinoilta saataviin AIoT-teknologioita soveltaviin tuotteisiin olisi käytännönläheisempi ja tarkemmin rajattu kuin tämä opinnäytetyö. Se jatkaisi yleisten katsausten tietoja ajankohtaisilla käytännön esimerkeillä tuotekehityksen ja markkinoiden tilasta, minkä lisäksi tutkimus olisi todennäköisesti helpommin lähestyttävä alaan tutustuvalla lukijalle. Tutkimuksessa voitaisiin myös ottaa huomioon lähitulevaisuuden visioita tuotekehityksen tuloksista, mikä voisi lisätä tutkimuksen kiinnostavuutta.

Viljelyneuvojiin ja viljelijöihin keskittyvällä haastattelututkimuksella voitaisiin tarkastella kentällä vallitsevaa tilannetta loppukäyttäjien lähtökohdista. Viljelijöiden kanssa käymieni keskustelujen perusteella AIoT-teknologioita on kasvintuotannossa käytössä hyvin rajatulla määrällä aikaisia omaksujia, mutta keskittymällä koettuihin tarpeisiin, toiveisiin ja vaatimuksiin tutkimuksella voisi olla käyttöä laitevalmistajille. Toisaalta laitevalmistajat vaikuttavat omien kokemusteni mukaan olevan erittäin hyvin tietoisia viljelijöiden tarpeista, jolloin tutkimuksen hyödynnettävyys olisi lähinnä yleiskatsausta tukeva selvitys.

Tässä opinnäytetyössä käsitellyt aiheet ja haastateltujen asiantuntijoiden suuntautuneisuus kohdistuu voimakkaasti peltotuotantoon, kuitenkin rajaamatta muita kasvintuotannon alueita tutkimuksen ulkopuolelle. Tällöin en ole syventynyt mihinkään tiettyyn kasvin-

tuotannon alueeseen kuin pintapuolisesti. Jatkotutkimuksessa keskittyminen kasvihuone-, kasvitehdas-, puutarha- tai peltotuotannon AloT-sovelluksiin ja asiantuntijoiden haastattelamiseen antaisi mahdollisuuden syventyä katsauksessa nimenomaisesti tietyn tyyppisiin ratkaisuihin, mikä jatkaisi yleiskatsauksien tietoja. Erityisesti suosittelen tutustumista kasvitehtaisiin ja niiden soveltamiin teknologioihin, vaikka Suomessa on tietääkseni tutkimushankkeiden lisäksi käynnissä vain yksi kaupallinen pilottihanke Fujitsun ja Robben pikku-puutarhan yhteistyönä (ks. Salmi 2017). Kasvitehtailla voi olla potentiaalia kasvintuotannon uudeksi teknologiaintensiiviseksi suuntaukseksi ja ne ovat viime vuosina saaneet huomiota kirjallisuudessa ja mediassa.

## 6.5 Oppiminen

Opinnäytetyön kirjoittaminen on jatkuvasti parantanut kykyäni itsenäiseen työnhallintaan. Työn eteneminen (tai erityisesti sen puute) on tuonut minulle konkreettisesti esille omien työskentelytapojeni vaikutukset. Työskentelyn tuloksellisuus on ohjannut työskentelytapojeni kehittymistä sekä kirjoittamisen että yleisen työskentelyn alueella jatkuvasti paremmaksi. Kehitys ei kuitenkaan ole ollut nopeaa tai helppoa, vaan on vaatinut pitkäjänteisyyttä ja sitoutumista.

Kirjoitustyön eteneminen vaiheittain suunnittelusta tiedonhaun ja muistiinpanojen kautta luonnokseksi ja lopulliseksi tekstiksi on antanut minun sisäistää kirjoitusprosessin etene-  
misen konkreettisella tavalla. Kaikki kirjoitustyön menetelmät eivät jostain syystä avautuneet minulle kirjoitusoppaita lukemalla, mutta nyt niiden ohjeet ovat selkiytyneet ajatuksien tasolta käytännön toiminnaksi. Opinnäytetyöhön käyttämäni aika on ollut pitkä, mutta se on omasta mielestäni ollut tarpeen kirjoitusprosessin ja työskentelytapojen oppimiseksi niiden vaatimaa henkilökohtaista kasvua unohtamatta.

Opinnäytetyön kirjoittaminen on osoittanut minulle kerta toisensa jälkeen joustavan ja uteliaan sitkeyden tärkeyden pitkäjänteisessä työskentelyssä. Sen avulla olen voinut käytännössä opetella kykyä jatkaa työskentelyä epäonnistumisista ja vastuksista huolimatta, tai oikeastaan niiden kanssa. Tällöin esteestä on tullut tie esteen ylitse. Tämä on tullut esille myös tätä pohdintaa kirjoittaessa: kun jokin osio ei ole millään tahtonut edistyä, olen osannut siirtyä toiseen kohtaan tai osioon ja lähestyä tekstiä pienemmissä paloissa eri kulmista kunnes haluttu kokonaisuus on hahmottunut. Lukuisten onnistumisten kautta on käynyt ilmi, että olen kyennyt jatkamaan työskentelyä myös hetkellisistä väsymystiloista huolimatta. Tämän tiedostamalla työskentelystäni ei ole tullut sen kevyempää tai helpompaa, mutta kykenen kantamaan huonojakin hetkiä paremmin kun tiedän millainen saavutuksen tunne on vaikean päivän päättyessä.

Viikoittaisten lyhyiden raporttien lähettäminen opinnäytetyön ohjaajalle on ollut hyvä tapa sanallistaa viikon työskentelyn tulokset tai niiden puuttuminen, jolloin olen asettanut itseni työskentelyni eteen ja joutunut ottamaan siitä vastuun. Raportoinnin lisäksi olen käyttänyt useita työnhallinnan menetelmiä kirjoitustyön edetessä. Näistä itselleni sopivimmat ovat olleet niin sanotun pomodoro-tekniikan soveltaminen yhdessä tarkkaan laaditun työlistan kanssa. Myös työn etenemisen visualisointi tehtävien valmistumisen mukaan on ollut minulle hyvä työkalu työskentelyn motivaation ylläpitämisessä. Tärkeimmät työskentelyä edistävät keinot minulle ovat olleet rutiinien luonti ja jatkuva, uteliaasti kokeilemalla ja pienin askelin parempaan työskentelyyn pyrkiminen. Vaikka lähtötilanteessa työskentelyn tulokset olisivat hyvin vaatimattomat, tilanteen tiedostava tarkastelu on aina antanut minulle mahdollisuuden kokeilla pieniä parannuksia työskentelytapoihini. Pienten muutosten tekeminen on myös mahdollistanut suuret muutokset kestäväällä tavalla, mikä on ollut paitasi motivoivaa, myös henkilökohtaiselle kasvulleni tärkeää. Opinnäytetyöhön käyttämäni aika ei ole mennyt itseltäni hukkaan.

Kokonaisuudessaan olen kyennyt saavuttamaan opinnäytetyölle asetetut tavoitteet, vaikka kaikki työn osat eivät ole niin selkeitä ja tiiviitä kuin olisin halunnut. Kaikki työn osat alueet toimivat kuitenkin kokonaisuuden osina tarpeeksi hyvin. Minulle tavoitteellinen työskentely on konkretisoitunut opinnäytetyön kirjoitustyössä: ilman selkeitä tavoitteita työskentelyni on tuottanut epäselviä tuloksia, jolloin itsensä johtamisen tärkeys on tullut esille. Erityisesti kirjallisuuskatsauksen tekemisessä, jota varten keräsin paljon enemmän aineistoa kuin ehdin lopulta käsittelemään.

Opinnäytetyön kirjoittaminen IoT:in sovelluksista itselleni vieraalla alalla on vaatinut jatkuvaa oppimista. Oppimisprosessi alkoi alustavassa tutustumisessa aiheeseen, jatkui voimakkaasti haastatteluissa ja on pysynyt yllä kirjallisuuskatsauksen, sisällönanalyysin ja tuloksien kirjoittamisen aikana. Kasvintuotannon ja maatalouden alan toimintaympäristön ja termistöön tutustuminen on ollut haastavaa jokaisessa työvaiheessa. Pelkästään termistön ymmärtäminen ja kääntäminen usein englanninkielisistä lähteistä on vienyt aikaa, mutta on auttanut aiheeseen perehtymisessä. Samalla on käynyt selväksi, että voin opinnäytetyön puitteissa saada vain pintapuolisen käsityksen kasvintuotannon alan toiminnasta. Toivon silti, että pintapuolinenkin käsitys riittää alkuun pääsemiseen ja pystyn vielä jatkamaan opintojani ja tietojeni kartuttamista kasvintuotannon IoT:in ratkaisuiden parissa.

Oppiminen on myös tutkimusmenetelmien ja kirjoitusprosessin osalta vaatinut jatkuvaa oppimista alusta loppuun asti. Käyttämieni tutkimusmenetelmien käytön olen opetellut kirjoitustyön ohella monien oppaiden ja työkirjojen avulla, mutta myös käytännössä yritysten ja erehdysten kautta. Jostain syystä olen usein tarvinnut menetelmien sisäistämiseen oppaiden ohjeiden lisäksi väärin tehtyjä kokeiluja ennen kuin olen voinut sisäistää miksi

tietty menetelmä toimii juuri tietyllä tavalla. Erityisesti kirjoitusprosessin eteneminen lähteestä lopulliseksi tekstiksi vaati harjoittelua ennen kuin sain sen toimimaan sillä tavalla kuin aluksi sen ohjeesta luin. Vaikka työssä käyttämäni menetelmät ja analyysit ovat hyvin yksinkertaisia ja niiden soveltamisessa voi olla puutteita, tulokset ovat ensimmäisenä harjoituksena ja ilman aikaisempaa kokemusta tehtynä mielestäni tyydyttäviä. Työtä viimeistellessä minulle on tullut tuntuma siitä, että jos tekisin työn nyt uudestaan niin työskentelyni olisi parempaa ja työstä voisi tulla vielä parempi.

Työn aikana tapahtunut ammatillinen kehittyminen on osin yllättänyt minut. En odottanut saavani yleiskatsauksen luonteisesta opinnäytetyöstä uutta teknistä osaamista, mutta muiden osaamisalueiden kuten verkostoitumisen, sosiaalisen kanssakäymisen ja erityisesti itsenäisten työskentelytapojen kehittyminen on ollut odottamattoman voimakasta. Olen työn aikana saanut huomata, kuinka suuri vaikutus työn tuloksille omalla yritteliäisyydellä, sisukkuudella ja uteliaisuudella voi olla. Sen lisäksi, että opinnäytetyön tekeminen on tutustuttanut minut aikaisemmin itselleni tuntemattomaan alaan ja sen digitalisaation haasteisiin, olen työskentelyni avulla kyennyt saavuttamaan monia asiantuntijoita, luomaan verkostoja ja saanut sekä työharjoittelu- että työpaikan.

Opinnäytetyön aikana opitut työskentelytavat tulevat vastaisuudessa toimimaan hyvänä pohjana missä tahansa toiminnassa, samalla kun luomani verkostot voivat tuottaa uusia ammatillisia etenemisen ja opiskelun mahdollisuuksia. Kokonaisuutena opinnäytetyöhön investoimani aika ja vaiva ovat palautuneet minulle huomattavana oppimiskokemuksena.

## LÄHTEET

Accenture 2018. *Accenture Digital Agriculture Service*. <https://www.accenture.com/fi-en/insight-accenture-digital-agriculture-solutions> [2018-11-17].

Agritechnica 2017. *Innovation Award Agritechnica 2017 - Gold and Silver*. <https://www.agritechnica.com/en/innovation-award/gold-and-silver/> [2018-11-17].

Ahlqvist, T., Ailisto, H., Alahuhta, P., Collin, J., Halen, M., Heikkilä, T., Kortelainen, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Sallinen, M., Simons, M. & Tuominen, A. 2015. Suomalainen Teollinen Internet – Haasteesta Mahdollisuudeksi: Taustoittava Kooste. *ETLA Raportit*, (42), s. 66.

Alexandersson, E. 2018. *Precision agriculture technology detects late blight with help from Watson*. Cloud computing news. <https://www.ibm.com/blogs/cloud-computing/2018/07/25/precision-agriculture-ibm-watson/> [2018-11-17].

Ashton, K. 2009. That 'Internet of Things' Thing, s. 1.

Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. 2010. The Internet of Things: A Survey. *Computer Networks*, 54(15), s. 2787–2805, doi:[10.1016/j.comnet.2010.05.010](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010).

Backman, J. 2015. *Kasvintuotantojärjestelmien digitalisaation tiekartta*. Luonnonvarakeskus.

Balisalisa, J. R. J. 2017. *Agriculture 3.0: Farms go digital | BusinessWorld*. <https://www.bworldonline.com/agriculture-3-0-farms-go-digital/> [2018-11-10].

Bardhi, B., Claudi, A., Spalazzi, L., Taccari, G. & Taccari, L. 2016. Virtualization On Embedded Boards As Enabling Technology For The Cloud Of Things. *Teoksessa: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 103–124.

Barpounakis, S., Kaloxylas, A., Groumas, A., Katsikas, L., Sarris, V., Dimtsa, K., Fournier, F., Antoniou, E., Alonistioti, N. & Wolfert, S. 2015. Management and Control Applications in Agriculture Domain via a Future Internet Business-to-Business Platform. *Information Processing in Agriculture*, 2(1), s. 51–63, doi:[10.1016/j.inpa.2015.04.002](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.04.002).

Bassi, A. & Horn, G. 2008. Internet of Things in 2020: Roadmap for the future, Version 1.1. *Internet of Things*, s. 27.

Bauer, M., Boussard, M., Bui, N., Carrez, F., Jardak (SIEMENS, C., De Loof (ALUBE, J., Magerkurth (SAP, C., Meissner, S., Nettsträter (FhG IML, A., Olivereau, A., Thoma (SAP,



- M., Joachim, W., Stefa (CSD/SUni, J. & Salinas, A. 2013. *Internet of Things – Architecture IoT-A Deliverable D1.5 – Final Architectural Reference Model for the IoT v3.0*.
- Baumeister, R. F. & Leary, M. R. 1997. Writing Narrative Literature Reviews. *Review of General Psychology*, 1(3), s. 311–320, doi:[10.1037/1089-2680.1.3.311](https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.3.311).
- Blank, S., Bartolein, C., Meyer, A., Ostermeier, R. & Rostanin, O. 2013. iGreen: A Ubiquitous Dynamic Network to Enable Manufacturer Independent Data Exchange in Future Precision Farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, s. 109–116, doi:[10.1016/j.compag.2013.08.001](https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.001).
- CEMA 2015. *Big Data on the Farm* | CEMA - European Agricultural Machinery. <http://cema-agri.org/page/big-data-farm> [2018-11-9].
- CEMA 2016. *Farming 4.0: The Future of Agriculture?* | CEMA - European Agricultural Machinery. <http://cema-agri.org/page/farming-40-future-agriculture> [2018-11-9].
- CEMA 2017a. *Digital Farming: What Does It Really Mean?* | CEMA - European Agricultural Machinery. <http://cema-agri.org/page/digital-farming-what-does-it-really-mean> [2018-11-9].
- CEMA 2017b. *Connected Agricultural Machines* | CEMA - European Agricultural Machinery. <http://cema-agri.org/page/connected-agricultural-machines> [2018-11-9].
- Chellappan, V. & Sivalingam, K. 2016. Security And Privacy In The Internet Of Things. *Teoksessa: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 184–200.
- Cuccureddu, G. C. 2011. *Gartner's Hype Cycle 2011: Social Analytics And Activity Streams Reach "The Peak"*. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/gartners-hype-cycle-2011-social-analytics-and-activity-streams-reach-the-peak-2011-8> [2018-10-27].
- Dastjerdi, A. V., Gupta, H., Calheiros, R., Ghosh, S. & Buyya, R. 2016. Fog Computing: Principles, Architectures, And Applications. *Teoksessa: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 61–75.
- DESA 2017. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
- Evans, P. C. & Annunziata, M. 2012. *Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines*.

FAO 2009. *Global Agriculture towards 2050*.

FAO 2016. *E-Agriculture Strategy Guide: Piloted in Asia-Pacific Countries*. Rome, Italy: FAO.

FAO 2017a. *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome: FAO.

FAO 2017b. *The Possibilities of Internet of Things (IoT) for Agriculture | E-Agriculture*. <http://www.fao.org/e-agriculture/news/possibilities-internet-things-iot-agriculture> [2018-11-3].

FAO 2018a. *Future of food and agriculture - Alternative pathways to 2050*. Rome: FAO.

FAO 2018b. *OECD-FAO: Predictable agricultural trade conditions needed to address food security challenges*. <http://www.fao.org/news/story/en/item/1143705/icode/> [2018-11-1].

FAO 2017c. *Leveraging food systems for inclusive rural transformation*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Flachs, A. 2016. *Green Revolution*.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. & Zaks, D. P. M. 2011. Solutions for a Cultivated Planet. *Nature*, 478, s. 337.

Gartner 2014. *Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business*. <https://www.gartner.com/newsroom/id/2819918> [2018-10-27].

Gartner 2015a. *Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor*. <https://www.gartner.com/newsroom/id/3114217> [2018-10-27].

Gartner 2015b. *What's New in Gartner's Hype Cycle for Emerging Technologies, 2015 - Smarter With Gartner*. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/whats-new-in-gartners-hype-cycle-for-emerging-technologies-2015/> [2018-10-27].

Gartner 2016. *Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage*. <https://www.gartner.com/newsroom/id/3412017> [2018-10-27].

- Gartner 2017. *Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017*. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/> [2018-10-27].
- Gartner 2018. *5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018*. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/> [2018-10-27].
- Gates, B. & Ottavino, J. 1995. *Road Ahead*. HighBridge Company.
- Gebbers, R. & Adamchuk, V. I. 2010. Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), s. 828, doi:[10.1126/science.1183899](https://doi.org/10.1126/science.1183899).
- Gilchrist, A. 2016. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress.
- Gillen, D., Li, J., Dahlgren, J. & Chang, E. 1999. Assessing the Benefits and Costs of ITS Projects: Volume 2 An Application to Electronic Toll Collection.
- Granell, C., Havlik, D., Schade, S., Sabeur, Z., Delaney, C., Pielorz, J., Usländer, T., Mazzetti, P., Schleidt, K., Kobernus, M., Havlik, F., Rune Bodsberg, N., Berre, A. & Mon, J. 2016. *Future Internet Technologies for Environmental Applications*.
- Green, J. 2014. *Internet of Things World Forum Reference Architecture Presentation*. <http://www.iotwf.com/resources/72> [2018-10-20].
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. 2013. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. *Including Special sections: Cyber-enabled Distributed Computing for Ubiquitous Cloud and Network Services & Cloud Computing and Scientific Applications — Big Data, Scalable Analytics, and Beyond*, 29(7), s. 1645–1660, doi:[10.1016/j.future.2013.01.010](https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010).
- Gubrium, J. F. toim. 2012. *The Sage handbook of interview research : The complexity of the craft*. 2nd ed. Los Angeles: SAGE.
- Haapala, H. 2016. *Täsmäviljelyn Määritelmä Ja Kriteerit*. <http://www.aumanet.fi/tasmaviljely/maaritelma.html> [2018-11-3].
- Heikkonen, E. 1989. Maatalouden tuotantotekniikan kehitys keskiajalta 1800-luvun puoli-  
väliin. *Teoksessa: Kivikirveestä tietotekniikkaan : tekniikan sosiaalhistoriaa kivikaudesta nykypäivään*. Turku: Turun yliopiston historian laitos, 180–186.

- Helsingin yliopisto 2017. *Maatalous kaipaa tiedettä ja tarkkaavaisuutta*. Helsingin yliopisto. <https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/kestava-kehitys/maatalous-kaipaa-tiedetta-ja-tarkkaavaisuutta> [2018-11-1].
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2015. *Tutkimushaastattelu : teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Helsinki: Gaudeamus.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. *Tutki ja kirjoita*. 15. uud. p. Helsinki: Tammi.
- Hosseinzadeh, S., Hyrynsalmi, S. & Leppänen, V. 2016. Obfuscation And Diversification For Securing The Internet Of Things (IoT). *Teoksessa: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 259–274.
- IERC 2014. *IERC-European Research Cluster on the Internet of Things*. [http://www.internet-of-things-research.eu/about\\_iot.htm](http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.htm) [2018-10-25].
- IoF2020 2018a. *How to Feed 9 Billion People? - News - IoF2020*. <https://www.iof2020.eu/latest/news/2018/01/how-to-feed-9-billion-people> [2018-11-14].
- IoF2020 2018b. *Decision Support Systems for Agriculture - News - IoF2020*. <https://www.iof2020.eu/latest/news/2018/03/dss-for-agriculture> [2018-11-6].
- IoF2020 2018c. *How the IoT (in Agriculture) Provides Extensive Environmental Benefits - News - IoF2020*. <https://www.iof2020.eu/latest/news/2018/03/how-iot-in-agriculture-provides-extensive-environmental-benefits> [2018-11-10].
- IoT Conference 2008. *IOT'08: Proceedings of the 1st International Conference on The Internet of Things*. Zurich, Switzerland: Springer-Verlag.
- IoT Conference 2018. *IOT '18 Proceedings of the 8th International Conference on the Internet of Things*. Santa Barbara, California: ACM.
- ITU 2012. Y.2060 : Overview of the Internet of Things.
- ITU 2018. *Internet of Things Global Standards Initiative*. <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> [2018-09-16].
- Kaloxylou, A., Wolfert, J., Verwaart, T., Terol, C. M., Brewster, C., Robbmond, R. & Sundmaker, H. 2013. The Use of Future Internet Technologies in the Agriculture and Food Sectors: Integrating the Supply Chain. *6th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2013)*, 8, s. 51–60, doi:[10.1016/j.protcy.2013.11.009](https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.009).

- Kamilaris, A., Kartakoullis, A. & Prenafeta-Boldú, F. X. 2017. A Review on the Practice of Big Data Analysis in Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, s. 23–37, doi:[10.1016/j.compag.2017.09.037](https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037).
- Kananen, J. 2010. *Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas*. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, liiketoiminta ja palvelut -yksikkö.
- Khodadadi, F., Dastjerdi, A. V. & Buyya, R. 2016. Internet Of Things: An Overview. *Teoksessä: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 3–27.
- Kihlström, L. & Taivalmaa, S.-L. 2014. Ruokaturvan ja maatalouden sanasto.
- L. D. Xu, W. He & S. Li 2014. Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), s. 2233–2243, doi:[10.1109/TII.2014.2300753](https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753).
- Laajalahti, M. 2017. Alkutuotannon kyberjohtamisen toimintaympäristö.
- Lee, H. W. 2017. *Agriculture 2.0: How the Internet of Things can revolutionize the farming sector*. Information and Communications for Development. <http://blogs.worldbank.org/ic4d/agriculture-20-how-internet-things-can-revolutionize-farming-sector> [2018-11-3].
- Meola, A. 2016. *Why IoT, Big Data & Smart Farming Are the Future of Agriculture*. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/internet-of-things-smart-agriculture-2016-10> [2018-11-14].
- Microsoft 2015. *FarmBeats: AI & IoT for Agriculture*. Microsoft Research. <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/> [2018-11-17].
- New World Encyclopedia 2015. *Agriculture - New World Encyclopedia*. <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Agriculture> [2018-11-1].
- Nichols, D. 2018. *The "Only" Coke Machine on the Internet*. [https://www.cs.cmu.edu/~coke/history\\_long.txt](https://www.cs.cmu.edu/~coke/history_long.txt) [2018-10-19].
- Nolter, C. 2016. *A brief history of the Internet of Things (Infographic)*. TheStreet. <https://www.thestreet.com/story/13856297/1/a-brief-history-of-the-internet-of-things.html> [2018-11-6].
- Onwuegbuzie, A. J. & Frels, R. 2016. *7 steps to a comprehensive literature review : A multimodal & cultural approach*. Los Angeles: SAGE Publications Ltd.

- Pingali, P. L. 2012. Green Revolution: Impacts, Limits, and the Path Ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(31), s. 12302–12308, doi:[10.1073/pnas.0912953109](https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109).
- Pivoto, D., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P. S., Dalla Corte, V. F. & de Vargas Mores, G. 2018. Scientific Development of Smart Farming Technologies and Their Application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), s. 21–32, doi:[10.1016/j.inpa.2017.12.002](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002).
- Polvinen, T. 2017a. Haastattelu 3.
- Polvinen, T. 2017b. Haastattelu 1.
- Polvinen, T. 2017c. Haastattelu 2.
- Polvinen, T. 2018a. Haastattelu 4.
- Polvinen, T. 2018b. Haastattelu 5.
- Porter, M. & Heppelmann, J. 2014. *How Smart, Connected Products Are Transforming Competition*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition> [2018-04-29].
- Pradilla, J. & Palau, C. 2016. Micro Virtual Machines (microvms) For Cloudassisted Cyber-physical Systems (cps). *Teoksessa: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 125–142.
- Rapsomanikis, G. 2017. Information and Communication Technology (ICT) in Agriculture, s. 57.
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L. & Smith, J. 2017. Sustainable Intensification of Agriculture for Human Prosperity and Global Sustainability. *Ambio*, 46(1), s. 4–17, doi:[10.1007/s13280-016-0793-6](https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6).
- Rose, K., Eldridge, S. & Chapin, L. 2015. The Internet of Things: An Overview - Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. *Internet Society*.
- Sakamura, K. 1987. The Tron Project. *IEEE Micro*, 7(2), s. 8–14, doi:[10.1109/MM.1987.304835](https://doi.org/10.1109/MM.1987.304835).
- Salmi, M. 2017. *Nopea kasvupyrähdys led-valojen alla*. Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/mt-nopea-kasvupyrahdys-led-valojen-alla/> [2018-11-13].

- Salminen, A. 2011. *Mikä kirjallisuuskatsaus? : johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin*. Vaasa: Vaasan yliopisto.
- Salo, U.-M. 2015. Simalabim, sisällönanalyysi ja koodaamisen haasteet, (165), s. 25.
- Sarkar, S. 2016. Internet Of Things—Robustness And Reliability. *Teoksessa*: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. *Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 201–218.
- Schneider Electric 2015. The Industrial Internet of Things: An Evolution to a Smart Manufacturing Enterprise, s. 15.
- Smith, I. G., Vermesan, O., Friess, P. & Furness, A. toim. 2012. *The Internet of Things 2012: New Horizons*. CASAGRAS2.
- Stockman, H. 1948. Communication by Means of Reflected Power. *Proceedings of the IRE*, 36(10), s. 1196–1204, doi:[10.1109/JRPROC.1948.226245](https://doi.org/10.1109/JRPROC.1948.226245).
- Sunder, S. S. & Lee, E. A. 2018. *Cyber-Physical Systems - a Concept Map*. <http://cyberphysicalsystems.org/> [2018-10-30].
- Sundmaeker, H., Verdouw, C., Wolfert, S. & Pérez-Freire, L. 2016. *Internet of Food and Farm 2020*.
- Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., Quiroz, L. A., Hoyos, A. & Garreta, L. E. 2017. Review of IoT Applications in Agro-Industrial and Environmental Fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, s. 283–297, doi:[10.1016/j.compag.2017.09.015](https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015).
- Tao, F., Wang, Y., Zuo, Y., Yang, H. & Zhang, M. 2016. Internet of Things in Product Life-Cycle Energy Management. *Journal of Industrial Information Integration*, 1, s. 26–39, doi:[10.1016/j.jii.2016.03.001](https://doi.org/10.1016/j.jii.2016.03.001).
- Teicher, J. 2018. *The little-known story of the first IoT device*. IBM Industries. <https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/> [2018-10-19].
- Townsend, R. 2015. *Ending Poverty and Hunger by 2030 : An Agenda for the Global Food System (English)*. Washington, D.C.: World Bank Group.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Uudistettu laitos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.



Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T. & Kittas, C. 2017. Internet of Things in Agriculture, Recent Advances and Future Challenges. *Biosystems Engineering*, 164, s. 31–48, doi:[10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007).

Ulrich, A. 2016. "Farming 4.0" at the Farm Gates | CEMA - European Agricultural Machinery. CEMA Smart Farming. <http://cema-agri.org/page/%E2%80%98farming-40%E2%80%99-farm-gates> [2018-11-9].

Valli, R. 2018. *Ikkunoita tutkimusmetodeihin. 2, Näkökulmia aloittelevalle tutkijalle tutkimuksen teoreettisiin lähtökohtiin ja analyysimenetelmiin. 5.*, uudistettu ja täydennetty painos. Jyväskylä: PS-kustannus.

Verdouw, C., Wolfert, S. & Tekinerdogan, B. 2016. *Internet of Things in Agriculture*.

Verdouw, C., Wolfert, S., Beulens, A. & Riialand, A. 2015. *Virtualization of Food Supply Chains with the Internet of Things*.

Vermesan, O. & Friess, P. 2011. *Internet of Things - Global Technological and Societal Trends from Smart Environments and Spaces to Green Ict*. Aalborg: River Publishers.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. & Bogaardt, M.-J. 2017. Big Data in Smart Farming – A Review. *Agricultural Systems*, 153, s. 69–80, doi:[10.1016/j.agsy.2017.01.023](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023).

World Bank 2007. *World Development Report 2008: Agriculture for Development*. World Bank.

World Bank 2017. Introduction: ICT in Agricultural Development. *Teoksessa: ICT in Agriculture (Updated Edition) : Connecting Smallholders to Knowledge, Networks, and Institutions*. Washington, D.C.: World Bank.

World Economic Forum 2015. *Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services*.

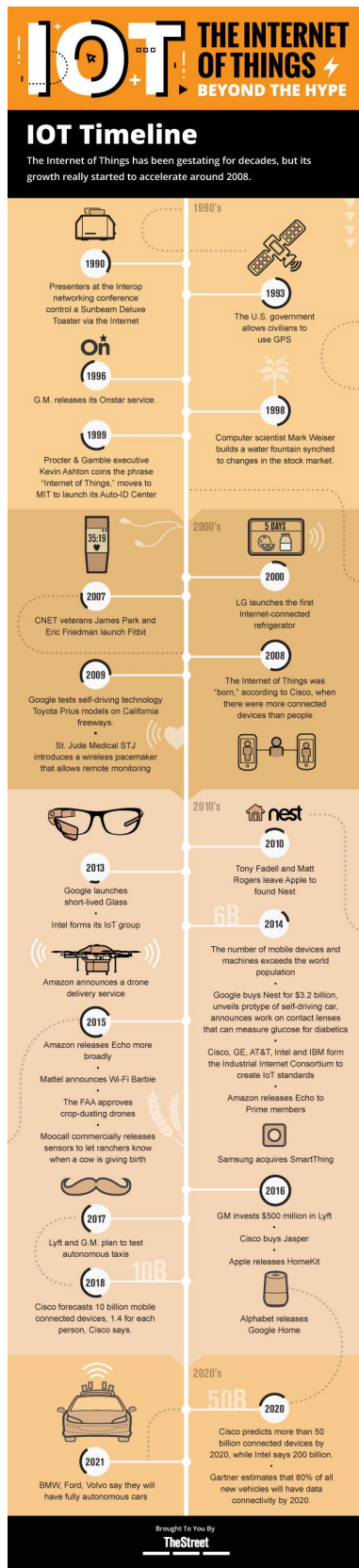
Wu Yin, Jinna Zhang, Ming Xiao, Yanping Yu & YongHong He 2017. Application of the Internet of Things in Agriculture. *Teoksessa: E-agriculture In Action*. S.I.: FAO & ITU.

Yoon, Y., Ban, D., Han, S., An, D. & Heo, E. 2016. Device/cloud Collaboration Framework For Intelligence Applications. *Teoksessa: Buyya, R. ja Dastjerdi, A. V., toim. Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier Science, 49–60.



# LIITTEET

## Liite 1. IoT:in historia -infografiikka



IoT:in historian keskeisiä tapahtumia ja ennusteita (Nolter 2016)

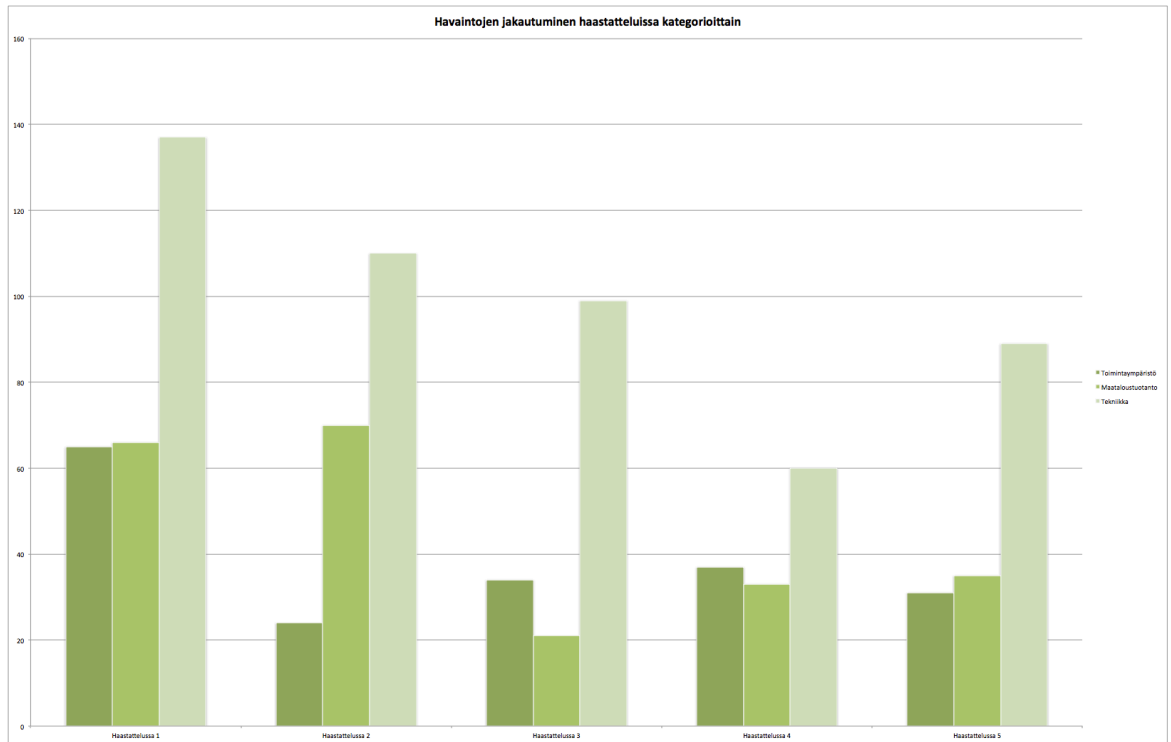
## Liite 2. Hakulauseiden muodostus

Hakulauseiden muodostukseen käytettiin kahta hakusanaryhmää, joista ensimmäiseen valittiin asiasanat "IoT" ja "Internet of Things". Toiseen ryhmään valittiin alla olevassa taulukossa luetellut asiasanat.

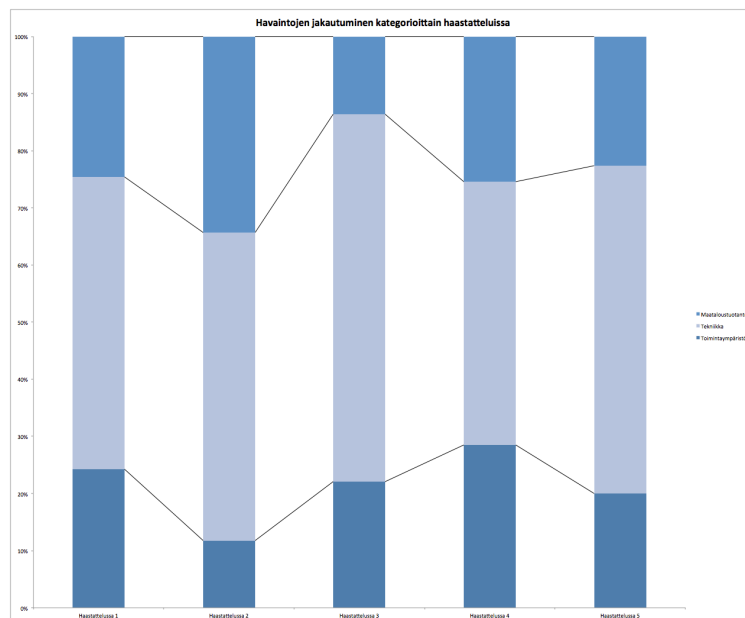
Toinen asiasanaryhmä		
Agribusiness	Agricultural industry	Agricultural products
Agriculture	Agriculture technology	Agroindustry
Big Data	Cereals	Climate
Cloud Computing	Crop	Drones
Drought	Environmental monitoring	Equipment status
Farm	Farming	Feed production
Fertilizers	Flooding	Food production
Forecast	Fruit	Fruit storage
Greenhouses	Harvesting	Horticulture
Industrial	IoT applications	Irrigation
Pest	Plant	Plant Production
Plant factories	Precision Agriculture	Precision Farming
Product Traceability	Seed	Sensor discovery
Sensor integration	Sensor-cloud	Sensor-cloud for agricultural applications
Smart Agriculture	Smart Environments	Smart Farming
Telemetry	Telemetry applications	Ubiquitous sensing
Vegetable	Water	Weather
Web of Things	Wireless Sensor Networks	



## Liite 4. Havaintojen määrät kategorioidittain

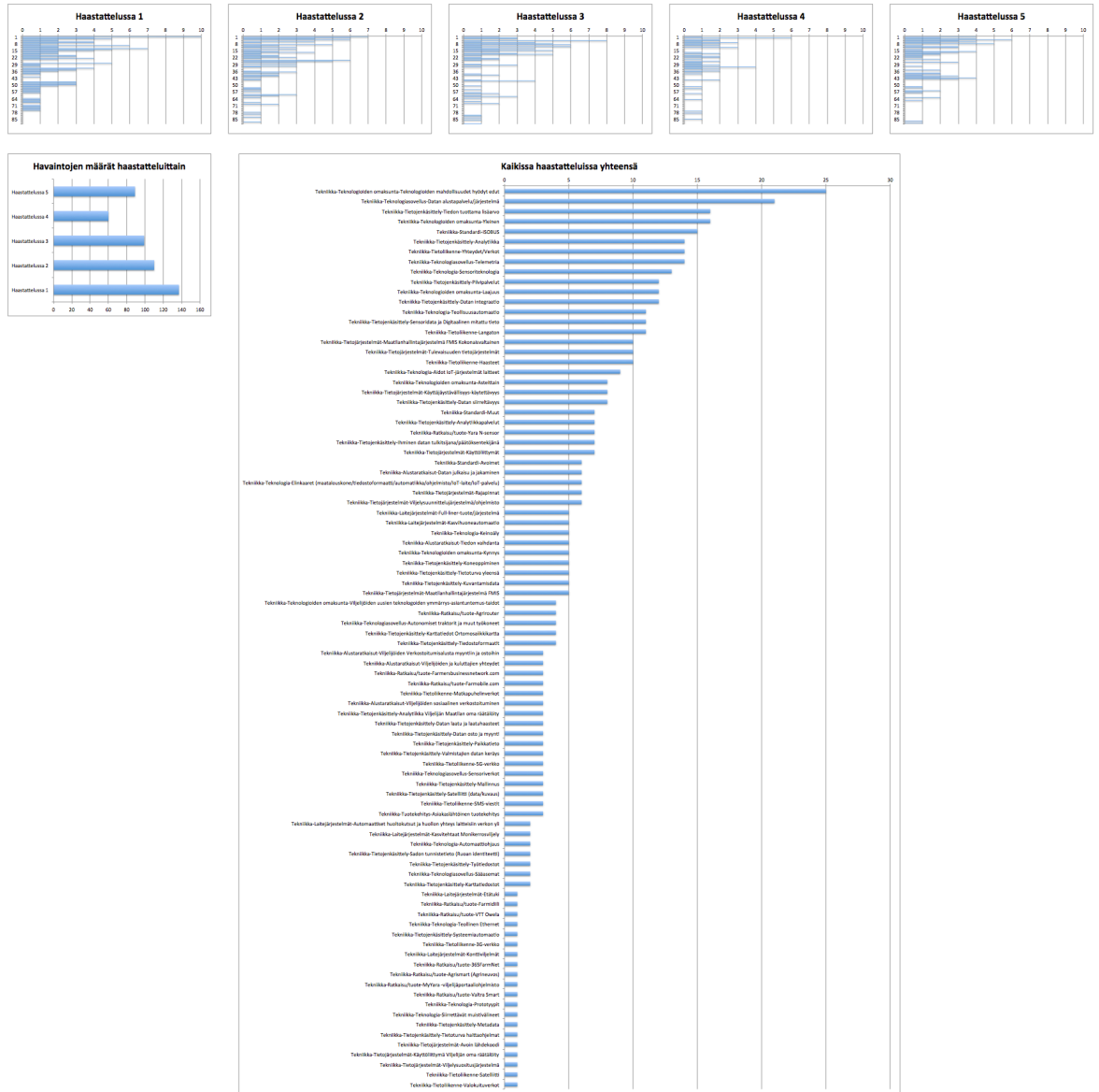


Havaintojen määrien jakautuminen haastatteluaineistossa kategorioidittain, ryhmittely haastatteluittain



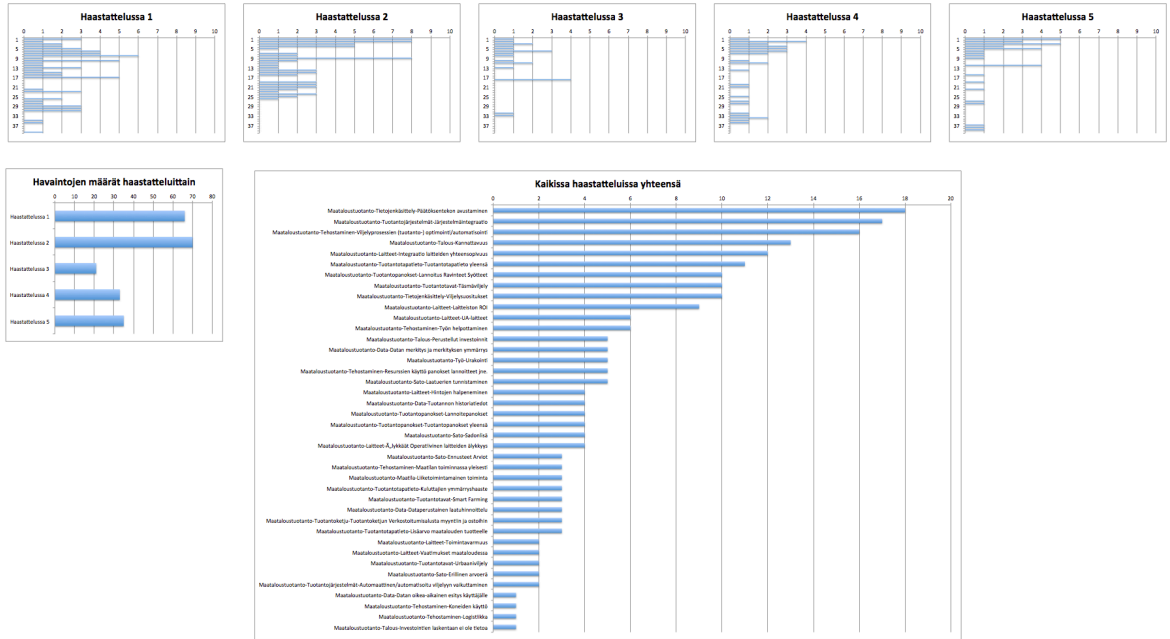
Havaintojen määrät kategorioidittain, jakautuminen haastatteluissa

# Liite 5. Tekniikka-kategorian havainnot



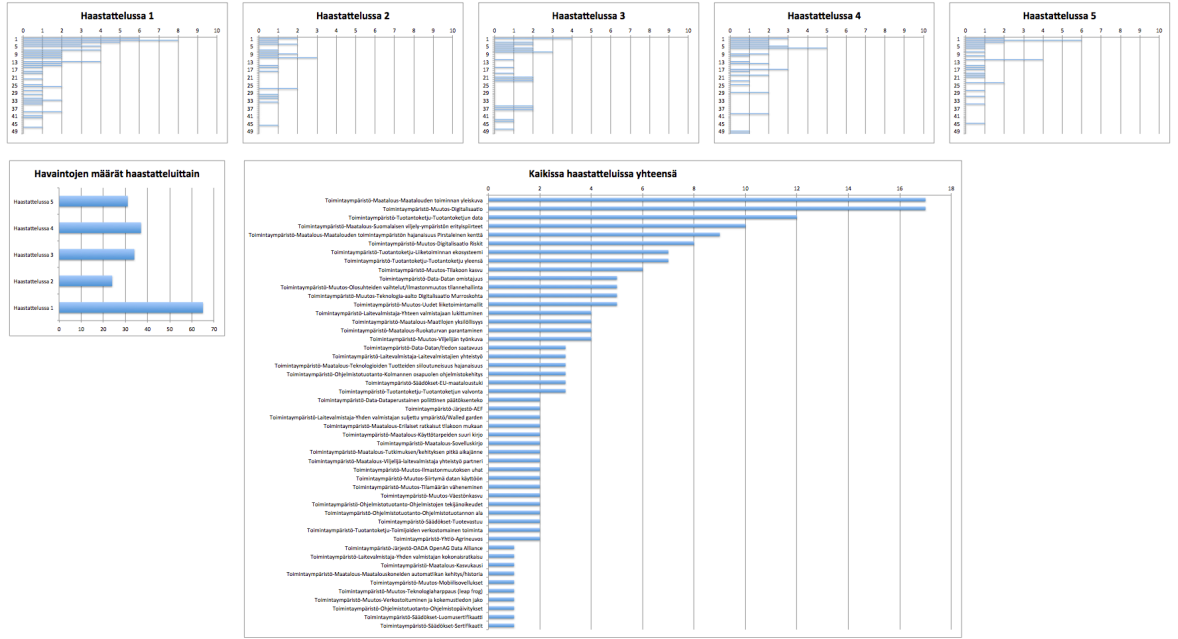
Tekniikka-kategorian havaintojen määrien kuvaajat haastatteluittain ja yhdessä

## Liite 6. Maataloustuotanto-kategorian havainnot



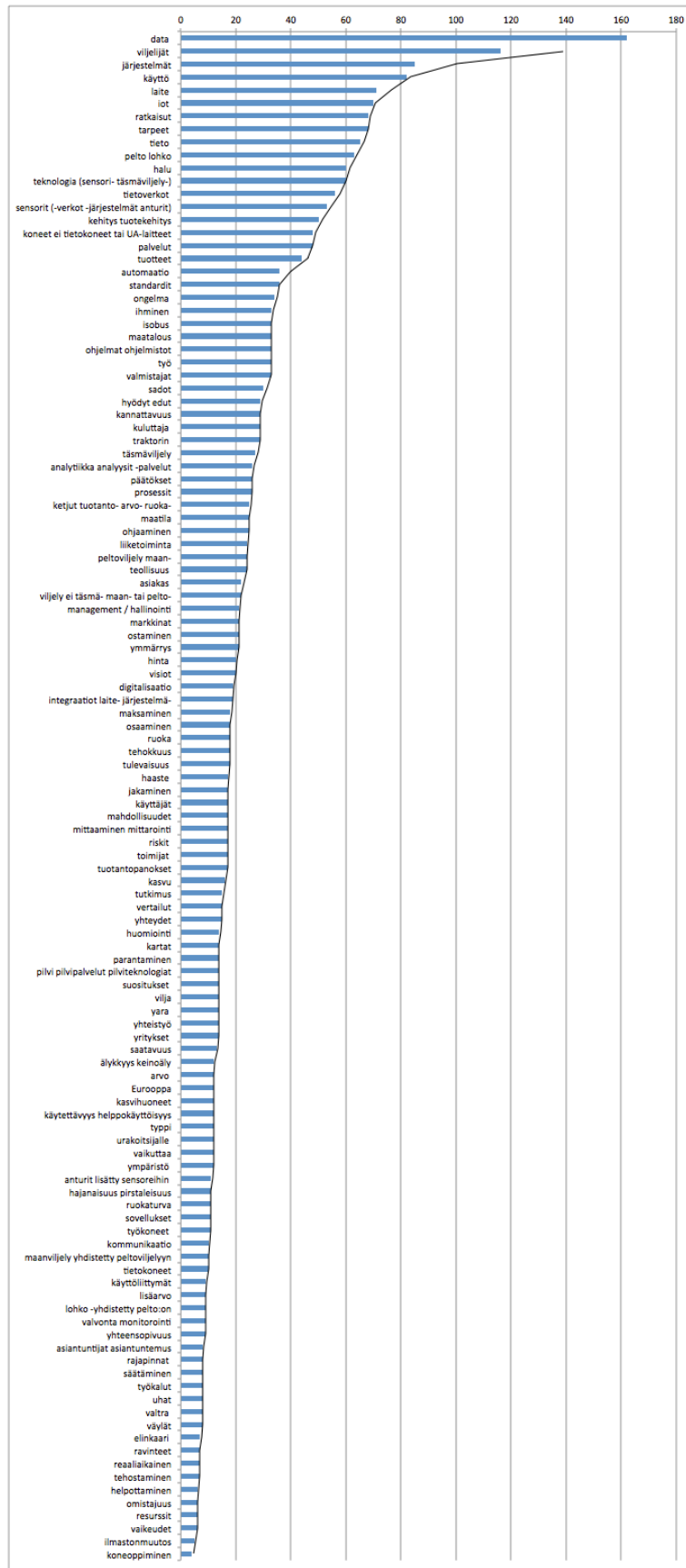
Maataloustuotanto-kategorian havaintojen määrien kuvaajat haastatteluittain ja yhdessä

# Liite 7. Toimintaympäristö-kategorian havainnot



Toimintaympäristö-kategorian havaintojen määrien kuvaajat haastatteluittain ja yhdessä

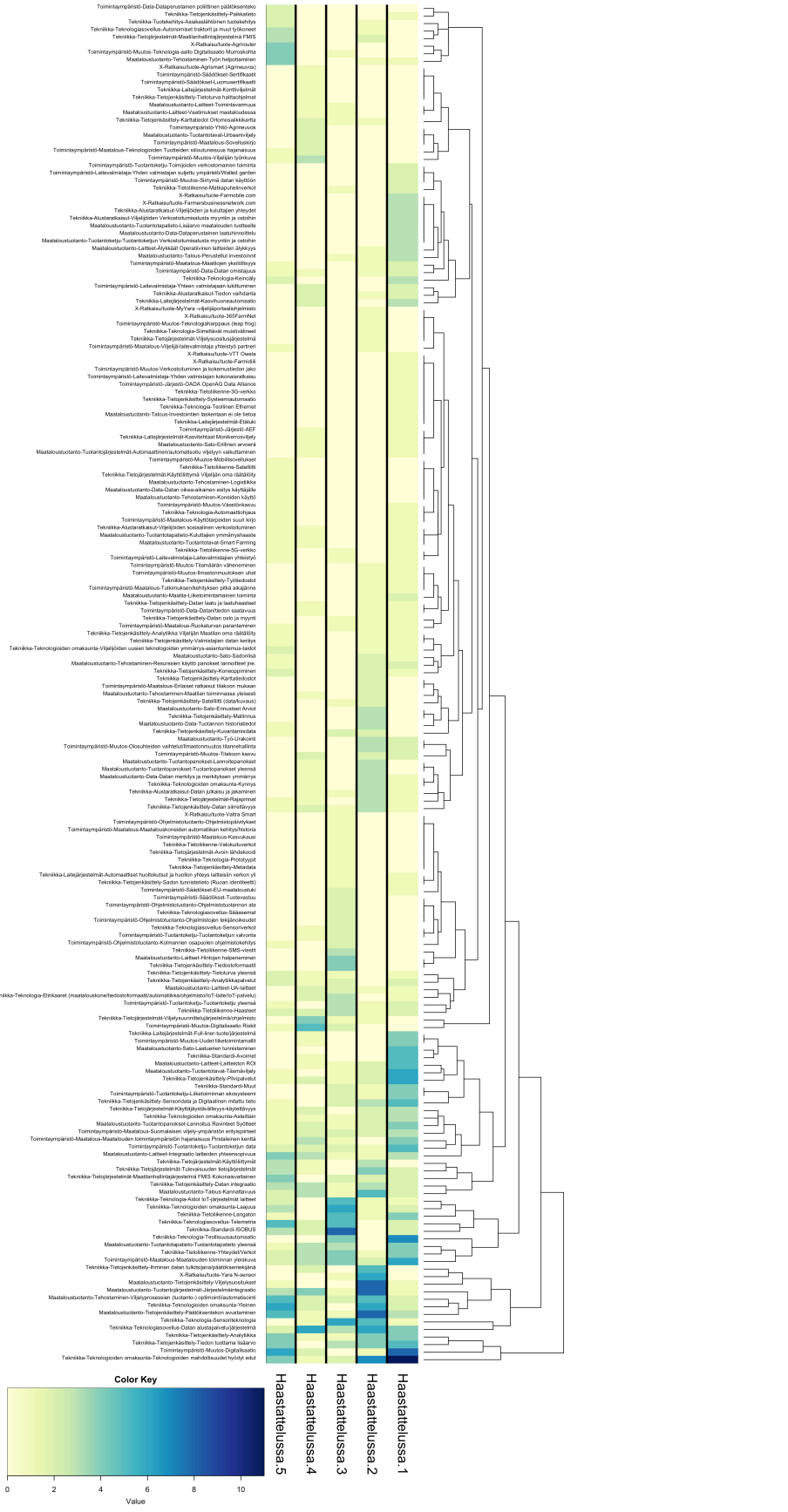
## Liite 8. Sanamäärät



Keskeisten asiasanojen määrät haastatteluaineistossa



# Liite 9. R heatmap.2



R heatmap.2:lla koodien havainnoista tuotettu lämpökartta ja dendrogrammi

## Liite 10. Koodien havainnot haastatteluaineistossa

Kategoria, Alikategoria, Koodi, Segmentit (haastattelu.segmentti)
Maataloustuotanto, Data, Dan merkitys ja merkityksen ymmärrys, 1.43, 2.17, 2.29, 2.40, 4.11
Maataloustuotanto, Data, Dan oikea-aikainen esitys käyttäjälle, 5.4
Maataloustuotanto, Data, Dataperustainen laatuhinnoittelu, 1.43, 1.44, 1.45
Maataloustuotanto, Data, Tuotannon historiatiedot, 2.27, 2.33, 2.38, 5.1
Maataloustuotanto, Laitteet, Hintojen halpeneminen, 3.38, 3.45, 3.46, 3.47
Maataloustuotanto, Laitteet, Integraatio laitteiden yhteensopivuus, 1.7, 1.9, 1.25, 2.6, 3.4, 4.2, 4.5, 4.6, 5.1, 5.3, 5.13, 5.18
Maataloustuotanto, Laitteet, Laitteiston ROI, 1.10, 1.11, 1.19, 1.23, 1.29, 2.15, 2.36, 3.43, 4.8
Maataloustuotanto, Laitteet, Toimintavarmuus, 3.29, 4.25
Maataloustuotanto, Laitteet, UA-laitteet, 1.39, 2.39, 3.13, 3.14, 4.10, 4.11
Maataloustuotanto, Laitteet, Vaatimukset maataloudessa, 3.29, 4.25
Maataloustuotanto, Laitteet, Älykkäät Operatiivinen laitteiden älykkyys, 1.22, 1.34, 1.35, 2.3
Maataloustuotanto, Maatila, Liiketoimintamainen toiminta, 1.29, 1.30, 2.30
Maataloustuotanto, Sato, Ennusteet Arviot, 2.22, 2.23, 2.34
Maataloustuotanto, Sato, Erillinen arvoerä, 1.17, 4.15
Maataloustuotanto, Sato, Laatuerien tunnistaminen, 1.28, 1.43, 1.44, 1.45, 1.46
Maataloustuotanto, Sato, Sadonlisä, 1.23, 2.26, 2.33, 5.11
Maataloustuotanto, Talous, Investointien laskentaan ei ole tietoa, 1.19
Maataloustuotanto, Talous, Kannattavuus, 1.19, 1.48, 2.20, 2.26, 2.29, 2.34, 2.36, 3.43, 4.8, 4.19, 4.22, 5.1, 5.14
Maataloustuotanto, Talous, Perustellut investoinnit, 1.29, 1.30, 1.35, 2.34, 3.43
Maataloustuotanto, Tehostaminen, Koneiden käyttö, 5.12
Maataloustuotanto, Tehostaminen, Logistiikka, 5.12
Maataloustuotanto, Tehostaminen, Maatilan toiminnassa yleisesti, 2.1, 2.46, 4.2
Maataloustuotanto, Tehostaminen, Resurssien käyttö panokset lannoitteet jne., 1.10, 1.33, 2.16, 2.27, 5.14
Maataloustuotanto, Tehostaminen, Työn helpottaminen, 1.11, 2.11, 5.2, 5.3, 5.12, 5.14
Maataloustuotanto, Tehostaminen, Viljelyprosessien (tuotanto-) optimointi/automatisointi, 1.11, 1.33, 2.16, 2.20, 2.26, 2.27, 2.33, 3.35, 3.41, 4.3, 4.20, 5.1, 5.4, 5.12, 5.14, 5.16
Maataloustuotanto, Tietojenkäsittely, Päätöksentekon avustaminen, 1.24, 1.48, 1.49, 2.1, 2.2, 2.3, 2.17, 2.18, 2.20, 2.31, 2.33, 3.19, 4.3, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.12
Maataloustuotanto, Tietojenkäsittely, Viljelysuositukset, 1.20, 2.2, 2.3, 2.4, 2.18, 2.19, 2.20, 2.29, 2.31, 5.2
Maataloustuotanto, Tuotantojärjestelmät, Automaattinen/automatisoitu viljelyyn vaikuttaminen, 1.20, 4.3
Maataloustuotanto, Tuotantojärjestelmät, Järjestelmäintegraatio, 1.25, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.13, 2.31, 2.43, 3.8, 4.1, 4.3, 4.20, 4.27, 5.5, 5.9, 5.18
Maataloustuotanto, Tuotantoketju, Tuotantoketjun Verkostoitumisalusta myyntiin ja ostoihin, 1.18,

1.27, 1.28
Maataloustuotanto, Tuotantopanokset, Lannoitepanokset, 2.18, 2.22, 2.32, 4.28
Maataloustuotanto, Tuotantopanokset, Lannoitus Ravinteet Syötteen, 1.10, 1.27, 1.33, 1.43, 2.22, 2.27, 3.12, 4.28, 4.29, 5.11
Maataloustuotanto, Tuotantopanokset, Tuotantopanokset yleensä, 2.18, 2.22, 2.32, 4.28
Maataloustuotanto, Tuotantotapatieto, Kuluttajien ymmärryshaaste, 1.43, 4.13, 5.11
Maataloustuotanto, Tuotantotapatieto, Lisäarvo maatalouden tuotteelle, 1.17, 1.28, 1.33
Maataloustuotanto, Tuotantotapatieto, Tuotantotapatieto yleensä, 1.17, 1.33, 1.42, 1.43, 3.2, 3.18, 3.19, 4.13, 4.14, 4.15, 5.11
Maataloustuotanto, Tuotantotavat, Smart Farming, 1.43, 4.13, 5.11
Maataloustuotanto, Tuotantotavat, Täsmäviljely, 1.7, 1.10, 1.12, 1.33, 1.34, 1.35, 2.15, 2.38, 3.43, 5.9
Maataloustuotanto, Tuotantotavat, Urbaniviljely, 4.28, 4.29
Maataloustuotanto, Työ, Urakointi, 1.11, 1.12, 2.37, 2.38, 2.46
Tekniikka, Alustaratkaisut, Datan julkaisu ja jakaminen, 1.16, 2.6, 2.41, 2.42, 3.17, 4.12
Tekniikka, Alustaratkaisut, Tiedon vaihdanta, 1.16, 1.30, 2.41, 4.12, 4.26
Tekniikka, Alustaratkaisut, Viljelijöiden Verkostoitumisalusta myyntiin ja ostoihin, 1.18, 1.27, 1.28
Tekniikka, Alustaratkaisut, Viljelijöiden ja kuluttajien yhteydet, 1.42, 1.43, 1.45
Tekniikka, Alustaratkaisut, Viljelijöiden sosiaalinen verkostoituminen, 1.16, 4.26, 5.1
Tekniikka, Laitejärjestelmät, Automaattiset huoltokutsut ja huollon yhteys laitteisiin verkon yli, 1.4, 3.21
Tekniikka, Laitejärjestelmät, Etätuki, 1.4
Tekniikka, Laitejärjestelmät, Full-liner-tuote/järjestelmä, 1.7, 1.8, 1.11, 1.15, 4.6
Tekniikka, Laitejärjestelmät, Kasvihuoneautomaatio, 1.3, 1.4, 1.36, 4.17, 4.19
Tekniikka, Laitejärjestelmät, Kasvitehtaat Monikerrosviljely, 1.4, 4.17
Tekniikka, Laitejärjestelmät, Konttiviljelmät, 4.18
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, 365FarmNet, 2.7
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, Agrirouter, 5.5, 5.7, 5.8, 5.9
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, Agrismart (Agrineuvos), 4.5
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, Farmersbusinessnetwork.com, 1.16, 1.26, 1.27
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, Farmidiili, 1.27
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, Farmobile.com, 1.16, 1.26, 1.27
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, MyYara -viljelijäportaaliyhjelmisto, 2.6
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, VTT Owela, 1.42
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, Valtra Smart, 3.21
Tekniikka, Ratkaisu/tuote, Yara N-sensor, 2.14, 2.16, 2.19, 2.20, 2.22, 2.34, 3.11
Tekniikka, Standardi, Avoimet, 1.14, 1.15, 1.26, 1.30, 1.32, 4.7
Tekniikka, Standardi, ISOBUS, 1.9, 1.31, 3.4, 3.7, 3.8, 3.10, 3.44, 3.45, 3.46, 3.48, 4.5, 4.7, 5.5, 5.9, 5.10
Tekniikka, Standardi, Muut, 1.13, 1.14, 1.31, 1.32, 2.44, 3.4, 3.5

Tekniikka, Teknologia, Aidot IoT-järjestelmät laitteet, 1.20, 2.11, 3.20, 3.21, 3.22, 3.35, 3.36, 5.2, 5.9
Tekniikka, Teknologia, Automaattiohjaus, 1.11, 5.16
Tekniikka, Teknologia, Elinkaaret (maatalouskone/tiedostoformaatti/automaattikka/ohjelmisto/IoT-laite/IoT-palvelu), 1.31, 3.5, 3.29, 3.30, 4.24, 4.25
Tekniikka, Teknologia, Keinoäly, 1.20, 1.23, 1.24, 5.16, 5.17
Tekniikka, Teknologia, Prototyypit, 3.32
Tekniikka, Teknologia, Sensoriteknologia, 1.4, 2.10, 2.14, 2.23, 2.31, 2.39, 3.3, 3.22, 3.23, 3.35, 3.36, 3.37, 4.2
Tekniikka, Teknologia, Siirrettävät muistivälineet, 2.10
Tekniikka, Teknologia, Teollinen Ethernet, 1.31
Tekniikka, Teknologia, Teollisuusautomaatio, 1.1, 1.3, 1.4, 1.6, 1.20, 1.25, 1.36, 3.35, 3.37, 3.38, 3.45
Tekniikka, Teknologiasovellus, Autonomiset traktorit ja muut työkoneet, 2.31, 5.16, 5.17, 5.19
Tekniikka, Teknologiasovellus, Datan alustapalvelu/järjestelmä, 1.9, 1.16, 1.18, 1.30, 2.5, 2.9, 2.32, 2.41, 2.42, 2.43, 3.8, 3.17, 3.18, 4.2, 4.12, 4.20, 4.24, 4.26, 4.27, 5.5, 5.9
Tekniikka, Teknologiasovellus, Sensoriverkot, 3.35, 3.42, 4.2
Tekniikka, Teknologiasovellus, Sääasemat, 3.20, 3.42
Tekniikka, Teknologiasovellus, Telemetria, 1.11, 1.41, 3.12, 3.22, 3.26, 3.27, 3.28, 4.10, 4.11, 5.1, 5.2, 5.3, 5.9, 5.15
Tekniikka, Teknologioiden omaksunta, Asteittain, 1.1, 1.3, 1.31, 2.24, 2.26, 3.43, 4.1, 5.15
Tekniikka, Teknologioiden omaksunta, Kynnys, 1.29, 2.15, 2.21, 2.23, 4.8
Tekniikka, Teknologioiden omaksunta, Laajuus, 1.10, 1.35, 2.21, 3.8, 3.20, 3.21, 3.24, 3.42, 3.43, 5.7, 5.8, 5.14
Tekniikka, Teknologioiden omaksunta, Teknologioiden mahdollisuudet hyödyt edut, 1.7, 1.10, 1.11, 1.12, 1.15, 1.16, 1.17, 1.23, 1.34, 1.44, 1.45, 2.2, 2.16, 2.20, 2.23, 2.25, 2.26, 2.30, 3.24, 3.43, 4.8, 5.2, 5.8, 5.15, 5.16
Tekniikka, Teknologioiden omaksunta, Viljelijöiden uusien teknologoiden ymmärrys-asiantuntemustaidot, 1.3, 2.22, 5.1, 5.2
Tekniikka, Teknologioiden omaksunta, Yleinen, 1.1, 1.34, 2.9, 2.23, 2.26, 2.34, 2.35, 2.36, 4.1, 4.8, 5.2, 5.7, 5.8, 5.9, 5.14, 5.15
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Analytiikka, 1.20, 1.24, 1.30, 1.39, 2.18, 2.22, 2.31, 2.45, 3.12, 4.2, 5.3, 5.4, 5.9, 5.14
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Analytiikka Viljelijän Maatilan oma räätälöity, 1.6, 2.4, 5.4
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Analytiikkapalvelut, 1.20, 1.39, 3.12, 3.17, 4.2, 5.4, 5.9
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Datan integraatio, 1.20, 1.25, 2.5, 2.14, 2.43, 3.8, 4.1, 4.6, 4.20, 5.3, 5.5, 5.9
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Datan laatu ja laatuhaasteet, 1.25, 2.18, 4.11
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Datan osto ja myynti, 1.16, 2.41, 3.18
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Datan siirrettävyys, 1.6, 2.8, 2.13, 2.42, 3.15, 4.5, 4.10, 5.9

Tekniikka, Tietojenkäsittely, Ihminen datan tulkitusajana/päätöksentekijänä, 2.1, 2.3, 2.11, 2.20, 2.40, 4.3, 4.4
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Karttatiedostot, 2.14, 2.39
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Karttatiedot Ortomosaiikkikartta, 2.14, 3.12, 4.10, 4.11
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Koneoppiminen, 1.25, 2.2, 2.4, 5.16, 5.17
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Kuvantamisdata, 2.14, 2.39, 3.12, 3.15, 5.18
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Mallinnus, 2.3, 2.4, 2.20
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Metadata, 3.7
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Paikkatieto, 1.37, 5.3, 5.12
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Pilvipalvelut, 1.9, 1.12, 1.15, 1.16, 1.26, 1.27, 2.6, 2.7, 3.17, 4.9, 4.24, 5.5
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Sadon tunnistetieto (Ruoan identiteetti), 1.17, 3.39
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Satelliitti (data/kuvaus), 2.13, 2.39, 3.12
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Sensoridata ja Digitaalinen mitattu tieto, 1.6, 1.20, 1.22, 1.25, 1.48, 2.18, 2.31, 2.39, 3.2, 3.35, 5.3
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Systeemiautomaatio, 1.24
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Tiedon tuottama lisäarvo, 1.15, 1.16, 1.17, 1.28, 1.33, 2.22, 2.26, 2.27, 2.33, 3.18, 3.19, 3.43, 5.3, 5.4, 5.12, 5.14
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Tiedostoformaattit, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Tietoturva haittaohjelmat, 4.23
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Tietoturva yleensä, 1.32, 3.28, 4.23, 5.4, 5.12
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Työtiedostot, 1.11, 2.38
Tekniikka, Tietojenkäsittely, Valmistajien datan keräys, 1.4, 2.12, 5.4
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Avoin lähdekoodi, 3.31
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Käyttäjystävällisyys-käytettävyys, 1.3, 1.4, 1.34, 2.17, 2.22, 4.11, 4.27, 5.4
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Käyttöliittymä Viljelijän oma räätälöity, 5.9
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Käyttöliittymät, 2.17, 2.22, 2.31, 4.27, 5.1, 5.4, 5.9
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Maatilanhallintajärjestelmä FMIS, 2.13, 2.31, 5.1, 5.3, 5.5
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Maatilanhallintajärjestelmä FMIS Kokonaisvaltainen, 1.1, 1.7, 2.6, 2.31, 3.8, 3.9, 5.3, 5.9, 5.10, 5.18
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Rajapinnat, 1.6, 2.7, 2.8, 2.42, 4.12, 5.9
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Tulevaisuuden tietojärjestelmät, 1.13, 1.20, 2.11, 2.31, 2.41, 2.43, 4.20, 5.16, 5.17, 5.19
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Viljelysuositusjärjestelmä, 2.31
Tekniikka, Tietojärjestelmät, Viljelysuunnittelujärjestelmä/ohjelmisto, 2.6, 3.20, 4.2, 4.5, 4.7, 4.9
Tekniikka, Tietoliikenne, 3G-verkko, 1.40
Tekniikka, Tietoliikenne, 5G-verkko, 1.39, 3.16, 5.13
Tekniikka, Tietoliikenne, Haasteet, 1.37, 1.39, 2.5, 3.15, 3.16, 3.28, 4.9, 4.10, 5.13, 5.19
Tekniikka, Tietoliikenne, Langaton, 1.37, 1.38, 1.39, 1.40, 2.10, 3.15, 3.16, 3.26, 3.27, 3.28, 5.13

Tekniikka, Tietoliikenne, Matkapuhelinverkot, 1.38, 1.39, 3.15
Tekniikka, Tietoliikenne, SMS-viestit, 3.26, 3.27, 3.28
Tekniikka, Tietoliikenne, Satelliitti, 5.13
Tekniikka, Tietoliikenne, Valokuituverkot, 3.28
Tekniikka, Tietoliikenne, Yhteydet/Verkot, 1.4, 1.37, 1.39, 1.40, 2.5, 3.15, 3.16, 3.27, 3.28, 4.9, 4.10, 4.23, 5.13, 5.19
Tekniikka, Tuotekehitys, Asiakaslähtöinen tuotekehitys, 2.17, 5.2, 5.15
Toimintaympäristö, Data, Datan omistajuus, 1.6, 1.30, 2.12, 4.9, 5.4
Toimintaympäristö, Data, Datan/tiedon saatavuus, 1.6, 2.13, 4.9
Toimintaympäristö, Data, Dataperustainen poliittinen päätöksenteko, 5.14, 5.15
Toimintaympäristö, Järjestö, AEF, 1.9, 4.7
Toimintaympäristö, Järjestö, OADA OpenAG Data Alliance, 1.26
Toimintaympäristö, Laitevalmistaja, Laitevalmistajien yhteistyö, 1.14, 3.47, 5.10
Toimintaympäristö, Laitevalmistaja, Yhden valmistajan kokonaisratkaisu, 1.5
Toimintaympäristö, Laitevalmistaja, Yhden valmistajan suljettu ympäristö/Walled garden, 1.7, 1.15
Toimintaympäristö, Laitevalmistaja, Yhteen valmistajaan lukittuminen, 1.6, 1.7, 4.6, 4.7
Toimintaympäristö, Maatalous, Erilaiset ratkaisut tilakoon mukaan, 2.30, 2.37
Toimintaympäristö, Maatalous, Kasvukausi, 3.12
Toimintaympäristö, Maatalous, Käyttötarpeiden suuri kirjo, 1.15, 5.2
Toimintaympäristö, Maatalous, Maatalouden toiminnan yleiskuva, 1.1, 1.2, 1.7, 1.14, 1.28, 1.29, 2.31, 2.46, 3.1, 3.41, 3.42, 3.43, 4.1, 4.2, 4.20, 5.1, 5.3
Toimintaympäristö, Maatalous, Maatalouden toimintaympäristön hajanaisuus Pirstaleinen kenttä, 1.1, 1.2, 1.9, 1.14, 3.1, 4.1, 4.2, 4.3, 5.19
Toimintaympäristö, Maatalous, Maatalouskoneiden automatiikan kehitys/historia, 3.25
Toimintaympäristö, Maatalous, Maatilojen yksilöllisyys, 1.2, 1.8, 2.30, 5.8
Toimintaympäristö, Maatalous, Ruokaturvan parantaminen, 1.47, 2.33, 3.39, 5.14
Toimintaympäristö, Maatalous, Sovelluskirjo, 4.13, 4.27
Toimintaympäristö, Maatalous, Suomalaisen viljely-ympäristön erityispiirteet, 1.38, 1.40, 1.41, 2.37, 2.46, 3.12, 3.42, 4.21, 4.22, 5.12
Toimintaympäristö, Maatalous, Teknologioiden Tuotteiden siiloutuneisuus hajanaisuus, 4.1, 4.2, 5.3
Toimintaympäristö, Maatalous, Tutkimuksen/kehityksen pitkä aikajänne, 1.33, 2.2
Toimintaympäristö, Maatalous, Viljelijä-laitevalmistaja yhteistyö partneri, 2.25, 5.2
Toimintaympäristö, Muutos, Digitalisaatio, 1.1, 1.30, 1.33, 1.34, 1.42, 1.47, 1.48, 1.49, 2.6, 4.1, 4.8, 5.1, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.17
Toimintaympäristö, Muutos, Digitalisaatio Riskit, 3.29, 3.30, 4.4, 4.8, 4.23, 4.24, 4.25, 5.12
Toimintaympäristö, Muutos, Ilmastonmuutoksen uhat, 1.33, 2.34
Toimintaympäristö, Muutos, Mobiilisovellukset, 5.1
Toimintaympäristö, Muutos, Olosuhteiden vaihtelut/Ilmastonmuutos tilannehallinta, 1.33, 1.48, 2.27, 2.28, 2.29

Toimintaympäristö, Muutos, Siirtymä datan käyttöön, 1.30, 1.33
Toimintaympäristö, Muutos, Teknologia-aalto Digitalisaatio Murroskohta, 3.43, 5.1, 5.3, 5.13, 5.15
Toimintaympäristö, Muutos, Teknologiaharppaus (leap frog), 2.24
Toimintaympäristö, Muutos, Tilakoon kasvu, 1.33, 1.41, 2.30, 2.46, 4.21, 4.22
Toimintaympäristö, Muutos, Tilamäärän väheneminen, 1.29, 2.30
Toimintaympäristö, Muutos, Uudet liiketoimintamallit, 1.30, 1.34, 1.45, 1.48, 4.26
Toimintaympäristö, Muutos, Verkostoituminen ja kokemustiedon jako, 1.29
Toimintaympäristö, Muutos, Viljelijän työnkuva, 4.4, 4.5, 4.20, 5.2
Toimintaympäristö, Muutos, Väestönkasvu, 1.48, 5.14
Toimintaympäristö, Ohjelmistotuotanto, Kolmannen osapuolen ohjelmistokehitys, 3.30, 3.31, 5.9
Toimintaympäristö, Ohjelmistotuotanto, Ohjelmistojen tekijänoikeudet, 3.30, 3.31
Toimintaympäristö, Ohjelmistotuotanto, Ohjelmistopäivitykset, 3.31
Toimintaympäristö, Ohjelmistotuotanto, Ohjelmistotuotannon ala, 3.31, 3.33
Toimintaympäristö, Säädökset, EU-maataloustuki, 1.33, 3.40, 3.43
Toimintaympäristö, Säädökset, Luomusertifikaatti, 4.14
Toimintaympäristö, Säädökset, Sertifikaatit, 4.14
Toimintaympäristö, Säädökset, Tuotevastuu, 3.30, 3.32
Toimintaympäristö, Tuotantoketju, Liiketoiminnan ekosysteemi, 1.14, 1.15, 1.18, 1.27, 2.44, 3.18, 3.19
Toimintaympäristö, Tuotantoketju, Toimijoiden verkostomainen toiminta, 1.13, 1.30
Toimintaympäristö, Tuotantoketju, Tuotantoketju yleensä, 1.13, 1.42, 2.32, 3.19, 3.39, 3.41, 5.19
Toimintaympäristö, Tuotantoketju, Tuotantoketjun data, 1.13, 1.42, 1.43, 1.44, 1.45, 2.32, 3.39, 3.41, 4.13, 4.14, 5.11, 5.14
Toimintaympäristö, Tuotantoketju, Tuotantoketjun valvonta, 3.39, 3.41, 4.14
Toimintaympäristö, Yhtiö, Agrineuvos, 4.5, 4.7