# JOHDANTO

*1 - 2 sivua - Kirjoitetaan kun muut luvut ovat valmiit.*

Kuviot: Kuvio 1. Haastattelukohtaisten ja koko haastatteluaineiston yhteenlaskettujen koodien havaintojen määrien kaaviot Kuvio 2. Alikategorioiden koodien määrien kaaviot kategorioittain Kuvio 3: Havaintojen määrien jakautuminen haastatteluissa kategorioittain

# AIOT:N TAUSTA

Tässä luvussa kuvaillaan kasvintuotannon IoT:n taustaa, millaisista osailmiöistä se koostuu ja mitä kasvintuotannon IoT:stä on julkaistu. Ensin tutustutaan osailmiöhin IoT, IIoT, AIoT ja kasvintuotanto, joiden määrittelyä, taustaa, historiaa ja nykytilaa kuvaillaan pintapuolisesti. IoT:iin liittyviä ilmiöitä IIoT sekä AIoT kuvaillaan myös pintapuolisesti ja osoitetaan miten ne liittyvät kasvintuotannon IoT:iin.

## Kasvintuotanon taustaa

*Tähän maatalouden vallankumoukset, nykytilanteeseen johtavat agriteknologian kehityspolut*

*Muistiinpanoja Wikipediasta:*

*Maatalouden vallankumous*

*https://fi.wikipedia.org/wiki/Maatalouden\_vallankumous*

1. Neoliittinen vallankumous Maanviljelyn alku ja leviäminen
2. 11000–8500 eaa.
3. Englannin maatalouden vallankumous
4. 1690–1800 jaa. https://fi.wikipedia.org/wiki/Englannin\_maatalouden\_vallankumous

Maanviljely tehostui huomattavasti useiden sosiaalisten, taloudellisten ja viljelytekniikan kehityksen aiheuttamien muutosten myötä. Teollinen vallankumous vaikutti merkittävästi maatalouskoneiden kehitykseen ja maatalouden mekanisoitumiseen, jolloin tuotanto tehostui huomattavasti.

Kero, Reino ja Kujanen, Hannu (toim.): ”Heikkonen, Esko Maatalouden tuotantotekniikan kehitys keskiajalta 1800-luvun puoliväliin”, Kivikirveestä tietotekniikkaan, tekniikan sosiaalihistoriaa kivikaudesta nykypäivään, s. 180-186. Turku: Turun yliopiston historian laitos, 1989. ISBN 951-880-296-3.

1. Vihreä vallankumous
2. 1960–1985 https://fi.wikipedia.org/wiki/Vihreä\_vallankumous

Kehittyneissä maissa viljojen sadot kaksinkertaistuivat ja maailmanlaajuisesti kolminkertaistuivat.

Vihreä vallankumous muunsi maanviljelyn luomuviljelystä runsaasti ulkoisia panostuksia vaativaksi tehomaanviljelyksi tai teolliseksi maanviljelyksi.

Vihreän vallankumouksen päätekniikat olivat: uudet lajikkeet keinokastelu lannoitteet torjunta-aineet (rikkakasvien, hyönteisten) koneistuminen

Tekniikat: pääasiassa satoisampien viljalajikkeiden (kasvinjalostus), epäorgaanisten lannoitteiden (lannoitteet), kasvitautien torjunta-aineiden (torjunta-aineet), rikkakasvien ja tuhohyönteisten torjunta-aineiden ja maanviljelyn koneistumisen (koneistuminen) avulla. (+ kosteuden säätely)

vähemmän nälänhätää ja aliravitsemusta, mutta samalla väestö on koko ajan kasvanut, mikä on vähentänyt saavutettuja hyötyjä. Suuren väestömäärän seurauksena ympäristö kärsii monin paikoin liikakansoituksen vaikutuksista. Lannoitteiden käyttö on suuri vesistöjen kuormittaja, aiheuttaen rehevöitymistä.

/Wikipediaa\*

*Tähän peltokasvituotannon, puutarhatuotannon, kasvihuonetuotannon taustaa*

## Esineiden internetin eli Internet of Things:in taustaa

*Tähän IoT:n määritelmät, historia*

### Teollisuuden esineiden Internetin eli Industrial Internet of Things:in taustaa

*Tähän kuvaus miten IIoT on osa IoTtä…*

### Maatalouden esineiden Internetin eli Agricultural Internet of Things:in taustaa

*…ja miten AIoT on osa IIoTtä.*

# OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITE, TUTKIMUSKYSYMYKSET JA TUTKIMUSSUUNNITELMA

Tässä luvussa kuvaillaan toteutetun tutkimuksen tarkoitus, tavoitteet, tutkimuskysymykset, aineisto, menetelmät ja eteneminen.

Opinnäytetyön aihepiirinä on kasvituotannon esineiden internetiin (Agriculture Internet of Things, AIoT) liittyvät tutkimukset, julkaisut ja teknologiasovellukset. Opinnäytetyössä haastatellaan asiaan perehtyneitä tutkijoita ja yritysten edustajia.

Opinnäytetyön keskeinen tutkimusongelma on, että kasvintuotannon IoT-ratkaisut eivät ole laajasti tunnettuja ja aihetta sivuavia opinnäytetöitä on julkaistu vain muutamia.

Tutkimuskysymyksiin pyritään vastaamaan käyttämällä kuvailevaa kirjallisuuskatsausta ja asiantuntijoiden teemahaastatteluja. Käyttämällä tutkimusmenelminä sekä teemahaastatteluja että kirjallisuuskatsausta pyritään 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) Opinnäytetyössä pyritään tukemaan laadullista menetelmää menetelmätriangulaation avulla. (Gubrium 2012, s. 284; ks. Hirsjärvi & Hurme 2015, s. 39) Menetelmätriangulaatio on toteutettu haastatteluaineiston laadullisen kuvailun ja määrällistä menetelmää soveltavan sisällönanalyysin avulla.

Opinnäytetyön laajuuden rajallisuuden vuoksi aihealueeksi on rajattu kasvituotannon IoT-ratkaisut, minkä kirjoittaja arvioi olevan yleisen ruoantuotannon kannalta vaikuttavin ruoantuotannon osa. Samasta syystä tässä opinnäytetyössä ei käsitellä yksittäisiä teknologiaratkaisuita kuten verkkoprotokollia, sensoritekniikkaa tai algoritmejä, vaan keskitytään kuvailemaan kasvintuotannon IoT-ratkaisuita yleistasolla.

## Tutkimuksen tarkoitus

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa lukijalle yleiskuva kasvintuotannossa sovellettavien IoT-ratkaisuiden tilanteesta ja niiden tarjoamista mahdollisuuksista. Tietoa saadaan *tähän keskeiset asiakokonaisuudet, avoimet haasteet jne.*

## Tutkimuksen tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa ajankohtainen yleiskuva kasvintuotannossa käytettäviin esineiden internetin (Internet of Things, IoT) teknologiasovelluksiin ja niiden tutkimukseen. Lisäksi opinnäytetyö voi toimia lähtökohta lukijan omalle tiedonhaulle aiheeseen tarkemmin tutustuttaessa.

## Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksiä on kaksi, joissa molemmissa on alakysymyksiä:

1. Millaista tutkimusta IoT-teknologioiden soveltamisesta kasvintuotantoon on julkaistu?

* Millaisia teknologiasovelluksia tutkimuksissa on esitelty?
* Minkä tyyppiset IoT-sovellukset tulevat tutkimusmateriaalissa selkeimmin esille, eli millaisia sovelluksia ja teknologioita on viime aikoina tutkittu?

1. Miten kasvintuotannossa hyödynnetään IoT-teknologioita?

* Millainen IoT-ratkaisuiden yleistilanne kasvintuotannossa on tällä hetkellä?
* Millaisia etuja ja hyötyjä IoT-ratkaisut voivat tarjota kasvintuotannossa?
* Mitkä ovat kasvintuotannon IoT-ratkaisuiden keskeiset avoimet haasteet?

## Tutkimusstrategian/menetelmän valinta

Opinnäytetyön tutkimustehtävänä on koota yhteen laadulliseksi yhteenvedoksi tutkimuksien tuloksia, erilaisten julkaisujen sisältöjä ja asiantuntijoiden näkemyksiä. Tämän takia opinnäytetyö tehtiin käyttämällä 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 ylipäätään 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). Opinnäytetyössä käsiteltävä aineisto kerättiin narratiivisella kirjallisuuskatsauksella ja teemahaastatteluilla. 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 teoriatietoa, mihin Baumeister & Leary (1997, s. 311) mukaan kirjallisuuskatsaus on sopiva. Samoin Baumeister & Leary (1997, s. 312) esittämistä perusteluista kirjallisuuskatsauksen valinnalle sopii tässä tapauksessa kokonaiskuvan 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: 1) haastattelulla voidaan hankkia tietoa vähän kartoitetusta alueesta, jolloin tutkijan on vaikea ennakoida vastausten suuntia; 2) haastatteluissa voidaan saada monitahoisesti ja moniin suuntiin viittaavia vastauksia; 3) haastatteluissa saaduille vastauksille voidaan pyytää selvennöksiä; 4) haastateltavaa voidaan pyytää syventämään antamaansa vastausta, esimerkiksi perustelemaan 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. Teemahaastattelu valittiin lomakehaastattelun sijaan ensisijaisesti joustavuutensa perusteella. Tämä mahdollisti asiantuntijahaastattelujen tekemisen ilman tarkkaan määriteltyjä haastattelukysymyksiä, joiden laatimiseen olisi tarvittu todennäköisesti enemmän asiantuntemusta kasvintuotannon alalta kuin tekijällä on. Toisaalta syvähaastattelu olisi antanut vielä enemmän joustoa, mutta haastattelutilanteet olisivat voineet tekijän kokemattomuuden takia olla vaikeasti hallittavissa. Samoin haastatteluaineiston analysointi olisi voinut olla vaikeampaa ilman etukäteen harkittuja teemoja.

Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 35–36) esittämät haastattelun haitat, kuten 1) haastattelun tekemisen vaatima taito, 2) sen vaatima aika ja kustannukset, 3) haastattelussa tehtävien virheiden mahdollisuus sekä 4) haastatteluista saatu epärelevantin materiaalin määrä katsottiin tässä tapauksessa olevan haastattelumenetelmän tarjoamiin etuihin verrattuina pieniä, jos ne otetaan huomioon ja niiden vaikutukset pyritään minimoimaan. Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 79) viittaavat samoihin ongelmiin, kertoen niiden olevan yleisen näkemyksen mukaan pääasiassa menetelmällisiä ja ratkaistavissa haastattelijoiden koulutuksella, rahoituksella jne.

## Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksella voidaan Baumeister & Leary (1997, s. 311) mukaan rakentaa siltaa kiireisen lukijan ja valtavan, hajallaan olevan teoriatiedon 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 yhteenliittämiseen.

Kirjallisuuskatsauksella on Hirsjärvi, Remes & Sajavaara (2009, s. 121) mukaan kaksi keskeistä tarkoitusta: Kirjallisuuskatsauksen tulee tuoda esiin, miten ja mistä näkökulmista tutkittavaa ilmiotä 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 tyyppejä. Sen kolmena perustyyppeinä pidetään Salminen (2011, s. 6) mukaan kuvailevaa ja systemaattista kirjallisuuskatsausta sekä meta-analyysiä. Kirjallisuuskatsauksen tyypin 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.

## Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

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 perustyyppejä. 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.

### Narratiivinen kuvaileva kirjallisuuskatsaus

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 epäyhteinäistä tietoa jatkuvaksi tapahtumaksi, pyrkien samalla helppolukuiseen 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 analyyttistä 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 toteutetaan yleisen tyypin mukaisena narratiivisena katsauksena. Narratiivisella kirjallisuuskatsauksella on Salminen (2011, s. 7) mukaan mahdollista päätyä luonteeltaan kirjallisuuskatsausten mukaiseen synteesiin, vaikka metodin avulla hankittu tutkimusaineisto ei olekaan valittu erityisen systemaattisella tavalla. 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 tutkimuskohteeseen liittyviä asiakokonaisuuksia, ne eivät yleensä tarjoa lukijoilleen selvitystä katsauksen 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 käsiteltyjen tutkimusten tulokset ovat. (Onwuegbuzie & Frels 2016, s. 24)

## Teemahaastattelu

Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 43, 47–48) kuvailevat kirjassaan Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö puolistrukturoitua haastattelumenetelmää, jota tekijät kutsuvat teemahaastatteluksi. Menetelmä pohjautuu pohjautuu Mertonin, Fisken ja Kendallin kirjassa The Focused Interview kuvailtuun kohdennetun haastattelun (the focused interview) menetelmään. Yleensä tutkimushaastattelujen menetelmät eroavat strukturointiasteen perusteella, eli kysymysten muotoilun sekä haastattelutilanteen jäsentelyn kiinteyden mukaan. Teemahaastattelu asettuu strukturointiasteeltaan lomakehaastattelun ja strukturoimattoman haastattelun väliin. Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 2018) puolestaan asettavat teemahaastattelun samaan väliin, mutta lähelle strukturoimatonta haastattelua eli syvähaastattelua.

Teemahaastattelussa menetelmän keskeinen piirre on haastattelun eteneminen yksityiskohtaisten kysymysten sijaan tiettyjen keskeisten aihepiirien eli teemojen varassa. Tällöin haastattelun keskeiset aihepiirit ovat kaikille haastateltaville samat, mutta haastattelukysymysten 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 viitekehykseen, mutta haastattelujen yhdenmukaisuuden vaateen aste vaihtelee tutkimuksesta toiseen. Tutkija voi valita pitääkö kaikille haastateltaville esittää kaikki suunnitellut kysymykset, voiko kysymysten järjestys vaihdella, tuleeko kysymysten sanamuotojen olla jokaisessa haastattelussa samat jne. Teemahaastatteluiden toteutukset voivat vaihdella strukturoidusti etenevästä lähes syvähaastattelun tyyppiseen haastatteluun. Samoin teemojen sisältämien kysymysten pitäytyminen tutkimuksen viitekehyksessä esitettyyn vaihtelee tiukasti etukäteen tiedetyissä kysymyksissä pitäytymisestä aina intuitiiviseen kokemusperäisten havaintojen sallimiseen.

## Sisällönanalyysi

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. 2018, 103, 117) mukaan periaatteessa useimmat laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmät perustuvat jollain tavalla sisällönanalyysiin, jos sillä tarkoitetaan väljässä teoreettisessa kehyksessä tehtävää kirjoitettujen, kuultujen tai nähtyjen sisältöjen analyysiä. Heidän mukaansa sisällönanalyysiä ei voi tästä näkökulmasta katsottuna pitää pelkästään laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmänä. Artikkelissaan Simsalabim, sisällönanalyysi ja koodaamisen haasteet Salo (2015, s. 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, s. 2018) näkemystä sisällönanalyysistä teoreettisena kehyksenä eikä sisällönanalyysi hänen mukaansa ole käyttökelpoinen analyysin perustaksi.

Tässä opinnäytetyössä sisällönanalyysiä ja sisällönerittelyä käytetään kuvailevan yhteenvedon tukena juuri yksinkertaisimmassa ja suoraviivaisimmassa muodossaan, eikä tekijän näkemyksen mukaan Salon tarkoittamalle hienovaraisemmalle ja syvällisemmälle analyysille ole tässä tapauksessa tarvetta.

Sisällönanalyysi, samoin kuin temaatinen 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 vastaavasti ohjaa tietty teoria tai epistemologinen lähtökohta, kuten aineistolähtöinen teoria (engl. grounded theory) ja fenomenologinen analyysi. (Tuomi & Sarajärvi 2018, s. 103)

Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 104–107) kuvaavat sisällönanalyysin toteuttamista Timo Laineen esittämän laadullisen tutkimuksen analyysin rungon mukaisesti: ensin tehdään päätös siitä mitä tutkitaan, sitten kerätään päätöksen mukaiset asiat aineistosta, luokitellaan saatu aineisto ja lopuksi kirjoitetaan yhteenveto. Keräämisestä käytetään metodikirjallisuudessa nimitystä aineiston litterointi tai koodaaminen. Pelkkää aineiston luokittelua ei ole mielekästä esittää ilman raportoitua yhteenvetoa. Luokittelua pidetään sisällön teemoin toteutettuna kvantitatiivisena analyysinä ja yksinkertaisimpana aineiston järjestämisen muotona. Luokiteltu aineisto voidaan esittää taulukkona ja aineiston luokittelusta voidaan 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. Tässä osiossa ei käsitellä teorialähtöistä analyysiä, koska se ei ole relevantti tälle opinnäytetyölle. 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 asettelu ei ole aineistolähtöisyydestä johtuen mahdollista, samoin kuin ei voida etukäteen määritellä 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 objektiivisia, “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 (redusointi). 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)

## Aineisto ja tutkimusmenetelmät

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

### Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksen aineiston keruumenetelmiä oli useita. Kirjallisuuskatsauksen tekemistä edelsi tutkittavaan ilmiöön tutustuminen alustavien aineistohakujen avulla, keräämällä mahdollisten tiedonantajien kontakteja, käyden asiantuntijakeskusteluja, vierailemalla alan tapahtumissa ja haastatteluja tehden. Kirjallisuuskatsauksen aluksi haettiin IoT:tä yleistasolla ja ilmiönä käsittelevää kirjallisuutta. Seuraavaksi haettiin kasvintuotannon ja maatalouden IoT-sovelluksia käsitteleviä kirjallisuuskatsauksia. Valittujen kirjallisuuskatsausten pohjalta muotoiltiin hakumenetelmät ja valittiin osa lähteistä. Hakujen tuloksista on valittu tekijän harkinnan mukaan tutkittavaa ilmiötä parhaiten kuvaavat ja työhön sopivat lähteet.

Tutkimuksen alustavassa vaiheessa ilmiöön tutustuttaessa tehtiin useita hakuja aiheeseen liittyvillä asiasanoilla, selattiin erilaisten organisaatioiden ja julkaisujen verkkosivuja, haettiin asiantuntijakontakteja eri tapahtumista jne. Löydöt merkittiin muistiin mahdollista myöhempää käyttöä varten. Alustavassa vaiheessa löydettyjä aineistoja on käytetty myös kirjallisuuskatsausksessa jos ne ovat tekijän harkinnan mukaan olleet tähdellisiä aiheen käsittelylle ja ymmärryksen luomiselle.

#### Kuvailevan kirjallisuuskatsausksen toteutus

Alustavien hakujen avulla löydetyistä julkaisuista valittiin harkinnanvaraisesti joukko keskeisimpiä asiasanoja. Nämä asiasanat yhdistettiin löydettyjen kirjallisuuskatsausten hakulauseissa käytettyihin tutkimusaiheelle keskeisiin asiasanoihin. Tutkimus- ja hakumenetelmien malleina käytettiin löydettyjen keskeisten kirjallisuuskatsausten menetelmiä. Kirjallisuuskatsausten ja alustavien hakujen tulosten perusteella vuosi 2010 asetettiin aikaisimmaksi julkaisuvuodeksi, koska sitä ennen aiheesta julkaistua kirjallisuutta on löytynyt verrattaen vähän ja nopean teknologiakehityksen myötä aikaisemmat julkaisut ovat todennäköisesti vanhentuneet.

Eri tietokantoihin tehdyissä hauissa käytettiin kunkin kannan hakutoimintoihin sovellettuja hakulauseita. Usein tämä tarkoitti hakulauseiden lyhentämistä tietokantojen hakutoimintojen sallimiin hakusanamääriin sopiviksi. Hakujen tuloksena saatiin joukko erilaisia julkaisuja, joiden joukosta valittiin aihetta käsittelevät kirjallisuuskatsaukset. Samoin kuin alustavien hakujen vaiheessa, kirjallisuuskatsauksista käytiin läpi tuloksien lisäksi tutkimusmenetelmät. Näitä menetelmiä käytettiin hyväksi soveltuvin osin seuraavissa aineistohaun vaiheissa. Tällä pyrittiin varmistamaan, että katsauksissa selkeästi havaitut asiakokonaisuudet tulevat huomioiduksi, hakumenetelmät ja asiasanat ovat laadukkaita sekä tutkittavalle ilmiölle sopivia.

##### Kirjallisuuskatsauksen aineistojen haku

Alustavia aineistohakuja tehtiin hakukoneista 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 tehtiin 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).

Varsinaiseen hakuun valittiin Haaga-Helian kirjaston tarjoamista tietokannoista ne, joista voitiin olettaa löytyvän IT-alan julkaisuja, koska tutkittava ilmiötä lähestytään tietotekniikan näkökulmasta ja maatalouden alakohtaisia tietokantoja ei ollut käytettävissä:

* 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 (https://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 käytettiin Google Scholar -hakukonetta (https://scholar.google.fi) ja ResearchGate-tutkimusportaalia (https://www.researchgate.:net).

Hakulauseet muodostettiin kahdesta hakusanojen ryhmästä, joista ensimmäiseen valittiin IoT:lle keskeiset asiasanat ja toiseen ryhmään valittiin kasvintuotannolle ja maataloudelle keskeiset asiasanat. Ryhmien välillä käytettiin AND-operaattoria ja ryhmien sisällä käytettiin hakusanojen välillä OR-operaattoria. Julkaisuaika rajattiin vuoden 2010 aikana ja sen jälkeen julkaistuihin hakutuloksiin.

Hakulauseita muokattiin kunkin tietokannan hakutoimintojen mahdollisuuksien puitteissa. Useiden tietokantojen hakutoiminnot rajoittivat hakulauseissa käytettävien hakusanojen määrää (ks. edellä kohta Kuvailevan kirjallisuuskatsausksen toteutus). Tällöin maataloutta kuvaavan toisen hakusanaryhmän hakusanoista (ks. alla kohta Asiasanojen valintaperusteet) jätettiin harkinnanvaraisesti pois vähemmän merkittäviä hakusanoja ja/tai hakulause jaettiin useampaan hakuun. Erilaisten hakulauseiden antamia hakutuloksia vertailtiin keskenään, jonka jälkeen tarvittaessa muotoiltiin käytettävälle tietokannalle parhaiten tuloksia antava hakulause. Tietokantahakujen lisäksi aineistoa kerättiin tietokantojen suosittelemien julkaisujen joukosta. Esimerkiksi ResearchGaten Suggested for you sekä IEEE Xploren Related Articles -toiminnot ehdottivat useita lähteiksi valittuja julkaisuja.

###### Asiasanojen valintaperusteet

Alustavissa aineistohauissa löydettyjen aineistojen asiasanojen sekä löydettyjen kirjallisuuskatsausten käyttämien hakusanojen joukosta koottiin tutkittavalle ilmiölle keskeisimmät hakusanat. Hakusanojen valinnassa käytettiin vain englanninkielisiä sanoja, koska suomenkielisten aineistojen arveltiin käyttävän sekä suomen- että englanninkielisiä asiasanoja ja löytyvän englanninkielisten hakusanojen avulla. Asiasanat, jotka eivät selkeästi liittyneet kasvintuotannon IoT:n tutkimukseen ja teknologiaratkaisuihin jätettiin pois. Asiasanoista muodostettiin hakulause, jonka hakusanat on jaettu kahteen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään valittiin asiasanat “IoT” ja “Internet of Things”. Toiseksi ryhmäksi valittiin Taulukko 1:ssä luetellut asiasanat.

Taulukko 1. Toiseen asiasanaryhmään valitut asiasanat.

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

### Asiantuntijoiden teemahaastattelut

Kokonaisuutena teemahaastatteluissa pyrittiin tuomaan esille AIoT:n erilaisia ilmentymiä mahdollisimman laaja-alaisesti. Yksittäisissä teemahaastatteluissa pyrittiin syventymään kunkin haastateltavan asiantuntijan erikoisalaan ja kokemuksiin. Tämän takia teemahaastattelujen kysymykset pidettiin avoimina ja kutakin teemaa käsiteltiin haastateltavan asiantuntemuksen mukaan.

Teemahaastattelu sopii tekijän arvion mukaan 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. Kuvaillun kaltainen joustavuus mahdollisti tässä tapauksessa teemojen ja haastattelukysymysten harkinnanvaraisen täsmentämisen aikaisemmista haastatteluista saatujen kokemusten perusteella. Laadullisen tutkimuksen ominaispiirteenä onkin 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 päädyttiin tekemään vain yksi haastattelukierros. Haastatteluista saatujen tietojen luotettavuutta pyrittiin parantamaan hyväksyttämällä haastatteluista tehdyt johtopäätökset muistiinpanoineen haastateltavalla.

#### Haastateltavien valinta

Haastateltavien määrää rajoitti käytettävät resurssit ja aika. Opinnäytetyön laajuuden ollessa rajattu, päädyttiin viiteen haastateltavaan mikä on tekijän arvion mukaan ilmiön monitahoisuuden huomioon ottaen pieni määrä. Toisaalta Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 59) mukaan voidaan laadullisessa tutkimuksessa jo muutaman haastateltavan avulla saada merkittävää tietoa. Haastateltavien valinnassa edettiin aluksi keräämällä kontakteja ja keskustelemalla asiantuntijoiden kanssa erilaisissa tapahtumissa. Samalla pyrittiin keskusteluissa myös Hirsjärvi & Hurme (2015, s. 59) sekä Tuomi & Sarajärvi (2018, s. 99) kuvailevan lumipallomenetelmän omaisesti hankkimaan uusia kontakteja.

Haastateltaviksi valittiin AIoT:hen perehtyneitä asiantuntijoita, jotka tulivat esille aiheeseen liittyvistä julkaisuista, tavattiin tapahtumissa tai joita muut asiantuntijat suosittelivat haastateltaviksi. Haastattelujen toteutumiseen ja tätä kautta haastateltavien valikoitumiseen vaikutti myös suurelta osin haastateltavien lähestyttävyys. Useita lupaavia kontakteja ei saatu haastateltaviksi alustavien keskustelujen jälkeen ja useilta kontakteilta ei saatu 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 suurelta osin opinnäytetyön laajuuden rajallisuuden vuoksi ja nämä haastattelut jätetään jatkotutkimuksen aiheeksi.

#### Teemahaastatteluiden toteutus

Haastattelujen teemat laadittiin alustavilla hauilla kerätyn aineiston ja alustavien keskustelujen perusteella. Poiketen yleisistä teemahaastattelujen menetelmäohjeista haastatteluiden teemoja voitiin muutettaa tarvittaessa ennen haastatteluja harkinnanvaraisesti, mutta pitäen huolta kaikkien teemojen käsittelystä kaikissa haastatteluissa. Perusteena tälle on se, että tämän työn asiantuntijahaastatteluissa ei ollut tarpeellista tutkia haastateltavien reaktioita tietyssä järjestyksessä esille otettuihin teemoihin. Tarvittaessa teemojen hienosäätöä tehtiin kunkin haastateltavan asiantuntijan erikoistumisen mukaan, ottaen huomioon aikaisemmista haastatteluista saadut kokemukset ja taustatyöstä saadut tiedot. Haastattelun teemoja järjesteltiin uudelleen myös haastattelutilanteen niin vaatiessa, myötäillen haastattelun kulkua mutta varmistamalla kaikkien suunniteltujen teemojen käsittelyn.

Haastattelut toteutettiin 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. Kaikki haastattelut äänitettiin haastateltavien suostumuksella ja äänitteistä kirjoitettiin litteroinnit. Haastattelujen litteroinnissa käytettiin yleiskielistä litterointia. Yleiskielistä litterointia tarkempaa sanatarkkaa litterointia käytettiin tarvittaessa, jos yleiskielisen litteroinnin arvioitiin mahdollisesti muuttavan haastateltavan sanojen tarkoitusta.

#### Haastatteluaineiston analyysimenetelmä

Koska opinnäytetyön tutkimusongelma on laadullinen haastatteluaineiston analyysimenetelmäksi valittiin sisällönanalyysi. Sisällönanalyysillä pyritään 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.

##### Sisällönanalyysi

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

Tutkittaessa eri menetelmiä haastatteluaineiston havainnollistamiseen ja tiivistämiseen tutustuttiin pintapuolisesti ensin affiniteettianalyysiin, sisällönanalyysiin, aineistolähtöiseen teoriaan (engl. grounded theory, ankkuroitu teoria), sisällön teemoitteluun ja taulukointiin. Käytännön kokeilujen kautta päädyttiin sisällönanalyysiä soveltavaan menetelmään, jossa käytetään taulukointia, havaintojen ja sanamäärien analysointia sekä jatkuvaa aineiston vertailun menetelmää. Havainnollistamiseen käytetään kaavioita ja lämpökarttoja, jotka perustuvat haastatteluaineistosta löydettyjen ilmaisujen esiintymien lukumääriin ja niiden keskinäisiin suhteisiin.

Käytetyn menetelmän avulla pyritäänn tiivistämään aineistosta havaitut merkitykselliset ilmaisut, asiasanat ja asiasisällöt asiakokonaisuuksiksi, joiden yhteneväisyyksiä, eroja ja esiintymiä voidaan tarkastella ja analysoida. Analyysillä pyritään sekä trianguloimaan haastatteluista tehtyjä johtopäätöksiä että hakemaan uusia näkökulmia haastatteluaineistoon. Triangulaation luotettavuutta ja uusien näkökulmien havainnointia pyrittiin edistämään soveltamalla aineistolähtöistä (engl. Groud up) kategorioiden kehittelyä, jossa aikaisempien tietojen vaikutus tutkittavasta ilmiöstä pyrittiin minimoimaan. Tämän takia tuloksena saadut kategoriat eivät vastaa muissa aihetta 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 havaittiin 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 otettava huomioon koko tutkimusprosessin olevan yhden ensimmäistä kertaa asialla olevan tekijän tuotos. Tämä voi ilmetä työn kaikissa vaiheissa muun muassa yksipuolisuutena ja taipumuksena ennakko-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. Tämä laskumalli jätettiin pois toteutuksesta opinnäytetyön laajuuden rajallisuuden vuoksi ja jätetään mahdollisen jatkoanalyysin aiheeksi.

###### Sisällönanalyysin kulku

Sisällönanalyysi eteni aineiston koodauksen ja kategorisoinnin kautta taulukointiin, josta edettiin analyysiin ja jonka perusteella tehtiin johtopäätökset (ks. Tuomi & Sarajärvi 2018, s. 104 - 107)). Sisällönanalyysi toteutettiin lukemalla haastatteluaineisto huolellisesti, merkitsemällä taulukkoon havaitut merkitykselliset ilmaisut koodeina, kategorisoimalla koodit ja analysoimalla saatuja tuloksia. Saatuja tuloksia käytettiin haastatteluaineistosta tehtyjen aikaisempien havaintojen ja päätelmien tarkistamisessa sekä uusien asiayhteyksien etsimisessä.

Analyysillä pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin havainnoimalla tutkimuskysymyksille relevanttien teemojen ilmetymiä koodeissa, kategorioiden sisällä ja sisällön rakenteessa. Haastattelujen sisällön rakennetta analysoidaan havainnoimalla koodien ja kategorioiden esiintymistä ja keskinäisiä jakautumia laatimalla kaavioita taulukoiduista ja uudelleenjärjestellyistä havainnoista. Analyysin johtopäätöksiä tehdään – ottaen huomioon koodien havainnoinnin epävarmuustekijät – kaavioista havaituista trendeistä sekä kategorioiden ja koodien keskinäisestä jakautumisesta. Samoin kuin haastattelujen välisiä yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia, myös tutkimusaiheen kokonaiskuvaa pyritään hahmottamaan sisällönanalyysin avulla. Haastatteluaineistossa käsitellyistä teemoista pyritään muodostamaan koodien havaintoja tarkistelemalla yleiskuva sekä kaikissa haastatteluissa käsitellyistä että kullekin haastattelulle ominaisista teemoista.

###### Haastatteluaineiston koodaus ja koodien kategorisointi

Haastattelujen litteroinneista kirjoitettujen yleiskielisten tekstien segmentit numeroitiin haastattelun numeron ja juoksevan numeroinnin yhdistelmällä. Numeroinnin jälkeen aineistot luettiin huolellisesti ja koodit muodostettiin etsimällä aineistosta merkitykselliset ilmaisut. Ilmaisut pelkistettiin eli koodattiin, koodit taulukoitiin ja koodeille merkittiin ilmaisujen esiintymiskohta segmentin numerolla. Segmentissä havaittavien koodien määrälle ei asetettu 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 havainoille ei merkitty painotuksia. Tämä on pyritty ottamaan huomioon koodien ja kategorioiden laadinnassa, mutta tuloksia ei voi loppujen lopuksi pitää kovin eksakteina vaan enemmänkin suuntaa antavina ja tulkinnanvaraisina. Tämän takia havaintoja pyritään käsittelemään suuntauksia ja trendejä peilaavina.

Osa koodeista oli yleisiä, osa taas samaa asiasisältöä tietystä näkökulmasta tai kontekstissa käsitteleviä. Samasta segmentistä voitiin tehdä havaintoja sekä tiettyä asiasisältöä käsittelevälle yleisluontoiselle koodille että samaa asiasisältöä tarkemmin rajatusti käsittelevälle koodille. Työn edetessä koodeja muokattiin jatkuvan vertailun metodin mukaisesti: koodeja vertailtiin keskenään, haastatteluaineistoa luettiin uudestaan eri näkökulmista ja koodeja muokattiin jatkuvasti tarkoituksenmukaisemmiksi. Ensimmäisen läpikäynnin tuloksena saatiin 159 koodia ja toisella läpikäynnillä koodien määrä nousi 180:een. Toisen läpikäynnin aikana ja sen jälkeen koodeja luokiteltiin ensin alikategorioihin ja myöhemmin kategorioihin. Samoin kuin ensimmäisellä läpikäynnillä koodeja, alikategorioita ja kategorioita vertailtiin ja muokattiin jatkuvasti. Jatkuvalla vertailulla pyrittiin myös varmistamaan sekä teemojen oikeellisuus että havaintojen esiintymisten kirjaus. Tuloksena kategorioiksi muodostuivat Maataloustuotanto, Tekniikka ja Toimintaympäristö. Näiden alla on 33 alikategoriaa, joihin koodit on luokiteltu.

###### Haastatteluaineiston koodien taulukointi

Kategoriat, alikategoriat ja koodit havaintoineen taulukoitiin. Taulukossa koodien esiintymät laskettiin yhteen koodikohtaisesti, jonka jälkeen laskettiin koodikohtaiset esiintymät haastattelukohtaisesti. Saaduista luvuista tuotettiin taulukkoon solujen arvojen mukaan värittämällä yksinkertainen visualisaatio, josta voidaan tarkastella koodien havaintojen määriä sekä haastattelukohtaisesti että koko materiaalissa yhdessä.

Kopioimalla haastattelu- ja kategoriakohtaiset tiedot omiksi taulukoikseen pystyttiin järjestelemällä ja kaavioita laatimalla tarkastella tehtyjä havaintoja eri konteksteissa, esimerkiksi yhden haastattelun tai kategorian sisällä. Vertailun helpottamiseksi haastattelukohtaiset taulukot koottiin omaan kokoavaan taulukkoonsa, johon lisättiin kaikkien havaintojen yhteenlasketut tiedot koko haastatteluaineistosta. Taulukkoon tehtiin tietojen havainnollistamiseksi kaaviot havaintojen määristä. Kaavioiden muotoja vertailemalla voidaan tarkastella miten eri koodien tai kategorioiden havainnot jakautuvat eri haastatteluissa ja kategorioissa, esimerkiksi keskityttiinkö haastattelussa muutamaan keskeiseen aiheeseen vai käsiteltiinkö useita erilaisia asiakokonaisuuksia. Lisäksi koodien alikategoriakohtaisia määriä vertailtiin keskenään omassa taulukossaan.

Haastattelujen keskinäisiä yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia pyritään tuomaan esille taulukoimalla sekä haastattelukohtaisesti että koko aineistossa usein havaitut koodit. Tämä tehtiin kopioimalla omaan taulukkoonsa useammin kuin kerran yksittäisestä haastattelusta ja useammin kuin viidesti koko haastatteluaineistosta havaitut koodit. Haastattelukohtaisia koodien ryhmiä vertailtiin sekä keskenään että koko haastatteluaineistosta yli viidesti havaittujen koodien ryhmään. Haastattelukohtaisiin koodiryhmiin otettiin mukaan useammin kuin kerran havaitut koodit, koska haluttiin varmistaa koodien merkitsevyys vertailtaessa haastatteluja keskenään. Vastaavasti useammin kuin viidesti koko haastatteluaineistosta havaittujen koodien arveltiin olevan tarpeeksi usein ilmeneviä, jotta ne ovat relevantteja kokonaisuuden kannalta ja vertailukelpoisia haastattelukohtaisten koodien kanssa. Taulukossa merkittiin haastattelukohtaiset koodit, jotka ilmenivät ainakin kerran myös joko muissa haastattelukohtaisissa koodiryhmissä tai koko haastatteluaineiston koodiryhmässä. Tällöin saatiin esille kullekin haastattelulle yksilölliset koodit, joista oli tehty kyseisessä haastattelussa ainakin kaksi havaintoa ja joita ei havaittu muissa haastatteluissa useammin kuin kerran. Lisäksi taulukossa laskettiin kuinka moni koko haastatteluaineiston koodiryhmän koodeista löytyi kustakin haastattelukohtaisesta koodiryhmästä. Saaduista luvuista laskettiin, kuinka suuri osa haastattelukohtaisista koodiryhmistä löytyy koko haastatteluaineiston koodiryhmästä.

Kategorioiden, koodien ja niiden havaintojen määrien havainnollistamiseksi koostettiin taulukko haastattelukohtaisista koodien havainnoista. Näistä havainnoista tehtiin kaaviot, joista nähdään kategorioiden jakautuminen haastatteluissa sekä koodien määrien että koodien havaintomäärien mukaan, niiden jakautuminen haastatteluihin ja eriteltynä kategorioittain. 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.

Koodien havaintojen keskinäisiä yhteneväisyyksiä ja niiden kautta teemojen esiintymisten samankaltaisuuksia kartoitettiin lämpökartalla, johon koodit järjestettiin samankaltaisuuden perusteella R heatmap.2 -funktion avulla (ks. liite R heatmap.2). 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 yhdesti, haastattelussa 3 kahdesti ja lopuissa haastatteluissa ei ollenkaan.

Lopuksi haastatteluaineiston sanamäärät laskettiin analysaattoriohjelmalla ja taulukoitiin omaan taulukkoonsa. Analysaattoriin syötettiin haastattelujen litteroinneista koottu versio, joka sisälsi vain haastateltavien itse sanomat sanat. Litteroinneissa olevan haastateltavien kielen arvioitiin olevan keskenään tarpeeksi samankaltaista, että kielen normalisointia yleiskielelle ei tässä tapauksessa tehty. Useammin kuin kerran löytyneistä sanoista (1920 sanaa) valittiin haastattelujen aikaisempien käsittelyvaiheiden tuoman kokemuksen perusteella harkinnanvaraisesti merkitsevät sanat, joiden sanarungolla ja/tai alkukirjaimilla haettiin kaikkien sanojen joukosta (6011 sanaa) sanan eri taivutusmuodot, lyhennelmät ja virheellisesti kirjoitetut esiintymät. Sanojen havaitut synonyymit ja selkeästi haastatteluissa samaa tarkoittavien sanojen esiintymät laskettiin yhteen. Esimerkiksi sanat täsmäviljely, täsmäviljejyn, täsmäviljelyä, täsmäviljelydata, täsmäviljelykin, täsmäviljelykonferinssissa, täsmäviljelylaitteistolle, täsmäviljelylaitteita, täsmäviljelyllä, täsmäviljelyn, täsmäviljelyssä, täsmäviljelystä, täsmäviljelyteknologiaa, täsmäviljelyteknologiasta, täsmäviljelytietoa ja täsmäviljelyyn laskettiin yhteen, jolloin saatiin asiasanalle “täsmäviljely” yhteensä 27 esiintymää. Tuloksena saatiin 118 asiasanaa, joiden esiintymät taulukoitiin, järjestettiin ja joiden esiintymien määristä laadittiin kaavio. Taulukon ja kaavion avulla voidaan arvioida haastatteluaineiston keskeisimpien teemojen yleisyyttä.

###### Haastatteluaineiston analysointi taulukoitujen tietojen avulla

Haastatteluaineistosta havaittujen koodien määrien perusteella analysoitiin miten eri kategoriat jakautuvat eri haastatteluissa sekä havaintojen määrän että kategorioiden ja alikategorioiden mukaan. Myös koodien määrät kategorioissa ja alikategorioissa taulukoitiin ja määriä vertailtiin keskenään.

Koodien havaintojen määristä laadittiin 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.

Haastattelujen sisällön rakenteen havainnollistamiseksi kussakin haastattelussa havaitut koodit haastattelukohtaisine havaintomäärineen taulukoitiin yhteen ja laadittiin kaaviot, joista voidaan havainnoida kategorioiden ja koodien jakautumista haastattelukohtaisesti ja verrata niitä toisiin haastatteluihin ja kategorioihin.

Koodien keskinäisiä yhteneväisyyksiä pyrittiin analysoimaan lämpökartan avulla havainnoimalla samankaltaisella tavalla esiintyviä koodiryhmiä (ks. liite R heatmap.2). Koska koodit ja niiden havainnot perustuvat vain haastattelukohtaisten havaintojen kokonaismääriin ja yhden tekijän havainnointiin, analyysissä ei voida luottaa kahden lämpökartalla samalla tavalla esiintyvän koodin tai koodiryhmän asiasisältöjen liittyvän toisiinsa. Lämpökartalla samankaltaisesti esiintyvien koodien ryhmistä voidaan vain havainnoida 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 määristä kategorioittain ja alikategorioittain ryhmiteltyinä voidaan tehdä tulkintoja ryhmittelyjen 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 taulukoitiin 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.

Koodien, alikategorioiden ja kategorioiden mukaan tehtyjä havaintoja vertailtiin myös koko haastatteluaineistossa esiintyviin asiasanoihin. Asiasanojen määrien perusteella järjesteltyä asiasanalistaa voidaan vertailla yleisimpiin koodeihin ja tarkistella ovatko molemmilla metodeilla tehdyt havainnot samansuuntaisia vai löytyykö niiden väliltä selkeitä eroja.

###### Haastatteluaineistosta johtopäätösten vetäminen analyysin perusteella

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

Kategorioissa ja alikategorioissa esiintyvien koodien määristä puolestaan voidaan päätellä kuinka monipuolisia asiakokonaisuuksia kategoriat ja alikategoriat pitävät sisällään. Kategorioiden ja alikategorioiden yleisimmät koodit kerättiin loogisiksi teemojen ryhmiksi, joista kirjoitettiin kuvaukset haastatteluaineiston keskeisistä teemoista.

Ryhmien yleisimpien koodien samankaltaisuutta muihin koodeihin verrattuna tarkasteltiin myös laaditun lämpökartan ja dendogrammin avulla (ks. liite R heatmap.2). 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 toisiinta vaan esiintyvät samoissa haastatteluissa yhtä monesti. Lämpökartalla samankaltaisista teemoista on valittu tutkimustuloksissa tarkasteltavaksi sellaiset, joilla on looginen yhteys toisiinsa haastatteluaineistossa ja joista on useita havaintoja.

# 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.

## Kirjallisuuskatsauksen tulokset

Tässä osiossa käsitellään kirjallisuuskatsauksen tulokset jaoteltuina seuraavasti: yleinen kuvailu, AIoT-ratkaisuissa käytettävät teknologiat, AIoT-ratkaisujen sovellusalueet, AIoT:n avoimet haasteet ja aineistossa esitetyt AIoT-arkkitehtuurit.

### Yleinen kuvailu

**Uudet liiketoimintamallit** mahdollistuvat IoT-teknologioiden käyttöönoton myötä. Kokonaisuudessaan maatalouden voidaan odottaa muuttuvan IoT-teknologioiden vaikutuksesta huomattavasti. Maatilojen ja ruokatuotannon yritysten yleisen kehityksen suunta on kohti laajamittaista, teollista ja teknologiaintensiivistä tuotantoa. Samaan aikaan uudet IoT-teknologiat mahdollistavat uusia liiketoimintamalleja. Monet kasvuyritykset pyrkivät toteuttamaan ruokatuotannossa aikaisempaa lyhyempää tuotantoketjua, joskus poistaen kokonaisia osia yleisestä ruoan tuotantoketjusta. Näille uusille liiketoimintamalleille tiedon tuotanto ja toimittaminen on enemmän ennakkoehto kuin toiminnan sivutuote. Samalla liiketoimintakumppaneiden välinen toiminta on muuttumassa entistä dynaamisemmaksi sekä kilpailu korkealuokkaisista ja suuren marginaalin tuotteista on muodostumassa yleisemmäksi. IoT-teknologioiden mahdollistamat dataperustaiset hallintokäytänteet 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 kestävyydessä. (Sundmaeker, Verdouw, Wolfert & Pérez-Freire 2016; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

**Täsmäviljelystä smart farming**:iin siirtyminen voi saada huomattavaa 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 määränsäätöautomatiikan (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 pullonkauloja käyttöönotolle ovat tiedon ja järjestelmien integraation puute, vaikeakäyttöisyys ja korkea hinta. (Kihlström & Taivalmaa 2014; Sundmaeker et al. 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 viljelyprosessien kontrolloinnissa robottien osuus voi muodostua huomattavaksi, minkä lisäksi analytiikan ja suunnittelun automaatiolla voidaan ihmisen työpanos keskittää aikaisempaa huomattavasti korkeammalle johtamisen tasolle. (Sundmaeker et al. 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-teknologioiden 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 ottaen huomioon ruokatuotteiden käytännön käsittelyn erilaisissa pakkauksissa, laatikoissa, kuormalavoilla ja lähetyksissä se ei ole todellisuudessa kannattavaa. IoT-teknologiat mahdollistavat edistyksellisiä ratkaisuita lähetysten ja tuotteiden seurannassa ja jäljittämisessä aina tuotannosta kuluttajalle asti. Siinä missä tuotantoketjun toimijat ovat aikaisemmin toteuttaneet tuotantonsa tarkkailua paikallisesti, voivat he IoT-ratkaisuiden avulla ja virtuaalisiin esineisiin perustuen tarkkailla, kontrolloida, suunnitella ja tehostaa liiketoimintaprosessejaan etäisesti ja tosiaikaisesti internetin ylitse. Ruokatuotteiden jäljitettävyys on usein lakisääteisesti toteutettua, konventionaalisilla järjestelmillä toteutettua ja yksittäisen yrityksen toimintaan keskittyvää toimintaa. Jäljitettävyystietoja käsittelevät järjestelmät ovat usein suljettuja, eivätkä palvele avoimesti ja yhteisesti useita liiketoimintakumppaneita jotka dynaamisesti muuttavat liiketoimintaprosessejaan ja -kumppanuuksiaan tilanteiden muuttuessa. (Sundmaeker et al. 2016)

Anturiteknologioita 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 tietoja tarkastellaan vasta jälkikäteen kun laatupoikkeama on havaittu. Langattomien tietoliikennetekniikoiden käyttöönotto näissä sovelluksissa on vasta alkuvaiheessa. Langattomasti toimivien anturilaitteiden hintojen kohtuullistaminen on keskeinen tekijä laajan käyttöönoton saavuttamiseksi. Useat lupaavat anturiteknologiat ovat samoin kehityskaarensa alkuvaiheessa, jonka takia tuotteiden mikrobiologista laatua voidaan tarkkailla vain laboratorioissa. Tällöin laaduntarkkailun mikrobiologinen tieto ei ole kovin ajantasaista. Useissa ruoan laaduntarkkailun ratkaisuissa on sovellettu anturilaitteiden lisäksi ennustavaa analyysiä sekä säilyvyysajan määrittelemiseksi että aktiivisesti kypsymisprosesseihin vaikuttamiseksi. (Sundmaeker et al. 2016)

**Älykäs ruoan prosessointi ja valmistus** mahdollistaa tuotannossa aikaisempaa hajautetumman hallintamallin. Tällä hetkellä ruoan prosessoinnin laitokset ovat vielä usein keskitetysti kontrolloituja. IoT-ratkaisujen soveltaminen ruokatuotannon tehtaissa tulee perustumaan hajautetumpaan hallintamalliin, jossa koneet muuttuvat järjestelmiksi joilla on omaa tiedonkäsittelykapasiteettia ja lisättyä älykkyyttä ja jotka kommunikoivat suoraan toisten koneiden kanssa. Tälläisissa 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 et al. 2016)

**Älykäs ruokatietoisuus** kuluttajien keskuudessa voi kasvaa huomattavasti tuotantoketjun tietojen tuomisella koko ketjun saataville. Kuluttajien luottamus ruoan turvallisuuteen, ruokatuotantoon, 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 vaihdon ja yhteiskäytettävyyden ollessa rajattuja. (Sundmaeker et al. 2016)

**Tulevaisuudenkuvia ja mahdollisuuksia** visioidessa huomataan, että todellisuudessa ruoan tuotannon IoT-sovellukset ja teknologiat ovat vielä pirstaleisia eikä niillä ole saumatonta integraatiota. Erityisesti edistyksellisemmät ratkaisut ovat kokeellisessa kehitysvaiheessa. 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 et al. 2016)

* IoT-ratkaisuiden integraation varmistaminen avoimien arkkitehtuurien, alustojen ja standardien avulla;
* Keskenään yhteistoimintakykyisten IoT-ratkaisuiden käytön skaalaus aikaisten omaksujien joukon ulkopuolelle, mukaan lukien nykyisten ratkaisujen 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 sovellusalueiden kehittymiseen huomattavalla tavalla. **Täsmäviljely** voi kehittyä **smart farming**:iksi, jossa maatilasta muodostuu älykäs yhteistoimintakykyisten laitteiden verkko. Keskeinen edistysaskel tulee olemaan havainnoinnin ja tarkkailun, älykkään analytiikan ja suunnittelun sekä viljelyprosessien älykkään kontrolloinnin saumaton integraatio kaikissa keskeisissä prosesseissa. **Seuranta ja jäljittäminen** voivat kehittyä kokonaisvaltaiseksi tuotantoketjun läpinäkyvyydeksi aina yksittäisten tuotteiden tasolle asti. Jäljitettävyyden toiminnot voivat edelleen integroitua älykkäiden seurantajärjestelmien kanssa lisäten dataa tuotteiden ominaisuuksista, tuotantotavoista ja tuotannon olosuhteista. **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 yhteenliitettyinä 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 kuluttajakeskeiseksi kokonaisuudeksi, jossa erilaiset sovellukset ja järjestelmät voivat yhdistää ruokakeskeistä tietoa eri sidosryhmiltä personoitujen ruokasuositusten tuottamiseksi. (Sundmaeker et al. 2016)

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

* **Datavetoinen viljely**: IoT-ratkaisut mahdollistavat viljelijöiden siirtymisen näppituntumalla viljelystä mitattuun digitaaliseen tietoon perustuvaan viljelyn hallintaan. Tämä on keskeistä jatkuvasti vaativammaksi muuttuvassa liiketoimintaympäristössä selviytymiselle. IoT-ratkaisuiden havainto- ja kytkettävyysteknologiat mahdollistavat oikea-aikaisen ja tarkan operatiivisen datan virran päätöksentekojärjestelmille.
* **Kiertotalous**: IoT-ratkaisut mahdollistavat aikaisempaa sujuvamman resurssien hallinnan ja jakamisen tuotantoketjussa, lujittaen toimijoiden yhteistoimintaa. Eri teollisuudenalat 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.
* **Itsenäiset maatilan toiminnot**: IoT-ratkaisut mahdollistavat kytkettävyyden parantamisen ja älykkyyden lisäyksen maatalousautomaatiossa. Tämä mahdollistaa maatalouden koneiden muuttumisen autonomisiksi ja itsemukautuviksi järjestelmiksi, jotka voivat toimia, tehdä itsenäisiä päätöksiä ja oppia ilman paikan päällä tai etänä tapahtuvaa ihmisen tekemää ohjausta. Tälläisiä järjestelmiä ovat esimerkiksi kitkentärobotit ja itseohjaavat 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 suoraan 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 maatilojen tuotantoprosessien havainnoinin ja kontrolloinnin mahdollisuuksia. Tämä mahdollistaa maanviljelyn yhä suuremman siirtymisen pelkkien tuotteiden ja palveluiden myynnistä asiakkaille merkityksellisten ja mitattavien tulosten tuottamiseen, kuten sadon, säästetyn energian tai koneiden käytettävyysajan (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.
* **Notkeat ruokatehtaat**: IoT-ratkaisut mahdollistavat hajautetun ja joustavan ruoan prosessoinnin ruokaa havainnoivien antureiden, paikallisen tietojenkäsittelyn ja tiedonhankinnan sekä kytkettävyyden lisäämisellä ruoan prosessoinnin laitteisiin.
* **Virtuaaliset ruoan tuotantoketjut**: IoT-ratkaisut mahdollistavat ruoan tuotantoprosessien hallinnoinnin virtualisoinnin, mikä puolestaan mahdollistaa edistyneen etänä tehtävän suunnittelun, uudelleensuunnitelun, tarkkailun ja kontrolloinnin sekä uudet liiketoimintamallit.

### AIoT:n teknologiat

Keskeisimpiä IoT:n mahdollistavia teknologioita ovat Atzori, Iera & Morabito (2010, s. 2010) mukaan tunnistus-, anturointi- ja tietoliikennetekniikat sekä väliohjelmistot. IoT-konsepti voidaan lähtökohtaisesti toteuttaa näiden teknologioiden integroinnilla. Tämä on selkeästi havaittavissa useissa esitetyissä AIoT-arkkitehtuureissa (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; ks. Talavera et al. 2017; Tzounis, Katsoulas, Bartzanas & Kittas 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016; Vermesan & Friess 2011). Tunnistustekniikoista keskeinen osa IoT:n 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:n mahdollistava teknologia. Anturiverkot mahdollistavat ympäristön tai laitteiden monitoroinnin tietoliikennetoiminnoilla varustetuilla anturilaitteilla. Tämä puolestaan mahdollistaa anturidatan siirtämisen digitaalisena tietona verkon yli tietovarastoon analysoitavaksi. Toimilaiteverkoilla puolestaan voidaan käyttää verkkoon kytkettyjä toimilaitteita usein analytiikan perusteella ympäristöön vaikuttamiseksi. Useat tutkimukset Atzori, Iera & Morabito (2010, s. 2010) kirjallisuuskatsauksessa keskittyvät 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 johtanut kehitystä IoT-konseptin suuntaan. (Atzori, Iera & Morabito 2010) Aineistossa keskeisissä kirjallisuuskatsauksissa suuri osa käsitellyistä julkaisuista keskittyy ympäristömuuttujien kuten lämpötilan, kosteuden, fysikokemiallisten ominaisuuksien ja säteilyn mittaamiseen ja seurantaan (Atzori, Iera & Morabito 2010; Talavera et al. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016). Talavera et al. (2017, s. 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 et al. (2017, s. 2017) mukaan tämän perusteella ilman lämpötilaa, ilmankosteutta, maaperän kosteutta ja auringonsäteilyä voidaan pitää universaaleina muuttujina maatalouden sovelluksissa. Lisäksi viimeaikaisissa julkaisuissa ympäristön valvonta- ja mittausratkaisuihin on lisätty päätöksentekoa ja hallinnointia tukevia toiminnallisuuksia.

Ympäristön valvontaa selkeästi pienempi osa julkaisuista käsittelee aktuointia kuten kastelujärjestelmien kontrollointia toimilaitteiden avulla. Näistä suuri osa käsittelee täsmäviljelyn järjestelmien toteutuksia AIoT-sovellusten avulla ja osa erityisesti täsmäviljelyn tietojärjestelmiä. Suurin osa toimilaitteista on käytössä kontrolloinnin tai logistiikan järjestelmissä. (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Laitteiden voimanlähteistä kirjallisuuskatsauksien käsittelemissä julkaisuissa käsitellään useiten aurinkopaneelien ja akkujen yhdistelmiä. Toisaalta jos laitteita käytetään toimilaitteina niiden voimanlähteenä käytetään useiten verkkovirtaa. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on korostettu AIoT-laitteiden energiatehokkuuden merkitystä. Akkujen lataus ja vaihtaminen voi olla epäkäytännöllistä suurissa anturiverkkojärjestelmissä. Maanviljely-ympäristössä on usein saatavilla ympäristön energialähteitä, jolloin on luontevaa keskittyä erilaisten energiankeräinratkaisuiden kehittämiseen. Tutkimuksissa on 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 et al. 2017)

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

Verkon reunan tietojenkäsittelyä sivuavissa julkaisuissa Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa useiten käytettiin mikrokontrolleripohjaisia ratkaisuita, yhden piirilevyn tietokoneiden ratkaisuiden ollessa harvinaisia.

Tiedon tallentamisen ratkaisuista Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa käsitellyistä julkaisuista suuri osa käytti omia tallennusratkaisuita, pilvipalveluiden käytön ollessa vähäisempää. Tekijöiden mukaan tämä johtuu omien tallennusratkaisuiden suosimisesta tutkimustyössä, vaikka pilvipalveluiden käyttö on avainasemassa IoT-järjestelmien toteutuksissa. Maatalouden tuottama data on yleensä hyvin heterogeenistä niin datan kaavioiden kohteen kuin datan tuotantotapojenkin osalta (Wolfert, Ge, Verdouw & Bogaardt 2017), mikä voi osaltaan lisätä omien tallennusratkaisuiden käyttöä tutkimustyössä.

Väliohjelmistot voivat toimia sovelluskerroksena tai ohjelmistoina järjestelmien osien välillä, IoT-ratkaisuissa usein laitteiden ja sovelluskerroksen välissä. Väliohjelmistoilla voidaan yksinkertaistaa sovelluskehitystä sekä helpottaa vanhojen teknologioiden integrointia uusien kanssa. Tämä voidaan tehdä abstraktoimalla laitteiden toiminnallisuuksia antaen sovelluskehittäjille geneerisiä ohjelmistokehityksen työkaluja laitteiden käsittelyyn, jolloin kehittäjien ei tarvitse keskittyä yksittäisten laitteiden teknisiin yksityiskohtiin. 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 et al. 2017) Väliohjelmistot mahdollistavat osaltaan yleiskäyttöisen IoT-ratkaisuiden toteuttamista ja huomattava osa keskeisten kirjallisuuskatsausten julkaisuista käsittelee juuri yleiskäyttöisen IoT-pohjaisen tiedonhallintajärjestelmän kehittämistä. Näitä tietojärjestelmiä voidaan käyttää myös ennustamaan satokasvien kasvua mallinnuksien avulla (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016).

Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksssa suurin osa katsauksessa käsitellyistä julkaisuista ei nimenomaisesti ota kantaa tietoturvaan. Katsauksen tekijät löysivät vain yksittäisiä asiaa 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 suurimmassa osassa katsauksen julkaisuja web-pohjaisten ratkaisujen avulla, osan ollessa mobiili- ja paikallisratkaisuita.

### AIoT:n sovellusalueet

AIoT-ratkaisuiden sovellusalueiden luokittelu ja rajaukset vaihtelevat aineiston kirjallisuuskatsausten välillä, riippuen katsausten tekijöiden lähtökohdista, tutkimuskysymyksistä ja näkökulmista. Tässä osiossa käydään läpi keskeisimpien kirjallisuuskatsauksien jaottelut ja niihin luokiteltujen julkaisujen määrät. Tällä pyritään antamaan lukijalle yleiskuva katsausten keskeisistä teemoista ja niiden yleisyydestä. Koska luokittelut eivät ole keskenään yhteensopivia, niistä ei sellaisenaan voi tehdä määrällistä yhteenvetoa ja tämän takia ne esitellään tässä osiossa erillisinä. Seuraavassa alaosioissa käsitellään kastsauksen aineistossa viitatut teknologiasovellukset ja kirjallisuuskatsausten havainnot osa-alueittain **valvonnan**, **kontrolloinnin**, **logistiikan** ja **ennustuksen** alaosioissa.

Tzounis et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa sovellusalueet ovat: **kasvihuonetuotanto** 37, **peltotuotanto** 17, **kaupalliset järjestelmäratkaisut** 14, **tuotantoketju** 11, **väliohjelmisto** 9 ja **valvonta ja kontrollointi** 7. Lisäksi sovellusalueissa on myös eläintuotanto 13, joka jää opinnäytetyön aiheen ulkopuolelle eikä sitä käsitellä tässä kirjallisuuskatsauksessa.

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

Talavera et al. (2017, s. 2017) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa IoT-teknologioita käsittelevät tutkimukset on jaoteltu neljään teknologiasovellusten osa-alueeseen: valvonta, kontrollointi, logistiikka ja ennustus. Suurin osa katsauksessa käsitellyistä tutkimuksista keskittyi **valvotaan** (46), **konrollointiin** (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 tarkastellaan langattomia anturiverkkoja viljelytoiminnassaan käyttäviä maatiloja. (Talavera et al. 2017)

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

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

Talavera et al. (2017, s. 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 keskittyvät tarkkailemaan useita eri tyyppisiä fyysisiä muuttujia. Valvonnan sovellukset voidaan jakaa ryhmiin tarkkailun kohteen mukaan. Valvonnan osa-alueen julkaisut jaettiin Talavera et al. (2017, s. 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 käsittelivät useampia tarkkailun kohteita (Talavera et al. 2017). Tzounis et al. (2017, s. 2017) vastaavasti luokittelivat valvonnan osa-alueen ratkaisut niiden toiminnallisuuksien mukaan ja yhdessä kontrolloinnin ratkaisujen kanssa: tarkkailuun ja jossain tapauksissa varoitusten tuottamiseen havaintojen perusteella; tarkkailuun analytiikan ja kontrolloinnin kanssa; järjestelmän tekemien suositusten ja/tai täysautomaattisen kontrollin kanssa; sekä tarkkailuun laskentatehoa vaativien anturityyppien ja tehokkaampien anturilaitteiden kanssa. Kasvihuone- ja -tehdassovelluksia käsittelevistä julkaisuista useat keskittyvät vain paikallisena tai etänä toteutettuun tarkkailuun, jonka tuottamaa tietoa voidaan esittää käyttäjille eri tavoilla kuten verkkosivujen tai mobiilisovelluksien avulla.

Peltotuotannon sovelluksia Tzounis et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa käsittelevissä julkaisuissa keskitytään yleensä ilmasto-olosuhteiden ja maaperän mittaamiseen. Usein julkaisuissa käytetään maaperämittauksissa useita antureita eri syvyyksillä. Useissa julkaisuissa optisia antureita on käytetty kasvien heijastuskyvyn mittaamiseen tai lämpötilan etävalvontaan, mutta myös pellon yleistilanteen kartoittamiseen. Osassa julkaisuista on havaittu, että peltotuotannon sovelluksissa maanalaiset anturiverkot voivat tuottaa huomattavia etuja. Kehitys sulautettujen laitteiden teknologioissa sekä niiden hintojen aleneminen on mahdollistanut tehokkaiden anturilaitteiden käytön ja paikallisen tiedonkäsittelyn sumutietojenkäsittelynä. Kuvantamisdataa tuottavia anturilaitteita käytetään julkaisuissa tavallisina turvakameroina, eläinten tunkeutumisen havaitsemiseksi, hyönteisten tai haittakasvien uhkien havaitsemiseksi ja satokasvien kasvun tarkkailuun. Peltotuotannon sovellusten julkaisuissa on myös käsitelty IoT-ratkaisuiden ja paikkatietojärjestelmien integraatiota jos täsmällinen paikkatieto on ollut tarpeellinen. (Tzounis et al. 2017)

Viimeaikaisissa tutkimuksissa ympäristön tarkkailu- ja mittausratkaisuihin on lisätty toiminnallisuuksia päätöksenteon ja hallinnoinnin tueksi. Esimerkiksi on esitetty automaattisen kasvitautineuvontapalvelun järjestelmäkehikko, joka integroi maatalousneuvonnan puhelinpalvelun ja IoT-pilvipalvelun. Järjestelmä käsittelee automaattisesti viljelijän lähettämiä kuvia kasvitaudista ja antaa diagnoosin sekä toimenpidesuosituksen kyseisen kasvitaudin hoitamiseksi. (Talavera et al. 2017)

#### Kontrollointi

Kontrolloinnin osa-alueen julkaisut käsittelevät ohjattavaan ympäristöön asennettuja etätoimilaitteita (remote actuator). Toisin kuin valvonta-osa-alueen ratkaisuissa joissa tiedon kulku on yksisuuntainen, tämän osa-alueen ratkaisuissa tiedon kulku on kaksisuuntainen. Tällöin komentoja voidaan lähettää palvelimelta tai pilvipalvelusta langattomaan anturi- ja toimilaiteverkkoon (Wireless Sensor and Actuator Network, WSAN), jossa tuotantoprosessiin tai -ympäristöön voidaan vaikuttaa toimilaitteita 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 julkaisuissa esitetyt kasvihuonetuotannon järjestelmät ovat parantaneet resurssitehokkuutta ja muun muassa kastelun täsmällisyyttä. Kasvihuonetuotannon yhteydessä pilvipalveluita soveltavat ratkaisut ja kasvitehtaat ovat jatkuvasti yleistymässä ja pilvipalveluiden avulla dataa voidaan analysoida syvällisemmin, nopeammin, tehokkaammin, edullisemmin ja luotettavammin kuin aikaisemmin. (Tzounis et al. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016) *Mites peltotuotannon järjestelmät, onko tuloksia?*

Osa-alueen julkaisujen esittämät teknologiaratkaisut voivat auttaa viljelijöitä optimoimaan kasteluveden käyttöä säätämällä kastelun ajastusta ja määrää kasvien todellisen tarpeen mukaiseksi. Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa käsitellyt kontrollointijärjestelmät on 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 et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa kontrolloinnin osa-alueen julkaisuissa komentoja lähetetään joko käyttäjän toimesta käyttöliittymän avulla tai analytiikkamodulien tukeman päätöksentekoalgoritmin tuloksena. Katsauksen käsittelemistä julkaisuista useat järjestelmät pyrkivät veden, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käytön optimointiin. Tähän optimointiin pyritään sääennustepalveluiden ja paikallisen anturiverkon tuottaman tiedon perusteella.

Kasvihuoneiden ja -tehtaiden kontrollointijärjestelmät, joissa sovelletaan data-analytiikkaa ja dataa siirretään pilvipalveluihin internetin yli, ovat Tzounis et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa selkeästi esillä, mutta Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016, s. 2016) katsauksessa vähemmistönä. Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016, s. 2016) havaitsivat, että useimmat kasvihuonejärjestelmiä käsittelevät julkaisut keskittyivät kasvihuoneen ilmaston ja kastelun tarkkailuun ja kontrollointiin. Pieni osa pyrki kasvihuoneen kontrollointijärjestelmän toteuttamiseen tai energiankulutuksen hallintaan. Puutarhatuotannon järjestelmät keskittyvät pääasiassa tuotteiden tarkkailuun ja kontrollointiin, osan pyrkiessä tuholaistorjunnan ja aikaisten varoitusten järjestelmien toteuttamiseen. Yksittäiset julkaisut käsittelivät jäljitettävyyttä, asiantuntijajärjestelmiä, kaupankäyntiä internetissä, tarkkuuskastelua ja massadatan käyttöä.

Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa käsitellyissä julkaisuissa kontrollointijärjestelmien käyttämien toimilaitteiden tyypit vaihtelevat 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 et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa käsitellyistä julkaisuista viidessä pyritään tuottamaan täysautomatisoitu kontrollointijärjestelmä, joissa kontrollikäskyt on tuotettu anturidatasta tehdyn analytiikan tulosten perusteella. Näin pyritään toteuttamaan täysautomatisoitu kierto anturien tekemästä havainnosta analytiikan kautta tehtyyn päätökseen, joka toteutetaan toimilaitteilla. Lopulta tapahtunutta muutosta viljely-ympäristössä tarkastellaan antureilla, jolloin kierto alkaa taas alusta. Kahdessa julkaisuista on toteutettu kasvihuoneissa langattomaan anturi- ja toimilaiteverkkoon perustuva yhden tai useamman toimilaitejärjestelmän kuten ilmastointi- ja kastelujärjestelmän kontrollointi. Näissä järjestelmiä voidaan kontrolloida etäisesti kahdella tavalla: joko viljelijän toimesta käsisäätöisesti tai järjestelmän hallinnoijan toimesta ja päätöksentekojärjestelmän avustamana. Kahdessa julkaisussa esitellyt järjestelmät sisältävät peltotuotannon etävalvonnan, varoitukset ja kontrolloinnin. Kasvihuoneissa tai vastaavissa hallituissa ympäristöissä vastaavia järjestelmiä käsitteleviä julkaisuja on kolme. Yhdessä julkaisussa on toteutettu myös integroitu tuholaistorjunta (IPM).

#### Logistiikka

Logistiikan osa-alueen julkaisut keskittyvät 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 toiminnat. 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 reaaliaikaisesta tiedosta ruokaketjusta sekä ruoan “pellolta lautaselle” -jäljitettävyydestä. (Talavera et al. 2017)

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

IoT:n yleiseen luonteeseen kuuluu ratkaisujen 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, koska tarkkailun ei enää tarvitse tapahtua fyysisesti varsinaisen tuotannon lähellä. (Tzounis et al. 2017)

Useiden IoT-teknologioiden kehitys ja kypsyminen yhdistettynä niiden kestävyyden 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 et al. 2017)

Ruoan tuotantoketjut voivat olla erittäin monimutkaisia ja hajautettuja. Maantieteelliset ja ajalliset skaalat ovat suuria, 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 jäljitettävyysjärjestelmiä kohtaan. Ruoan tuotantoketjua voitaisiin IoT-teknologioiden avulla tarkkailla pellosta 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 et al. 2017)

Tzounis et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa ruoan tuotantoketjun ratkaisut keskittyvät joko tuotantoketjun liiketoiminnan puoleen tai siinä sovellettaviin teknologioihin. Muutamat julkaisut pyrkivät esittämään ratkaisuita molempien puolien kattamiseen. Tuotannon valvonnan lisäksi katsauksessa kahdessa julkaisussa on mallinnuksien avulla analysoitu ruoan tuotantoketjujen ongelmia ja pyritty ratkaisemaan niitä IoT-teknologioiden avulla. Osassa julkaisuja pyritään tuotantoketjun kokonaisvaltaisen tiedonhallintajärjestelmän tuottamiseen tai tuotantojärjestelmän suunnitteluun taloudellisen tuoton maksimoimisen lähtökohdasta.

Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016, s. 2016) kirjallisuuskatsauksen käsittelemistä julkaisuista selkeästi suurin osa keskittyy tuotantoketjun IoT-ratkaisuihin. Näistä suurin osa (29/68) keskittyy ruoan turvallisuuteen ja laatuun, mikä tekijöiden mukaan voi johtua Kiinassa tapahtuneista ruokatuotannon kriiseistä ja skandaaleista. Useissa (14) julkaisuissa pyrittiin konkreettisen tuotantoketjun tarkkailujärjestelmän kehittämiseen. Tarkkailujärjestelmiin liittyen kolmessa julkaisussa keskitytään tuotantoketjun vaara-analyyseihin ja aikaisten varoitusten tuottamiseen. Toiseksi eniten katsauksessa tuotantoketjuun liittyvistä julkaisuista (26) keskittyy erilaisiin seurannan ja jäljittämisen IoT-ratkaisuihin. Lisäksi useat julkaisut liittyvät kylmäketjun logistiikkaan sen olosuhteiden valvontaan, osa niistä erityisesti läpinäkyvyyteen ja luottamukseen. Osa julkaisuista käsittelee tuotantoketjun kestävyyttä ympäristön kannalta kuten saastuttavuutta. Muita julkaisuissa käsiteltyjä aiheita ovat sosiaalinen media yhdessä sähköisen kaupankäynnin kanssa, tuoteinventaarion hallinta, tuotteiden säilyvyys, kuluttajien vuorovaikutus ja virtualisaatio.

Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyjen logistiikan osa-alueen julkaisut ryhmiteltiin 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 saada aikaisia varoituksia satokasveihin kohdistuvista uhkista kuten kasvitaudeista ja hyönteisinvaasioista. Varoitusten lisäksi ennusteiden perusteella voidaan tuottaa myös kasvien reaktioihin perustuvia automatiikan kontrollikäskyjä. Vaikka ennusteiden tekemiseen tarvittavat algoritmit vaativat enemmän laskentatehoa kuin verkon reunalla toimivissa anturilaitteissa yleensä on saatavilla, voidaan IoT-mallin mukaisesti raskaampi laskenta kohdistaa pilvipalveluihin tai hajauttaa useiden laitteiden toteutettavaksi. (Tzounis et al. 2017)

Ennustuksen osa-alueen julkaisut keskittyivät Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa viljelijän päätöksenteossa tarvittavan tiedon ja työkalujen tuottamiseen. Esitettyjen ratkaisujen arkkitehtuurissa oli tähän tarkoitukseen erityiset modulit. Ratkaisujen ennustamat muuttujat ryhmiteltiin seuraavalla tavalla: ympäristöolosuhteet 42.86 %, tuotantoennusteet 42.86 % ja satoennusteet 14.29 %. Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016, s. 2016) katsauksessa useat julkaisuista käsittelevät viljelyn tarkkailun ja kontrollointijärjestelmien toiminnan tukemista kasvien kasvua ennustavilla mallinnusjärjestelmillä.

Kirjallisuuskatsausten käsittelemissä julkaisuissa pyrittiin esimerkiksi anturien tuottaman datan perusteella ennustamaan kasvien tarvitseman kastelun ja lannoitepanosten määrää (Talavera et al. 2017; Tzounis et al. 2017), satokasvien kasvun ennustamiseen (Talavera et al. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016) ja tuotannon tasapainottamiseen kysynnän kanssa satokasvien kasvuennusteiden avulla (Talavera et al. 2017).

Tzounis et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa mainittiin myös Microsoftin vuonna 2015 julkaisema 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 et al. 2017). *muut kaupalliset tuotteet, onko ennustetoimintoja?*

### AIoT:n avoimet haasteet

Tässä osiossa käsitellään kirjallisuuskatsauksen aineistossa esiintyneet AIoT:n avoimet haasteet. Yleisimmät ja eniten aineistossa kuvaillut haasteet on kerätty omiin alaosioihinsa ja harvemmin esiintyneet tai vähemmän kuvaillut mutta selkeästi yksilölliset haasteet on kerätty osion loppuun omiin alaosioihinsa.

Vaikka yleisesti IoT:n konseptin tai paradigman mukaisen vision toteuttaminen on mahdollista, tutkimustyötä tarvitaan vielä lisää esimerkiksi standardisaation, tietoliikenteen ja tietoturvan ratkaisujen kehittämiseksi. Atzori, Iera & Morabito (2010, s. 2010) mukaan IoT:n 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 huomattavia etuja tehokkaan ja kestävän maanviljelyn muodossa, varmistamalla ruokaturvaa pienempien ympäristövaikutusten kautta sekä takaamalla terveellisen ja turvallisen ruoantuotannon. Etujen saavuttamiseksi vaaditaan useiden IoT:n teknisten ja yhteiskunnallisten haasteiden ja esteiden voittamista. Nämä haasteet voivat kuitenkin tuottaa myös uusia mahdollisuuksia teknologiselle kehitykselle ja arvon tuottamiselle. (Sundmaeker et al. 2016)

#### Standardisaation haasteet

AIoT:n alalla vahva standardisaatio parantaisi eri valmistajien laitteiden ja järjestelmien välistä yhteentoimivuutta. Valtava kirjo erilaisia IoT-laitteita ja niiden tuottamaa heterogeenistä dataa asettavat huomattavia 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-teknologiapaketin tietoturva vahvistuisi; alkaen kentällä olevista laitteista pilvipalveluihin ja loppukäyttäjän käyttöliittymiin asti. (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; kaloxylosUseFutureInternet2013, 56; Talavera et al. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

IoT-teknologiapaketin 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 koalitioihin järjestäytyneet viljelijät, jotka ovat huolestuneet datan yksityisyydestä ja turvallisuudesta, mutta haluavat myös tuottaa arvoa oman datansa avulla. (Wolfert et al. 2017)

Yhteen toimittajaan lukittumisen, järjestelmien yhteensopimattomuuden jne. riskien takia suljetut arkkitehtuurit, alustat ja standardit asettavat esteitä AIoT-ratkaisuiden laajamittaiselle omaksumiselle. Yksi maatalous- ja ruokatuotantosektorin haasteista on uusien avoimien ja maailmanlaajuisten standardien määrittely sekä niiden jatkuva linjaaminen nykyisten IT- ja maatalousalan standardisointihankkeiden kanssa. Lisäksi AIoT:n haasteita käsiteltäessä tulisi painottaa päätöksenteon avustamista sovellustasolla. Päätöksenteon avustamisen avulla voidaan realisoida AIoT-ratkaisujen tarjoamia etuja, mutta sen toteuttamiseksi tarvitaan väljästi 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 alan ja tuotantoketjujen toimijoista. (Sundmaeker et al. 2016) Yleisen palvelukeskeisen arkkitehtuurin kehittäminen IoT-järjestelmille mainitaan L. D. Xu, W. He & S. Li (2014, s. 2014) katsauksessa suurena haasteena palvelukehityksen toimijoille.

Standardisaation tärkeys näkyi myös Tzounis et al. (2017, s. 2017) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa, jossa havaittiin useiden tutkimusten keskittyvän IoT:n keskeisten teknologioiden standardointiin. Kuten monien muiden IoT:n aspektien yhteydessä, yhteentoimivuus on heidän mukaansa myös langattoman tietoliikenteen suurin haaste. He keskittyvätkin katsauksessaan standardisaation haasteista nimenomaisesti langattomaan tietoliikenteeseen. Muut aineistossa käsitellyt kirjallisuuskatsaukset käsittelivät standardisaatiota laajemmin eri lähtökohdista.

#### Tieto- ja kyberturvallisuuden haasteet

Muiden teollisuudenalojen tapaan maatalouden tuotantoketjujen muuttuessa yhä datavetoisemmiksi 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 luottamuspulaan ja odottavaan asenteeseen. Toisaalta useilta maatiloilta aggregoidulla datalla on potentiaalia huomattavaan arvon tuottamiseen. Viljelijöiden tulisi kuitenkin ymmärtää tällaisesta datan kokoamisesta saavutettavat edut sekä saada vakuudet heidän tietojen 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 et al. 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 ratkaisujen saatavuuden varmistaminen on ylipäätään huomattava haaste. Erityisen haastavaksi tämän tekee maatalouden toimintaympäristössä vaatimus ratkaisujen soveltuvuudesta dynaamisten ja monimutkaisten sidosryhmien verkostojen tarpeisiin, kun sidosryhmiin kuuluu valtava määrä hyvin pieniä yrityksiä, suuria monikansallisia konserneja sekä viranomaisia joiden kaikkien tulisi toimia yhteistyössä. (Talavera et al. 2017; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

Sidosryhmien tietojen turvallisuus, autenttisuus, luottamuksellisuus ja yksityisyyden suoja tulisi varmistaa siirryttäessä perinteisistä toimintamalleista IoT-sovellusten käyttöön. IoT:n tietoturva kiteytyy kolmeen vaatimukseen: tunnistus, luottamuksellisuus ja käyttöokeuksien hallinta. IoT-ratkaisut tulisi suojata ulkoisia hyökkäyksiä vastaan havaintotasolla, turvata datan kerääminen tietoliikennetasolla ja vastaavasti sovellustasolla tarjota eritellyt vakuudet siitä, että vain valtuutetuilla tahoilla on pääsy ja oikeudet muuttaa tietoja. (Tzounis et al. 2017) Hajautetun päätöksentekojärjestelmän laajalle käyttöönotolle on kriittisen tärkeää huolehtia tietoturvasta, anonymiteetistä ja pääsynhallinnasta. (Tzounis et al. 2017, L. D. Xu, W. He & S. Li (2014)) Tietoturvan takaaminen on usein haasteellisempaa IoT-ratkaisuiden kuin perinteisten tietojärjestelmien tapauksessa, koska hyökkäysvektoreita on huomattavasti 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 tietoturvahaasteita ovat datan tuotantovaiheen tietoturva ja laitteistojen fyysinen turvallisuus. Anturilaitteiden tietoturvan parantamiseksi tulisi käyttää salausalgoritmeja, avaintenjakelun käytänteitä, tunkeutumisenhavaitsemisjärjestelmiä ja turvallisia reitityssääntöjä, kuitenkin huomioiden laitteiden asettamat rajoitukset. Pyrittäessä estämään valtuuttamattomien tahojen pääsy kerättyyn dataan käyttäjätunnistus, tietojen luottamuksellisuus ja käyttöokeuksien hallinta tulee ottaa huomioon myös datan tuotantovaiheessa. (Tzounis et al. 2017) Lisäksi laitteiden ja anturien, mukaan lukien tunnisteet kuten RFID, tunnistamiseen tulisi kehittää aikaisempaa kevyempiä ja vähemmän laskentatehoa vaativia salausmenetelmiä ja protokollia (Vermesan & Friess 2011). Koska maatalouden järjestelmiin kuuluu usein automaattisesti kontrolloitavia toimilaitteita, on tietoturvasta huolehtiminen ja järjestelmien tunkeutujilta suojaaminen tärkeää käyttäjien fyysisen turvallisuuden takia (Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami 2013).

Tietoliikennekerroksen ja sovelluskerroksen välillä toimivan väliohjelmiston (engl. middleware) 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 et al. 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 haittaohjelmainjektiolle jotka kohdistuvat ja vaikuttavat järjestelmän luottamuksellisuuteen ja tiedon eheyteen. Todentaminen, tunkeutumisen havaitseminen ja pääsynhallinta voivat tarjota ratkaisuita tietoliikennetason uhkia vastaan. (Tzounis et al. 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 et al. 2017) IoT-ratkaisut tarvitsisivat pilviperusteisen tietoturvapalvelun, joka sisältäisi pääsynhallinnan, salauksen ja protokollien arvioinnin, identiteetinhallinnan, ja auditoinnin toiminnot (Vermesan & Friess 2011).

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

#### Laitteiden energiatehokkuuden haasteet

AIoT-järjestelmien kehityksen keskeisiä haasteita on energiatehokkaiden IoT-teknologioiden, laitteiden ja tietoliikenneyhteyksien kehittäminen nimenomaisesti maatalouden tarpeisiin (Sundmaeker et al. 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 et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa useiden tutkimusten mukaan suurin IoT-laitteiden elinkaarta rajoittava tekijä. Laitteiden elinkaarta voitaisiin heidän mukaansa pidentää virrankulutusta vähentämällä, lisäämällä energiakeräimiä sekä käyttämällä vaihtoehtoisia tehon varastointilaitteita akkujen sijaan. Vastaavasti Atzori, Iera & Morabito (2010, s. 2010) kertovat katsauksessaan, että julkaisuissa esitellyssä ratkaisuissa joissa käsitellään anturiverkkoja pyritään erityisesti energiatehokkuuden parantamiseen. Tämän perusteena on energian oleminen harvinaisin käytettävissä oleva resurssi useimmissa anturiverkkojen käyttötapauksissa.

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 et al. 2017) Samoin Tzounis et al. (2017, s. 2017) mukaan AIoT-ratkaisuiden fyysisen laite-/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 tulee olla suunniteltu energiankeräimen mukaan.

AIoT:n etujen saavuttamiseksi tulisi sekä anturi- että toimilaitteiden energiankulutusta vähentää niin paljon, että niistä voisi tulla lähes täysin riippumattomia ulkoisista energialähteistä (Sundmaeker et al. 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 et al. 2017)

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

#### Laitteiden kestävyyden haasteet

AIoT-ratkaisuiden haastava toimintaympäristö asettaa laitteiden lujatekoisuudelle ja kestävyydelle huomattavan kovia vaatimuksia. Havaintotason laitteiden tulee kestää muun muassa auringon säteilyä, suuria lämpötilavaihteluita, sadetta, ilmankosteutta, tuulta ja tärinää (Tzounis et al. 2017). Samoin Talavera et al. (2017, s. 2017) mukaan kaupallisten IoT-ratkaisuiden tulisi kestää huomattavia muutoksia lämpötilassa, kosteudessa ja valaistuksessa kestääkseen sekä vuodenaikojen muutokset että maailmanlaajuisen käyttöympäristön ilmaston vaihtelevuuden. Myös Tzounis et al. (2017, s. 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. Kypsien teknologioiden 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 et al. 2017). Yksi keskeisiä AIoT:n kehityksen haasteita on vakaiden ja luotettavien langattomien yhteyksien kehittäminen syrjäisille alueille, joilla on usein rajallinen peittoalue ja kaistanleveys (Atzori, Iera & Morabito 2010; Sundmaeker et al. 2016; Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016; Vermesan & Friess 2011, s. 174). Suuren mittakaavan AIoT-laitteiden käyttöönotot edellyttävät tietoliikenneverkkojen arkkitehtuurin uudistamista, jotta verkot voisivat sopeutua IoT-järjestelmien datan tuotannon muotoihin ja vaihtelevaan tietoliikennemäärään (Sundmaeker et al. 2016).

Langattomat tietoliikenneverkot ovat yleisiä peltotuotannon sovelluksissa, missä verkkojen kaapeloinnin kustannukset voivat olla huomattavia ja kaapelointia voi olla vaikea toteuttaa. Peltotuotannon toimintaympäristö kuitenkin asettaa haasteita langattomille tietoliikenneratkaisuille: ympäristövaikutukset 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 et al. 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 tietoliikennetason yhteentoimivuutta. (Tzounis et al. 2017) Useissa julkaisuissa on kuvailtu yleisen ja heterogeenisiä tietoliikenneratkaisuita integroivan tietoliikennealustan tai -standardin kehittämistä avoimena haasteena (ks. alla kohta 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 et al. 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, vähittäismyyntinnin data, kuluttajatiedot kuten ruokavaliotiedot jne. (Sundmaeker et al. 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 käyttäjäille helposti opittavia, samalla kun niiden tulisi mahdollistaa yhteentoimivuus tuotantoketjun muiden toimijoiden kanssa. (Sundmaeker et al. 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 et al. 2017)

#### AIoT-ekosysteemin laajentamisen haasteet

Talavera et al. (2017, s. 2017) huomasivat kirjallisuuskatsauksessaan, että kirjallisuudessa on huomattava aukko IoT-ratkaisujen yksinkertaisien prototyyppien kehittämisestä tosielämän ratkaisuiksi. Tosielämän ratkaisujen laajan omaksunnan saavuttamiseksi AIoT-ratkaisujen 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-teknologioiden käyttöönotto on suurelta osin rajoittunut aikaisten omaksujien piiriin. Kehityshaasteena on saada teknologioiden omaksunta laajenemaan tämän piirin ulkopuolelle nykyisten sovellusten 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-teknologioiden 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 teknologioiat tarjoavat juuri heille. (Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan 2016)

#### Muut tekniset haasteet

Erityisesti ruoan jäljitettävyyden ja ruoan turvallisuuden käyttötapauksissa IoT-järjestelmien kehityksessä on selkeä haaste sekä uudentyyppisten anturi- ja tietoliikenneratkaisuiden 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 havannoimaan yksittäisiä tuotteita. (Sundmaeker et al. 2016) Lisäksi raa’asta RFID-datasta merkityksellisen tiedon tuottamiseksi tarvitaan tehokkaita sovelluksia erityisesti RFID-tunnisteiden paikantamiseen (Vermesan & Friess 2011).

IoT-järjestelmissä käytettävät tietoliikkenneratkaisut ovat hyvin heterogeenisiä. On selkeä tarve yleisesti hyväksytylle tietoliikennealustalle, joka abstrahoisi IoT-järjestelmissä käytettyjen tietoliikenneteknologioiden toiminnallisuudet ja tarjoaisi läpinäkyvän nimeämispalvelun erilaisille sovelluksille (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Vermesan & Friess 2011). Heterogeenisten tietoliikenneverkkojen integraation lisäksi IoT-tietoliikenneratkaisun 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. Samoin 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 laiteyksikköjä käsittävien IoT-ratkaisuiden käyttöönotto mahdollistuisi, tulisi laitteistojen yleiskustannusten, internetyhteyksien sekä kansainvälisten data roaming -maksujen edelleen laskea. (Talavera et al. 2017)

Suurempi mittakaava vaatii laitteilta myös enemmän tietojenkäsittelykykyä ja älykkyyttä, jotta laitteet kykenisivät tarvittaessa konfiguroimaan ja hallinnoimaan toimintojaan itsenäisesti. IoT-ratkaisujen lupaamia etuja ei voida täysin saavuttaa ilman huomattavaa lisäystä verkon reunalla olevien laitteiden tietojenkäsittely- ja laskentakyvyssä. (Sundmaeker et al. 2016)

AIoT-ratkaisuiden ohjelmistokehityksen haasteena on ottaa käyttöön ohjelmistokehityksen parhaita käytänteitä. Järjestelmien mittakaavan kasvaessa ja elinkaaren pidentyessä tuotetun datan analysoinnitiin, 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 et al. 2017) Samoin kuin akkujen kestävyys ja matala virrankulutus ovat havaintotason laitteiden vaatimuksia, tulee ne myös ohjelmoida niin hyvin, että laitteita ei tarvitse käynnistää uudestaan ohjelmisto-ongelman sattuessa (Tzounis et al. 2017).

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

AIoT-järjestelmiä tulisi lähtökohtaisesti kehittää yhteensopiviksi vanhan, olemassaolevan infrastruktuurin ja tietojärjestelmien kanssa (L. D. Xu, W. He & S. Li 2014; Talavera et al. 2017; Vermesan & Friess 2011). Samoin kuin teollisuusautomaatiossa, on tärkeää kehittää ratkaisuita jotka sopivat asiakkaan olemassaolevaan infrastruktuuriin kuten erikoislaitteisiin, työkoneisiin ja ohjelmistoihin. Käytettävyydeltään IoT-laitteiden asentamisen ja hallinoinnin tulisi olla niin selkeää ja yksinkertaista, että tavalliset käyttäjät pystyvät käyttämään niitä ilman erityisosaamista. (Talavera et al. 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 et al. 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 suunnitella osana uutta ratkaisua ja sen elinkaarta ympäristövaikutusten minimoimiseksi. (Talavera et al. 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:n potentiaalit eivät aina ole käytännöllisesti ja yhteismitallisesti siirrettävissä ruokatuotteisiin. (Sundmaeker et al. 2016)

#### Muut haasteet

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

Liiketoimintaprosessien monimutkaisuus ja sidosryhmien moninaisuus asettavat omat haasteensa IoT-ratkaisuiden kehittämiselle sekä tekniikan että liiketoiminnan osa-alueilla (Barmpounakis et al. 2015).

Erityisesti suuren mittakaavan ratkaisuiden osalta tarvitaan vielä lisää tutkimusta miten uusia liiketoimintamalleja tulee kehittää jotta voidaan varmistua IoT-ratkaisuille perustuvan liiketoiminnan kestävyydestä 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 maatiloille. (Sundmaeker et al. 2016)

Suuren mittakaavan ratkaisuissa käyttöönottoa on hidastanut yleinen epävarmuus IoT:n vaikutuksista olemassa olevaan teollisuuteen, arvoketjuihin, liiketoimintamalleihin, työvoimaan ja lopulta tuottavuuteen sekä tuotteisiin. (Gilchrist 2016)

Samoin yhteisöllisissä haasteissa AIoT-teknologioiden 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 käyttötapauksissa, joista tiedon ja tietoisuuden levittäminen on haastavaa hyvin pirstaleisella alalla. Yhteisöllisenä haasteena AIoT-teknologioiden leviämiselle on myös niiden käyttäjiltään vaatima tietoteknisten taitojen taso. Tähän haasteeseen vastaamiseen vaadittaisiin koulutukseen panostamista, jotta digitaalisen kuilun syntyminen maatalouden alalla voitaisiin välttää. (Sundmaeker et al. 2016)

Politiikka ja säännöstely ovat keskeisessä asemassa AIoT-innovaatioiden omaksunnan leviämisessä. Poliittisten linjausten ja säännöstelyn tulisi madaltaa olemassaolevia esteitä, esimerkiksi viljelijöiden datan yksityisyyden suojaamiseksi sekä nopeiden tietoliikenneyhteyksien rakentamisen ja tietoteknisten taitojen koulutuksen edistämiseksi. (Sundmaeker et al. 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 organisatorisiin ongelmiin ja muutoksiin maataloudessa ja tuotantokejuissa. (Sundmaeker et al. 2016)

### 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 arkkitehtuureja (engl. Service Oriented Architecture, SOA), mikä on ollut yleinen suuntaus julkaistuissa tutkimuksissa (Blank, Bartolein, Meyer, Ostermeier & Rostanin 2013). Esineiden käsittely palveluina voi kuitenkin olla huomattava haaste IoT-arkkitehtuureille vaaditun laskentatehon ja hinnan asettamien rajoitusten takia (Vermesan & Friess 2011, s. 174). L. D. Xu, W. He & S. Li (2014, s. 2014) mukaan palvelukeskeinen arkkitehtuuri kuitenkin sopii hyvin IoT-ratkaisuiden suunnitteluun, koska se mahdollistaa heterogeenisten järjestelmien ja laitteiden integroinnin. Samoin Granell et al. (2016, s. 2016) arvioivat palvelukeskeisen arkkitehtuurin olevan hyvin tehokas lähestymistapa IoT- ja pilviteknologioihin perustuvien palveluiden tuottamiseen.

Kokonaisuutena IoT-järjestelmien arkkitehtuurien tulee ottaa huomioon erilaiset arkkitehtuurimallit, tietoliikenneratkaisut, älykkäät laitteet, verkkopalvelut ja -sovellukset, liiketoimintamallit ja -prosessit, yhteistoiminnallisen tiedonkäsittelyn 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 (engl. International Telecommunication Union, ITU) on suosituksessaan ITU-T Y.2060 kuvaillut nelikerroksisen IoT-referenssiarkkitehtuurin. Suositus määrittelee IoT:n tietoyhteiskunnan globaalina infrastruktuurina, joka mahdollistaa edistyneet palvelut yhdistämällä esineet tieto- ja viestintäteknologioiden avulla. Kerrokset on jaoteltu sovelluskerrokseen, palvelu- ja sovellustuen kerrokseen, tietoliikenne- ja laitekerrokseen. (International Telecommunication Union 2012; Tuntematon 2018)

Kirjallisuuskatsauksissa esitetyt arkkitehtuurit on usein jaoteltu palvelukeskeisen arkkitehtuurimallin mukaisesti kerroksittain, esimerkiksi Talavera et al. (2017, s. 2017) kirjallisuuskatsauksessa esitetyssä arkkitehtuurissa kerrokset ovat fyysinen-, tietoliikenne-, palvelu- ja sovelluskerros. Vastaavasti Verdouw, Wolfert & Tekinerdogan (2016, s. 2016) jaottelevat IoT-arkkitehtuurin laite-, verkko- ja sovelluskerroksiin. L. D. Xu, W. He & S. Li (2014, s. 2014) puolestaan esittivät arkkitehtuurin, jossa jaottelu tehtiin havainnointi-, tietoverkko-, palvelu- ja liittymäkerrokseen. Tzounis et al. (2017, s. 2017) esittivät IoT-arkkitehtuurin jakautuvan havaintokerrokseen, tietoliikenne- ja sovelluskerrokseen, samoin kuin Vermesan & Friess (2011, s. 2011). Sovelluskerros on Atzori, Iera & Morabito (2010, s. 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 hyväksyttyä arkkitehtuurimallia ei ole, esitetyt arkkitehtuurit käsittelevät keskenään samankaltaisia toimintoja kuten laitteiden toiminnallisuuksien ja tietoliikennetoimintojen abstraktointia.

Poikkeuksena edellisiin Barmpounakis et al. (2015, s. 2015) esittivät arkkitehtuurin, joka teknisten kerrosten sijaan perustuu Future Internet Public–Private Partnership:in (FI-PPP) yleiskäyttöisiin FI-WARE-hankkeessa kehitettyihin ohjelmistomoduleihin (engl. Generic Enabler, GE) ja niiden laajennuksiin maatalouden vastaaviin moduleihin (engl. domain specific enablers) (ks. Kaloxylos et al. 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 (engl. Platform as a Service, PAAS) jolla ruokaketjun eri alojen sidosryhmät voivat toimia yhdessä.

## Haastattelujen tulokset

### Haastattelujen tuloksien kuvaus teemojen mukaan ryhmiteltyinä

Tässä osiossa kuvaillaan ensin haastatteluaineiston sisällönanalyysin määrälliset havainnot jaoteltuina alaosioihin alikategorioiden ja niiden yleisten teemojen mukaan, minkä jälkeen käydään läpi sisällönanalyysiin taulukoinnin havainnot. Alaosioiden tekstissä viittaukset yksittäisiin koodeihin ja koodien nimet on lihavoitu.

#### Tietojenkäsittely

Tekniikka-kategorian alikategoriassa Tietojenkäsittely on 168 havaintoa. Tietojenkäsittelyn yleisimmät asiasisällöt havaintojen määrien mukaan ovat 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 maatilan 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**. Analytiikkaratkaisujen räätälöitävyyden nähtiin olevan maatalouden toiminnassa erityisen tärkeä kehityskohde johtuen maatilojen toiminnan yksilöllisyydestä. Uusissa tuotteissa ja erityisesti analytiikapalveluissa pyritään yleisesti hyödyntämään **koneoppimista**, mutta haastatteluaineistossa se havaittiin vain viidesti. Suurin osa uusista tuotteista ja palveluista rakennetaan **pilvipalveluiksi**, josta tehtiin useita havaintoja. **Datan siirreltävyyttä** 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 ovat lämpökartalla kohtuullisen lähekkäin ja niiden havainnot painottuvat haastatteluihin 1 ja 5. Datan siirreltävyyden koodi on vastaavasti lähellä tietojärjestelmien rajapintoja, datan jakamista, datan merkityksen ymmärtämistä ja teknologioiden omaksunnan kynnystä.

**Datan integraatiota** käsiteltiin kaikissa haastatteluissa ja se liittyy 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 analytiikkaa 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**. Tälläinen kuvantamisdata kootaan yleensä useista kuvatiedostoista **ortomosaiikkikartoiksi** analyysiä varten.

Lämpökartalla datan integraation havainnot jakautuvat kohtuullisen tasaisesti painottuen haastatteluihin 2 ja 5. Sille läheisiä koodeja ovat kokonaisvaltainen maatilanhallintajärjestelmä, tulevaisuuden tietojärjestelmät ja käytöliittymät.

#### Tietojärjestelmät, tietoliikenne ja alustaratkaisut

Tekniikka-kategorian alikategoriassa Tietojärjestelmät on 55 havaintoa, Tietoliikenne-alikategoriassa vastaavasti 47 havaintoa ja Alustaratkaisut-alikategoriassa 20 havaintoa. Tietojärjestelmiä käsittelevät yleisimmät asiasisällöt olivat **kokonaisvaltainen maatilan tiedonhallintajärjestelmä (FMIS)** sekä **tulevaisuuden tietojärjestelmät**. Kokonaisvaltainen tai holistinen maatilan tiedonhallintajärjestelmä pyrkii integroimaan maatilan tuotantojärjestelmät ja tuottamaan käyttäjälle kokonaiskuvan maatilan 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 tuotantokeju 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 alustapalveluekosysteemit.

Lämpökartalla kokonaisvaltainen FMIS sijoittuu samaan ryhmään tulevaisuuden tietojärjestelmien ja tietojärjestelmien käyttöliittymien kanssa. Tämä johtuu ryhmän havaintojen painottumisesta haastattelu 5:en jakautuen harvalukuisina ja tasaisesti muiden haastattelujen 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 on, 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 täsmäviljelyratkaisujen tulisi olla niin edullisia ja helppokäyttöisiä että niiden hyödyt voidaan realisoida laajassa mittakaavassa (Polvinen 2017b).

**Avointa lähdekoodia** sivuttiin yhdessä haastattelussa, mutta haastatteluaineistosta saatava yleisvaikutelma viittaa 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 huomattavia 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 ryhmittyä tekemään hankintoja tai myymään 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 on 70 havaintoa. Se on 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 on haastatteluihin 2 ja 5 painottumisen takia lähimpänä päätöksenteon avustamista, viljelyprosessien tehostamista ja tuotantojärjestelmien integraatiota. Teknologioiden omaksunnan laajuuden lähin koodi lämpökartalla puolestaan on aidot IoT-järjestelmät, jotka painottuvat haastatteluun 3. Asteittaisen omaksunnan koodi taas on lähimpänä tietojärjestelmien käytettävyyttä, mikä vaikuttaa usein järjestelmien omaksuntaan.

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

Toimintaympäristö-kategorian alikategoriassa Muutos on 61 havaintoa, Maatalous-alikategoriassa 59 havaintoa ja alikategoriassa Maataloustuotanto Data puolestaan on 23 havaintoa. Toimintaympäristön muutoksen keskeinen asiasisältö haastatteluaineistossa on **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 viitatessa esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttamien tautipaineiden tai hyönteisinvaasioiden hallintaan. Toinen toimintaympäristön muutosta käsittelevä keskeinen asiasisältö on **tilakoon kasvu**. Toiminnan digitalisaatio mahdollistaa osaltaan **toiminnan tehostumisen** ja tätä kautta maatilojen 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 toimintatavat. 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 käytössa 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 on 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 ovat **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 käsitellään myös tarkemmin rajatuissa asiasisällöissä **maatalouden hajanaisuus** ja **maatilojen yksilöllisyys**. Maatalouden **teknologiatuotteiden hajanaisuutta ja siiloutuneisuutta** käsiteltiin haastateluissa 4 ja 5.

Lämpökartalla Suomalaisen viljely-ympäristön erityispiirteiden kanssa samassa ryhmittymässä on 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** on mainittu monien AIoT:n 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 on 49 havaintoa, Teknologiasovellus-alikategoriassa 44 havaintoa ja Standardi-alikategoriassa 28 havaintoa. Teknologioista **anturiteknologia** ja **teollisuusautomaatio** ovat yleisimmin haastatteluaineistosta havaitut teknologioita käsittelevät asiasisällöt. Useat IoT-ratkaisut perustuvat antureiden tuottaman tiedon käsittelyyn ja anturiteknologia on yksi niiden keskeisiä mahdollistajia. Teollisuusautomaatiota käsiteltiin haastatteluissa 1 ja 3. Maatalousautomaatiossa voitaisiin soveltaa teollisuudessa kehitettyja 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. Aidolla 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-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). Aidoksi IoT-ratkaisuksi luettava ValtraSmart on Valtran ensimmäinen telemetria- ja IoT-järjestelmä ja se 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 haastatteltavien mukaan vielä tehtävä paljon töitä. Perusautomatiikka 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 teknologiasovellusten asiasisällöistä ovat **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 ja Farmer’s Business Network, 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, FMISt, IoT-toiminnot, telemetriatoimittajat ja ISOBUS-koneet. Tulevaisuudessa laajamittainen yhteen toimivien järjestelmien käyttöönotto on riippuvainen alustojen kehityksestä ja saatavuudesta 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)

Teknologiasovellusten asiasisällössä **telemetria**n havaintoja oli tiedonkäsittelyn 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 on E.E.n mukaan käynnissä useilla merkittävillä 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 on 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 on **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 (vendor lock). D.D.n mukaan luultavasti merkittävin yritys avoimien tiedonkäsittelystandardien kehittämiseksi ja ns. vendor lockin välttämiseksi on AEF:n yritys saada ISOBUS–standardilla kytketyt koneet yhdistettyä viljelysuunnitteluohjelmistoihin (Polvinen 2018a).

#### Maataloustuotannon laitteet ja maataloustuotannon tehostaminen

Maataloustuotanto-kategorian alikategoriassa Laitteet on 39 havaintoa ja alikategoriassa Tehostaminen vastaavasti 32 havaintoa. Laitteita käsittelevistä asiasisällöistä eniten havaintoja on 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 maatilan tiedonhallintajärjestelmät. Laiteintegraatio, laitteiden yhteensopivuus ja yhteen kytkettävyys ovat D.D.n mukaan parantuneet huomattavasti viimeisen neljän vuoden aikana (Polvinen 2018a). **Laitteiston ROI** eli laitteisiin sijoitettujen investointien tuotto on 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** ovat 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 sekin olla haasteellista. (Polvinen 2018a)

Laitteiden **hintojen halpeneminen** on uusien teknologioiden laajamittaiselle omaksunnalle tärkeää. C.C.n mukaan keskeinen tekijä laitteiden hintojen alas tuomiselle on olemassaolevan 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 on 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 nojaudutaan 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 on 23 havaintoa. Haastatteluissa käsiteltiin useita erilaisia **tuotteita ja ratkaisuita**. Yksittäisten ja nimeltä mainittujen tuotteiden, ratkaisuiden tai järjestelmien havainnot rajoittuivat **Yara N-sensor**ia lukuun ottamatta yksittäisiin haastatteluihin, eli kukin mainittiin vain yhdessä haastattelussa. Suurin osa mainituista ratkaisuista on pilvipalveluita, joita käytetään maatilan tiedonhallintajärjestelminä, maatilan tuottaman datan integrointiin, yhteishankinta-alustoina, viljelijöiden verkostoitumiseen jne. Haastatteluaineistossa ei mainittu N-sensorin ja SoilScoutin lisäksi nimeltä muita tuotteita, joita käytettäisi viljely-ympäristön tai kasvien havainnointiin. Toisaalta vastaaviin ratkaisuihin liittyviä teknologioita, järjestelmiä ja palveluita kuten anturitekniikkaa käsiteltiin yleisesti.

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

**365FarmNet** 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** 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, entinen Suomen Maatalouden Laskentakeskus Oy, on toteuttanut alustan viljelijöiden yhteishankinnoille **FarmiDiili**-palvelussaan. (Polvinen 2017b)

#### Sisällönanalyysiin taulukoinnin havainnot

Tässä osiossa kuvaillaan sisällönanalyysin tulosten taulukoinnista tehtyjä havaintoja. Taulukoinnin tuloksia tarkisteltaessa pyritään välttämään havaintojen lukumäärien käsittelyä 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 yhden tekijän tulkintoja haastatteluaineistosta.

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

Kuvio 1. Haastattelukohtaisten ja koko haastatteluaineiston yhteenlaskettujen koodien havaintojen määrien kaaviot

Tekniikan kategorian koodien havaintoja on 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 jakautuvat keskenään tasaisemmin.

Koko haastatteluaineiston koodien havaintojen yhteenlasketut määrät jakautuvat samankaltaisesti yksittäisten haastattelujen havaintojen kanssa kun ne järjestellään kategorioittain havaintojen määrän järjestykseen. Jokaisessa kategoriassa (Maataloustuotanto, Tekniikka ja Toimintaympäristö) on muutama keskeinen eniten havaintoja saanut koodi, jonka jälkeen havaintojen määrä laskee selkeästi ja päättyy “pitkään häntään” koodeja, jotka saivat vähän havaintoja.

Koko haastatteluaineistosta yhteen kootuista havaintojen määristä nousevat 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 on myös asiasisällöillä maataloustuotannon kannattavuus ja suomalaisen toimintaympäristön erityispiirteet, ISOBUS-standardi, telemetriaratkaisut, data-analytiikka ja datan integraatiot, pilvipalvelut, tietoliikenne- ja sensoritekniikat, laitteiden integraatio ja yhteensopivuus, tuotantotapatieto ja tuotantoketjun data.

Asiasisällöt jakautuivat alikategorioihin ja kategorioihin epätasaisesti (ks. Kuvio 2). Tekniikan kategoriaan luokiteltujen koodien määrä on 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 seuraa useampi tekniikan alikategoria kuten teknologiatuotteet, tietojärjestelmät, erilaiset teknologiat ja tietoliikenne. Muita koodien määrältään mainittavia alikategorioita ovat 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. Alikategorioiden koodien määrien kaaviot kategorioittain

Vertailtaessa kaikkia haastatteluaineistossa yli viidesti havaittuja koodeja kussakin haastattelussa yli kerran havaittuihin, voidaan havainnoida kuinka suurelta osin yksittäisissä haastatteluissa käsiteltiin samoja asiasisältöjä kuin kaikissa haastatteluissa yhteensä. Samalla voidaan tarkastella mitkä ja kuinka monet koodit on havaittu vain yhdessä haastattelussa ja mitkä asiasisällöt ovat näin olleet ominaisia kullekin haastattelulle. Havaintojen määrien rajaus on 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 lähes tasaisesti näiden välille. Suurin osa jokaisessa haastattelussa käsitellyistä asiasisällöistä on siis sellaisia, joita on todennäköisesti käsitelty myös muissa haastatteluissa. Tämä johtuu todennäköisesti kaikille haastatteluille yhteisistä haastatteluteemoista. Haastatteluille yksilöllisiä asiasisältöjä puolestaan on eniten A.A.n haastattelussa (Haastattelu 1) ja lähes yhtä usein C.C.n haastattelussa, 30 % ja 29 %. Vähiten yksilöllisiä asiasisältöjä puolestaan on D.D.n haastattelussa (Haastattelu 4), missä niitä on 17 %.

Kuvio 3: Havaintojen määrien jakautuminen haastatteluissa kategorioittain (ks. Liite 2)

Vertailtaessa kunkin kategorian koodien havaintojen prosenttiosuuksia kussakin haastattelussa muiden haastattelujen vastaaviin, voidaan havainnoida haastattelujen kesken kategoriakohtaisia painotuksia (ks. Kuvio 3). B.B.n haastattelu (Kuviossa Haastattelu 2) painottuu muita enemmän maataloustuotannon kategoriaan ja vastaavasti vähemmän toimintaympäristöön. C.C.n haastattelussa (Kuviossa Haastattelu 3) on muita pienempi prosenttiosuus 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 jakautuvat saman kaltaisesti, D.D.n haastattelun tekniikan kategorian osuuden ollessa hieman muita pienempi. D.D.n haastattelussa on myös lukumäärällisesti tekniikan kategorian havaintoja selkeästi pienin määrä. A.A.n haastattelussa on taas eniten tekniikan kategorian havaintoja. B.B.n haastattelussa puolestaan on 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 ovat uusien teknologioiden hyödyt, datan alustapalvelut, analytiikka, tietoliikenneverkot, pilvipalvelut ja datan integraatio. Maatalouden kategoriassa vastaavasti kaikissa haastattelussa havaituista koodeista keskeisimmät ovat päätöksenteon avustaminen, järjestelmäintegraatio, viljelyprosessien optimointi, tuotannon kannattavuus ja laitteiden integraatio ja yhteensopivuus. Nämä olivat myös kategoriassaan eniten havaitut koodit ja tekniikan kategorian vastaavat koodit ovat hajautuneempia eri haastatteluihin. Toimintaympäristön kategorian kaikissa haastatteluissa havaituista koodeista keskeisimmät ovat maatalouden yleiskuva, tuotantoketjun data ja suomalaisen viljely-ympäristön erityispiirteet. Toimintaympäristön kategorian koodit ovat selkeimmin hajautuneet eri haastattelujen kesken.

**A.A.n haastattelussa** eniten havaintoja on asiasisällöillä jotka käsittelevät uusien teknologioiden omaksunnan mahdollisuuksia, digitalisaation aiheuttamaa toimintaympäristön muutosta, teollisuusautomaation teknologioita, täsmäviljelyä tuotantotapana ja pilvipalveluita. Useita havaintoja on 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 ovat tuotannon laatuerien tunnistaminen, tuotteiden lisäarvo ja dataperustainen hinnoittelu, uudet liiketoimintamallit, viljelijöiden ja kuluttajien verkostoituminen, datan käyttö ja omistajuus. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottuu teknologioiden tuomiin mahdollisuuksiin ja niiden realisointiin maataloudessa.

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

**C.C.n haastattelussa** puolestaan eniten havaintoja on asiasisällöillä jotka käsittelevät ISOBUS-standardia, sensoriteknologioita ja teknologioiden omaksunnan laajuutta. Useita havaintoja on 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 painottuu maatalouden tuotantoon, siinä käytettäviin laitteisiin ja teknologioihin, tietoliikenneratkaisuihin ja teollisuusautomaation soveltamiseen maataloudessa.

**D.D.n haastattelussa** eniten havaintoja on asiasisällöillä jotka käsittelevät tiedonkäsittelyn alustapalveluita, viljelynsuunnittelujärjestelmiä, digitalisaation riskejä, tuotantojärjestelmien integraatioita ja laitteiden yhteensopivuutta. Useita havaintoja on myös asiasisällöillä datan integraatio, tietoliikennetekniikat, maatalouden toimintaympäristön hajanaisuus, tuotannon kannattavuus ja tuotantotapatieto. Haastattelussa keskeisiä yksilöllisiä, yli yhdesti havaittuja asiasisältöjä ovat maataloustuotannon sovelluskirjo, teknologiatuotteiden siiloutuneisuus, viljelijän työnkuvan muutos ja ortomosaiikkikartat. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottuu järjestelmien integroinnin sekä maatalouden toimintaympäristön haasteisiin.

**E.E.n haastattelussa** taas eniten havaintoja on 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 on myös asiasisällöillä tiedon tuottama lisäarvo, data-analytiikka, maatilan tiedonhallintajärjestelmät ja teknologiaomaksunnan hyödyt. Haastattelussa keskeisiä yksilöllisiä, yli yhdesti havaittuja asiasisältöjä ovat maatalouden digitalisaation murros, autonomiset traktorit, paikkatieto, viljelijöiden teknologia-asiantuntemus, tietoturva, käyttäjälähtöinen tuotekehitys ja poliittinen päätöksenteko. Kokonaisuudessaan haastattelun sisältö painottuu digitalisaation ja uusien teknologioiden mahdollistamaan muutokseen maataloudessa.

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

Lämpökartan (ks. liite R heatmap.2) 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 voidaan havaita kunkin haastattelun painotuksia ja lähestymiskulmia, jotka muotoutuivat kullekin haastateltavalle asiantuntijalle ominaisiksi.

### Haastatteluaineiston kuvaus

Tässä osiossa kuvaillaan haastatteluissa käsiteltyjen teemojen mukaan jaotellut haastattelutulokset. Havainnot on tehty haastatteluaineiston litterointien ja niistä tehtyjen muistiinpanojen sisällöstä. Haastateltavista käytetään nimimerkkejä A.A., B.B., C.C., D.D. ja E.E.

#### AIoTn tilanne yleensä

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

A.A. kertoi, että täsmäviljelyä on historiallisesti toteutettu jo hevosaikaan käsityökaluilla nojautuen viljelijän omaan hiljaiseen tietoon ja hyvin vähäisillä panoksilla. Myöhemmin viljelyn tehostumisen ja nyt EU:n pinta-alaperustaisen maataloustuen vaikutuksesta maatilojen 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 teknologialla 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 teknologioiden leviämisen ja hintojen alenemisen myötä, jolloin niistä on tullut niin sanottua perusteknologiaa. Toisaalta pienillä peltopinta-aloilla toimittaessa tulee täsmäviljelyn vaatima lisäinvestointi koneiden hinnassa kattaa työn tehostamisella. Työtehoa 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 urakoitsijoiden käytöllä, kun töiden ohjeistaminen tehdään digitaalisesti ohjaustiedostoilla. Työkoneiden ja prosessien datan keräämisen ja tallentamisen avulla viljelijän omaa hiljaista 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 murroksessa, jossa ollaan siirtymässä analogisista hevosvoimia tuottavista laitteista digitaalisiin tietoa 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-mikroihin ja nyt takaisin verkon yli toimiviin ratkaisuihin. Laitteiden verkottuminen on hänen mukaansa vielä alkuvaiheessa 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 anturointia 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 kasvihuoneautomatiikkaa 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 havaita itse siinä ilmeneviä vikoja ja lähettää huoltokutsuja tarvittaessa. Näin tuotettua tietoa valmistajat käyttävät pääasiassa oman tuotekehityksensä apuna, mutta voivat myös tarjota 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. Tämänkaltaisen 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 tutkittu suljettuja kasvihuoneita, joissa sovelletaan hyvin pitkälle automatisoituja monikerrosviljelyn ratkaisuita. (Polvinen 2017b)

Haastattelussa D.D. kertoi, että AIoT:n ja maatalouden digitalisaation alueella on jo tällä hetkellä tarjolla valmiita teknologiaratkaisuita ja niitä on riippuen maatalouden osa-alueesta jossain määrin otettu käyttöön (Polvinen 2018a). Nykyiset ratkaisut ovat vielä E.E.n mukaan keskenään erilaisia ja osittain omiin tuotekategorioihinsa siiloutuneita, esimerkiksi laitetelemetriatuotteet ja maatilan tiedonhallintajärjestelmät (engl. Farm Management Information System, FMIS) 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 alunperin 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-ratkaisuiksi luokiteltavien tuotteiden yleistymistä odotetaan C.C.n mukaan tapahtuvaksi lähiaikoina. (Polvinen 2017a, 2018b)

Ylipäätään 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 maatilan 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, minkä ratkaisuksi on kehitetty ISOBUS-standardi. ISOBUS-standardi on D.D.n mukaan ratkaissut pitkälle työkoneiden yhteenliitettävyyden ongelman ja nyt kehityskulku on menossa kohti seuraavaa vaihetta, missä työkoneet liitetään osaksi jotain laajempaa järjestelmää. Esimerkkinä tällaisesta hän mainitsi Agrineuvoksen kehittämän ratkaisun, jolla Valtran 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 maatilan 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 maatilojen 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 pienemmillä 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) Käyttöönoton 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 AIoTn 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 hallinnointia. 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 pellosta 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-ratkaisujen omaksunnan 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 rajoittuessa sääasemiin. Tilakohtaisia sääasemia käytetään puutarha- tai perunanviljelyssä enemmän kuin viljanviljelyssä, mutta erikoisviljelyssä taas sääasemien käyttöä on vähän enemmän. (Polvinen 2017a)

AIoT-teknologioiden omaksunnasta 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 anturiteknologia kuten Yaran N-sensori antaa mahdollisuuksia ulosmitata lohkolta saatavan satovasteen potentiaali tasaisesti ja anturiteknologian omaksuminen on etenemässä viljelijöiden keskuudessa. Toisaalta uutta teknologiaa ei todennäköisesti omaksuta jos aiempi kehitysvaihe on vielä ottamatta käyttöön. Viljelijät eivät hänen näkemyksensä mukaan todennäköisesti tee suuria teknologiaharppauksia tai hyppäyksiä kehitysvaiheiden ylitse. Esimerkkinä peltoviljelyn lannoituksesta B.B. mainitsi tämän aikaisemman kehitysvaiheen olleen jaettu lannoitus ja uusi kehitysvaihe vastaavasti on jaetun lannoituksen hallinta uusien teknologioiden avulla. Ylipäätään AIoT-teknologioiden omaksunnan tilanteesta B.B. kertoi, että viljelijät voivat käyttää anturiteknologiaa 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 työkoneet 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 kehittyy 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 huomattavan 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 maatilan datavarastoihin on vielä työn alla. Samalla A.A. huomautti, että voi vaikuttaa siltä, että maatalous olisi jäljessä muihin teollisuudenaloihin verrattuna, mutta tämä johtuu osin alan pirstaleisuudesta sekä ISOBUS-standardin kehittämisessä on pitkään jouduttu keskittymään traktorien ja työkoneiden 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 tiedonkäsittelystandardien 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 -ratkaisuja 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 toimintonsa 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 standardiperusteisien 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 maatilan 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 enenevissä 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 tehostamista ja vahinkojen välttämistä varten. Käyttäjät ovat lukitettuja yhteen toimittajaan kunkin valmistajan järjestelmän kanssa, joista jokainen on kehitetty vain tiettyä tarkoitusta varten. A.A. huomautti, että tämä on teollisuusautomaatiossa 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 huomattavan vaikeaa. Samoin kuin teollisuusautomaatiossa, 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 AIoTn 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 investoitu huomattavasti 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 tuotantojärjestelmien 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 perusautomatiikka 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 esimerkillä 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 muutamaan päivään 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 laatuperustaisen hinnoittelun. Tuotantoketjun datan ensisijainen tarvitsija on viljelijä itse, joka sen avulla pyrkii parantamaan päätöksentekoa omassa viljelyprosessissaan (Polvinen 2017a). Viljelyprosesseista 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 päätyy viljelijälle. Paremman tietämyksen avulla kuluttajat voisivat vaikuttaa tuotantoketjun tasa-arvoisuuteen omilla valinnoillaan. (Polvinen 2017b)

**Kuluttajien haasteet tuotantoketjun tietojen ymmärtämisessä** voivat olla huomattavia. 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 datasettien 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 sertifikaatit 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 järjestelmästään ottaa oman datansa käsiteltäväksi vaikka taulukkolaskentasovellukseen, mutta heidän käyttöliittymänsä tarjoaa paremmat mahdollisuudet datan analysointiin ja vertailuun. Käyttöliittymän avulla voidaan datasta jalostaa raportteja ja analyyseja – 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)

#### AIoTn 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 vääjäämättä menossa siihen, että maatilan 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 Farmobilen 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 elintarviketeollisuudessakin (Polvinen 2018a). AIoT-teknologiat voisivat mahdollistaa yksittäiselle viljelijälle tietyn viljelytavan toteen näyttämisen, 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 huomattavia etuja. Vaikka teknologia on mahdollistaja, lopulta käyttöön jäävän ratkaisun valikoitumista ohjaavat liiketoiminta, käytettävyys ja muut vastaavat ominaisuudet ja olosuhteet. (Polvinen 2018a)

**Ihmisen rooli päätöksentekijäne AIoT-ratkaisuissa** on vielä merkittävä – ja hyvästä syystä. Vaikka IoT-ratkaisuiden määritelmissä 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 enemmän 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 hyvinkin pärjätä vastaisuudessakin, tuotannossa voi silti olla huomaamatta jääneitä pullonkauloja jotka voitaisiin havaita datan analysoinnilla. Samaan tapaan tehtyjen viljelypäätösten 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)

**AIoT-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-ratkaisujen 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 konekantaa ja ottamaan käyttöön uusia ohjelmistoja. Erityisesti subscription-lisenssimallin ohjelmistojen käyttöönoton kynnys voi olla tällä hetkellä korkea. (Polvinen 2018a)

**AIoT-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 AIoT-teknologioilla voidaan helpottaa viljelijän työskentelyä tai antaa hänelle aikaa keskittyä vaikka perhe-elämään. Järjestelmät voidaan suojata tietoturvauhkia 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-teknologioiden mahdollisuudet ruokaturvan parantamisessa** liittyvät erityisesti parempaan tiedon tuottamiseen ja saatavuuteen. IoT-teknologiat 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-teknologiat 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 tilannehallintaa 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 määritellä onko ruokaturvassa todellista korjattavaa ongelmaa, kuinka vakava ongelma on ja millaista ongelmaa ylipäätään ollaan näillä IoT-teknologioilla ratkaisemassa. Hänen mukaansa pääasiallinen ongelma ruokaturvassa on ruoan liikkumat pitkät matkat, jolloin ruoalle tarvittaisiin identiteetti. 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 ruoantuotannon tulisi olla yksittäisille toimijoille kannattavaa ja työn sellaista, että se motivoisi maanviljelijää kehittämään omaa toimintaansa. Tällöin ruokatuotanto kehittyisi jatkuvasti, maataloustuotannon kyky vastata tuleviin ja nykyisiin haasteisiin paranisi ja sitä kautta oma ruokaturvamme vahvistuisi. (Polvinen 2018b)

#### AIoTn haasteet

##### 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 kanna 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 pellosta 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 kanna 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 maatiloille rakennettujen verkkojen suunnittelematon 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 maatiloilla 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 maatilan 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 maatiloilla käytössä olevan automatiikan haasteita ovat elinkaaren pituus ja luotettavuus. Viimeaikaisessa tutkimuksessa on havaittu maatiloilla 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 ala on vielä verrattaen 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 kypsymättömyys näkyy 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.llä 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 käyttökelvottomia 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 keräisi 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 huomattavaksi 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 käytettävyys. 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 typpeä yhtenä vuonna ja toisena vuonna 60-70 kiloa. Koska olosuhteet ja kasvukaudet vaihtelevat, tarvitaan osaamista, datan louhintaa ja algoritmien tuotekehitystä aikaisemman tiedon pohjalta. Koska lannoitussuositus vaikuttaa sekä satotasoon että kannattavuuteen, 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 täsmäviljelyteknologiasta tietoisia. Lisäksi uuden teknologian käyttöönottoa vaikeuttaa se, että Suomessa ei aina pystytä 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 maanviljelyä. 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 lähde toteuttamaan täsmäviljelyä, 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 rajalla, 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 ratkaisujen 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 määrä 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 pellosta tulee aina jotain säästä huolimatta ja parempi prosessien hallinta olisi myös varautumista ilmastonmuutoksen myötä uhkaaviin tauti- ja hyönteisinvaasioihin. Silloin tilannehallinta 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 maatilan toimintaa mittaroimaan 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, salaatilla ei voi ruokkia maailmaa. Viljan tai perunoiden tuotanto kerrosviljelmissä kannattavasti voisi merkitä huomattavaa muutosta ruokatuotannon 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 ajosuunnittelun 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 huomattavasti 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 tavoitetila B.B.n mukaan on ihmisen toteuttamien työvaiheiden vähentäminen tietojenkäsittelyssä, mutta ei ole varmaa millä aikavälillä voitaisiin odottaa täysin automatisoidun järjestelmän tulemista yleiseen käyttöön. Sellaisen toteutus on kuitenkin ilmeisesti lähellä. (Polvinen 2017c)

Maatalouden tulevaisuudenkuvana ajatellen viljelijä voisi saada käyttöliittymäänsä kehotuksia toimista ja niiden perustelut. Esimerkiksi anturien antaman tiedon analyysin perusteella tarvitaan lisälannoitusta tiettynä 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 itsenäisesti 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 hehtaaritehokkuus 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 yksinkertaisemman 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)

## Tutkimustulosten yhteenveto

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 alan ominaispiirteisiin kuten yleiseen hajanaisuuteen sekä data- ja järjestelmäintegraatioiden, tietoliikenneyhteyksien ja tuotantoympäristöjen asettamiin haasteisiin. Näiden haasteiden vaikutuksesta kasvintuotannon IoT-teknologioiden omaksunta on erityisesti peltotuotannon sovelluksissa muita teollisuudenaloja jäljessä. Valmiiden IoT-ratkaisuiden vähäisyyden takia tämän opinnäytetyön tutkimustulokset painottuvat valmiita ratkaisuita ja käyttötapauksia enemmän tutkimusten, AIoTn avointen haasteiden ja tulevaisuuden visioiden tarkasteluun. Samoin suurin osa AIoT-järjestelmistä ei ole “aitoja” tai “täysimittaisia” IoT-ratkaisuita, joissa antureiden tuottama data analysoitaisiin ja tulosten perusteella kontrolloitaisiin viljely-ympäristöä 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-teknologioilla, jotka tulevat toimimaan kasvintuotannon automaation taustalla. Uudet teknologiat mahdollistavat myös uusien liiketoimintamallien kehittämisen.

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

AIoT-järjestelmien datan tuotanto perustuu yleensä anturilaittesiin, jotka on yleensä kytketty anturiverkkoihin ja ne toimivat AIoT-järjestelmien toimintaketjun alkupäänä. Dataa voidaan tuottaa anturilaitteilla useilla eri tavolla sekä kasveista että koneista. Maatalouskoneisiin asennettujen anturien tuottaman tiedon sekä kaukokartoituksen korkearesoluutiokuvien tuottaman tiedon avulla voidaan optimoida viljelmien hallintaa, jolla voidaan saavuttaa parempia satoja ja parantaa tuottavuutta ympäristöystävällisemmin. Anturilaitteiden kehityksen keskeisiä avoimia haasteita ovat yksikköhintojen saaminen alas, energiatehokkuuden parantaminen ja laitteiden fyysisen kestävyyden kehittäminen vastaamaan käyttöympäristön vaatimuksia. Anturilaitteilla tuotettua dataa voidaan käyttää tosiaikaiseen työkoneiden ohjaamiseen ja 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 ruokatuotannon ja tuotantoketjujen verkostoihin. Autonomiset peltotuotannon robotit eivät ole vielä yleistyneet, mutta niiden kehitys on ollut nopeaa. Kasvihuonetuotannon robotit ovat kehittyneet lähes samassa tahdissa muiden teollisuudenalojen vastaavien kanssa.

Tietoliikenneratkaisut 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 tietoliikenneratkaisuita. Yksi keskeisiä AIoT:n kehityksen haasteita on vakaiden ja luotettavien langattomien yhteyksien kehittäminen viljelyalueille, joilla tietoliikenneyhteydet 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 päätöksetekoa. Päätöksenteon tukeminen on AIoT-järjestelmien keskeisimpiä toimintoja. Suosituksien 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 siirreltävyys järjestelmästä toiseen ovat keskeisiä avoimia haasteita.

Näiden lisäksi avoimia haasteita ovat AIoT-ratkaisuiden käyttöönoton laajentaminen sekä tieto- ja kyberturvallisuuden kysymykset. AIoT-ratkaisut 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 maatiloilla 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 tuotantotapatietoihin 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 tilan 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 ratkaisujen 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 arkkitehtuurimalliin.

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 dynaamisemmiksi tuotantoketjujen verkostoiksi, joissa tuotanto on muuttumassa kysyntävetoiseksi. Tiedon jakamisen avulla voidaan ruoan tuotantotapatieto 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 merkitsevimmän kehitysaskeleen 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 maatilojen viljelykäytänteisiin ja tapoihin tehdä asioita ja hoitaa tilaa. Jos näitä vaatimuksia ei kyetä täyttämään, laaja AIoT-teknologioista saatavien hyötyjen realisointi voi jäädä rajalliseksi.

### Tutkimuskysymyksien vastaukset

* Millaista tutkimusta IoT-teknologioiden soveltamisesta kasvintuotantoon on julkaistu?
* Miten kasvintuotannossa hyödynnetään IoT-teknologioita?

# POHDINTA

## Luotettavuus

## Hyödynnettävyys

# LIITTEET

Liite 1: R heatmap.2 Liite 2: Havaintojen määrien jakautuminen haastatteluissa kategorioittain

# LÄHTEET

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).

Barmpounakis, S., Kaloxylos, 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).

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).

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress.

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*.

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.

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.

International Telecommunication Union (2012). Y.2060 : Overview of the Internet of Things.

Kaloxylos, A., Wolfert, J., Verwaart, T., Terol, C. M., Brewster, C., Robbemond, 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.

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).

Onwuegbuzie, A. J. & Frels, R. (2016). *7 steps to a comprehensive literature review : A multimodal & cultural approach*. Los Angeles: SAGE Publications Ltd.

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.

Salminen, A. (2011). *Mikä kirjallisuuskatsaus? : johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin*. Vaasa: Vaasan yliopisto.

Salo, U.-M. (2015). Simsalabim, sisällönanalyysi ja koodaamisen haasteet, (165), s. 25.

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).

Tuntematon (2018). *Internet of Things Global Standards Initiative*. <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> [2018-09-16].

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).

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. & Rialland, 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, UNKNOWN: 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 Economic Forum (2015). Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services.