Tutkimusraportti.md:n mukaan, tiivistelmä & tutkimusmenetelmät OppariTutkimussuunnitelma.md:n mukaan.

# Tiivistelmä

Tässä tutkimusraportissa kuvataan, millaisia IoT–teknologioita hyödyntäviä ratkaisuita tutkitaan ja sovelletaan maataloudessa kasvintuotannon alueella pelto- ja puutarhatuotannossa. Tutkimusongelmiin löydettyjä vastauksia esitellään tutkimustuloksissa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää I) millaisia IoT–teknologioita (Internet of Things, esineiden internet) on sovellettu ja tutkittu kasvintuotannon alueella sekä II) millaisia kokemuksia ja näkemyksiä kasvintuotannossa toimivalla suomalaisella yrittäjällä on IoT–teknologioiden hyödyntämisestä ja mahdollisuuksista.

Tutkimus toteutetaan kahdella tutkimusmenetelmällä: kirjallisuuskatsauksena ja yksilöteemahaastatteluna. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään kasvintuotannossa käytettäviin IoT–teknologioihin joiden sovelluksista on saatavilla joko tutkimustietoa tai muuten luotettaviksi arvioitavia lehtiartikkeleja tai valmistajien tiedotteita. Yksilötee-mahaastattelussa pyritään hahmottamaan millaisia henkilökohtaisia kokemuksia ja näkemyksiä IoT–teknologioiden hyödyntämisestä haastateltavalla maatalousalan toimijalla itsellään on.

Tutkimus toteutetaan vuoden 2017 kesän ja syksyn aikana.

Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää hyväksi päätettäessä lisätutkimuksen tarpeellisuudesta sekä lisäämään kasvintuotannon alan toimijoiden tietämystä IoT-teknologioista.

Tässä raportissa käytetään lähdeviittauksissa Harvard Reference format 1 (author-date):a.

# Johdanto

Tutkimuksen aihepiirinä on maatalouden esineiden internetiin (Agriculture Internet of Things, AIoT) liittyvät tutkimukset, julkaisut ja teknologiasovellukset. Teknologiasovelluksista käsitellään sekä tutkimus- ja prototyyppiluonteisia toteutuksia että kaupallisia tuotteita. Tutkimuksessa pyritään I) luomaan kuva AIoT:n tutkimuskentän tilasta sekä II) hahmottelemaan haastattelujen tulosten perusteella kasvintuotannon alan toimijoiden käsityksiä ja kokemuksia aiheesta.

Maatalouden esineiden internet on merkittävänä osana teollisuuden esineiden internetiä (Industrial Internet of Things, IIoT) viimeaikaisen edullisten ja tehokkaiden pilvipalveluiden, sensori- sekä verkkoteknologioiden kehityksen myötä mahdollistunut tavalla joka on saanut monet tahot ennustamaan ennennäkemätöntä tuottavuuden kasvua seuraavan vuosikymmenen aikana (Gilchrist (2016), 2). Koska AIoT:tä pidetään yleisesti IIoT:n osana, käsitellään tässä tutkimuksessa myös IIoT:n teknologiasovelluksia ja tutkimusta soveltuvin osin.

Kasvintuotannossa laajasti käytössä olevat digitaaliset teknologiaratkaisut ovat pitkään olleet M2M–periaatteella toimivia (Machine to Machine, laitteelta laitteelle) jolloin tuotettu raakadata jää yleensä esimerkiksi traktorin tai puimurin tietokoneelle. Tällöin tietoa ei voida hyödyntää IoT:n keskeisen paradigman mukaisesti analysointiin ja sitä kautta toiminnan automaattiseen ohjaamiseen. IoT–teknologioiden mahdollistaman laitteiden välisen tiedonsiirron, sensorien tuottaman raakadatan analysoinnin ja siitä saatavan tietämyksen hyödyntämisen nähdään yleisesti tuottavan huomattavaa lisäarvoa.

Aineiston keruun alkuvaiheessa löytyi lehtiartikkeli, jossa G. Monbiot kirjoitti sensaatiomaiseen tyyliin YK:n julkaisemista laskelmista viljelysmaan eroosiosta. Artikkelissa hän väittää, että viljelyskelpoinen maa kulutetaan nykyisillä maata kuluttavilla viljelystekniikoilla loppuun keskimäärin maailmanlaajuisesti 60:ssä vuodessa, Englannissa saman lukeman ollessa 100 vuotta. (Monbiot (2015)) Vaikka kyseinen lukujen tulkinta ja esitetyt väitteet osoittautuisivat tarkemmin tutkittaessa puutteellisiksi, tarve uusille ja tehokkaammille viljelytekniikoille on selkeä: maailman väestön ennakoidaan yleisesti kasvavan yhdeksään miljardiin asti, mistä sen ennakoidaan hitaasti vähenevän. Kirjallisuuskatsauksessa Internet of Things in Agriculture Verdouw et al. mainitsevat ruokaturvan kriittisyyden korostuvan lähivuosikymmeninä paitsi väestönkasvun myös kehittyvillä markkinoilla tapahtuvan elintason nousun myötä (Verdouw et al. (2016)). Samoin FAO:n vuoden 2012 raportissa World Agriculture Towards 2030/2050 arvioidaan vuoteen 2050 mennessä tarvittavien tuotannon kasvuksi 940 miljoonaa tonnia viljakasvien osalta (Alexandratos, N. & Bruinsma J. (2012), 17).

Lisäksi Verdouw et al. mainitsevat ruokaturvaa heikentävänä seikkana maapallon kantokyvyn ylittymisen nykyisin käytössä olevilla maatalouden tuotantomenetelmillä. Globaalin ruokaturvan ja ympäristönsuojelun erityisiksi haasteiksi he kuvaavat globalisaation, ilmastonmuutoksen, polttoaineperusteisesta bioperusteiseen talouteen siirtymisen sekä maan, makean veden ja työvoiman käytön kilpailun vaikutukset. IoT–teknologioiden odotetaan auttavan näihin haasteisiin vastaamisessa entistä tarkemmalla tuotannon ja tuotantoympäristön seuraamisella, tuotannon etäohjauksella, tuotteiden laadun tarkkailulla sekä kuluttajien ymmärryksen lisäämisellä. (Verdouw et al. (2016))

Erityisesti IoT–teknologioita hyödyntävää kasvintuotantoa toteutetaan kasvihuoneissa ja kasvitehtaina tunnetuissa laitoksissa, joissa täysin kontrolloiduissa olosuhteissa kasvatukseen käytettyjen resurssien kuten pinta-alan, lannoitteiden ja kasvuajan tehokkuus on saatu moninkertaistettua. Suomessa ollaan ottamassa kaupallista kas-vitehdasta tuotantoon vuonna 2017 Fujitsu Greenhouse Technology Finland Oy:n ja Robbes Lilla Trädgård Ab:n yhteishakkeena (Fujitsu (2016), Schäfer (2016)).

Tutkittavaksi ilmiöksi on näin materiaaliin tutustuttaessa muodostunut IoT–teknologioiden hyödyntäminen kasvintuotannossa viljelyn tehostamiseksi ja samalla viljelyn aiheuttaman ympäristökuormituksen minimoimiseksi. Uutta tietoa odotetaan syntyvän tässä tutkimuksessa vain vähän toteutettavassa yksilöteemahaastattelussa ja tutkimukseen käytettävissä olevan ajan rajallisuuden myötä, mutta tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää apuna päätettäessä jatkotutkimuksen tarpeellisuudesta ja toteutuksen mahdollisuuksista.

# Teoriatausta

Tässä osassa käsitellään tutkimuksen osana tehdyssä kirjallisuuskatsauksessa löytyneitä tietoja AIoT:n taustasta, sen käytännön sovelluksista ja tutkimustuloksista. Teoriataustassa pyritään vastaamaan ensimmäiseen tutkimusongelmaan, eli miten kasvintuotannossa hyödynnetään IoT–teknologioita, miten pelto- ja puutarhatuotannon erot vaikuttavat teknologiasovelluksiin sekä millaiset teknologiasovellukset tulevat löydöksistä selkeimmin esille.

## Taustaa

FAO:n vuoden 2012 raportissa arvioidaan väestönkasvun myötä tarvittavan globaalin ruoantuotannon kasvun olevan saavutettavissa mutta vaativan investointeja. Raportissa käsiteltyjen Maailmanpankin ennusteiden mukaan köyhyys ei ole katoamassa maailmasta vuoteen 2050 mennessä vaan tuloerot maiden välillä tulevat olemaan huomattavat, jolloin ruoantuotantoon tehtävät investoinnit tulevat jakautumaan epätasaisesti. (Alexandratos, N. & Bruinsma J. (2012), 37) Tämä puolestaan asettaa vaatimuksia kustannustehokkaampien viljelytekniikoiden kehittämiselle —erityisesti ilmastonmuutoksen todennäköisten vaikutusten vaikeuttaessa maanviljelyä suuressa osassa maailmaa.

Ilmastonmuutoksen aiheuttama lämpötilojen nousu lisää kasteluntarvetta ja saattaa samalla rajoittaa kasteluveden saatavuutta. Tällöin tarvitaan entistä tarkempaa tietoa kastelun todellisesta tarpeesta sekä tarkempaa kastelun hallintaa —myös kotimaisessa kasvintuotannossa. Ruokakaupan jatkuvan hintakilpailun ja kasvavan luomuruoan kysynnän myötä on myös tarve kehittää viljelytekniikoita joilla voidaan säästää lannoituksessa ja saada silti enemmän irti samasta kasvatuspinta-alasta.

Täsmäviljelyn kehityksellä ollaan aikaisemmilla vuosikymmenillä saavutettu säästöjä lannoituksessa ja tehostettu viljelypinta-alan käyttöä. IoT–teknologioiden nähdään mahdollistavan täsmäviljelyn eteneminen ns. Smart Farming:iin, missä maatilasta muodostuu älykäs, keskenään toimivien laitteiden verkko. Tällöin voidaan yhdistää tosiaikainen sensorien tuottama havaintodata, datan automaattinen älykäs analysointi ja tuotantosuunnittelu sekä tuotantoprosessien kontrollointi. Täsmäviljelyn käyttöönotto ei ole kuitenkaan mainittavasti edennyt pienen innovatiivisen viljelijäjoukon ulkopuolelle ja täsmäviljelyssä tuotetun datan älykäs käyttö on edelleen hyvin vähäistä. (Verdouw et al. (2016))

Valtiollisille toimijoille IIoT:n ja sen mukana AIoT:n kehityksen tukemisen nähdään olevan kannattavaa niiden mahdollistaessa tehokkaamman kotimaisen tuotannon. Tämän tehokkuuden lisäyksen ennustetaan kääntävän halvempien tuotantokustannusten maihin kohdistuvan teollisen tuotannon ulkoistamisen trendin. Lisäksi tehostuneen tuotannon ennustetaan johtavan ennennäkemättömään taloudellisen kasvuun seuraavan vuosikymmenen aikana. (Gilchrist (2016), 2, 222)

Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen (ETLA) raportissa Suomalaisen teollisen internetin taustoista kerrotaan Valtioneuvoston kanslian (VNK) nimenneen teollisen internetin yhdeksi kärkiteemoistaan (Ahlqvist et al. (2015), 3). Hallituksen kärkihankkeeseen Digitaalisen liiketoiminnan kasvuympäristön rakentaminen ensimmäisenä toimenpiteenä on “Edistetään esineiden internetiä” (Berner (2016), 2).

Tämän kärkihankkeen vaikutuksia suomalaisella maataloussektorilla käsitellään tarkemmin Kimmo Tammen opinnäytetyössä Digitalisaatio maatalouden B2B-liiketoiminnassa, missä kerrotaan hallitusohjelman huomioivan entistä datalähtöisempien toimintatapojen kehittämisen, tukien hakemisen helppouden sekä erilaiset kokeiluhank-keet rahoituksineen uusien liiketoimintamallien kehittämisessä. (Tammi (2016), 17)

Suomessa IoT–teknologioiden hyödyntämiseen suuntautuvia tuotteita ja palveluita on tarjolla ainakin Telialla (Telia (2017)) ja Digitalla (Digita (2017)), joiden tarjoamat tietoliikenneratkaisut ovat sovitettu IoT–teknologioiden vaatimuksiin. Molemmat toimijat kannustavat asiakkaitaan kehittämään uusia IoT–ratkaisuita ja tarjoavat niiden tueksi laajaa osaamistaan ja tietoliikenneverkkoaan. Laitteiden väliset verkkoyhteydet ovat haasteellisia monissa peltokasvintuotannon IoT–hankkeissa, mikä tekee tarjotuista palveluista mielenkiintoisia niiden tarjoaman kattavan langattoman tietoliikenneverkon takia. Kattava verkko mahdollistaa ja helpottaa myös osaltaan kokeiluhankkeiden kasvua prototyypeistä tuotantojärjestelmiksi.

Verkkoyhteydet kuvaillaan Internet of Things in Agriculture -kirjallisuuskatsauksessa myös yhtenä kolmesta IoT–arkkitehtuurien tasoista, muiden tasojen ollessa laitetaso sekä sovellustaso. Laitetasolla tapahtuvan sensorien, havaintolaitteiden ja ohjattavien laitteiden käyttöön tarvittavan verkkoliikenteen tapahtuessa verkkotasolla, lopuksi kokonaisuuden hallinnan ja tiedon analysoinnin tapahtuessa vastaavasti sovellustasolla. (Verdouw et al. (2016)) Vastaavasti IoT–teknologioiden yleisen SOA–arkkitehtuurin (service-oriented architecture) kuvataan kirjassa Internet of Things: Principles and Paradigms koostuvan neljästä tasosta: sensori-, verkko-, palvelu- ja rajapinta/käyttäjäliittymätasosta (Buyya & Dastjerdi (2016), 8).

Internet of Things in Agriculture -katsauksessa eritellään myös AIoT:n tulevaisuuden haasteiksi hyvin erilaisten laitteiden yhteiskäytettävyys, tosielämän käytön skaalautuminen aikaisten omaksujien joukon ulkopuolelle, teknologiaratkaisujen kehittäminen sopimaan toimialan erityistarpeisiin sekä oikeiden käyttöympäristöjen olosuhteisiin, luotettavien verkkoyhteyksien toiminnan varmistaminen myös etäisillä käyttöpaikoilla, energiatehokkaiden IoT–teknologioiden kehittäminen, kolmannen osapuolen tuottaman datan yhdistäminen data-analytiikkaan ja luotettavien tietoturvapalveluiden sekä datan omistajuuden varmistavien palveluiden kehittäminen. (Verdouw et al. (2016))

## AIoT:n käytännön sovelluksia ja tutkimustuloksia

Tässä osassa käsitellään tutkimuksen osana tehdyssä kirjallisuuskatsauksessa löytyneitä tietoja AIoT:n teknologiasovelluksista peltokasvituotannossa ja puutarhatuotannossa.

### AIoT-täsmäviljely peltokasvituotannossa

AIoT-täsmäviljelyn kokeiluhankkeilla ollaan yleisesti saavutettu hyviä kokemuksia. Erityisesti parantuneen resurssienhallinnan myötä käyttöönoton kustannukset saadaan yleensä katettua kohtuullisessa ajassa. Kokeiluhankkeet ovat edistäneet täsmäviljelyn sovelluksia niin pitkälle, että monet viljelijät ovat voineet ottaa ne laajamittaiseen käyttöön omassa tuotannossaan. (Buyya & Dastjerdi (2016), 137) Tärkeä osa peltokasvituotannon tehostamista on traktorien automaattiohjaus, joka tehostaa käytetyn peltopinta-alan käyttöä (DuBravac & Shapiro (2015), 133).

Samankaltaisista hyvistä kokemuksista sekä viljelytekniikoiden tehostamisesta automatisoinnilla kerrotaan lyhyesti Luonnonvarakeskuksen tiedotteessa jonka mukaan traktorin automaattiohjauksen avulla on saatu peltopinta-ala tehokkaampaan käyttöön ja kuljettajan työtaakkaa kevennettyä (Luonnonvarakeskus (2015)). Samankaltaista työnjaosta mainitaan kirjassa Industry 4.0: The Industrial Internet of Things, jossa tutkijoiden hahmottelemassa tulevaisuudenkuvassa ihmisten työtä ei ole korvattu robottien tekemällä työllä vaan ihmisten ja robottien yhteistyöllä (Gilchrist (2016), 11).

Yksi sovellus peltokasvituotannossa sovellettavista AIoT–teknologioista on J. Tiusasen väitöskirjassa Langattoman Peltotiedustelijan maanalainen toimintaympäristö ja laitesuunnittelu kehitetty peltoon kaivettavien langattomien sensorilaitteiden toteutus jota testattiin käytössä vuoden ajan (Tiusanen (2008), 4). Tämän kaltainen ratkaisu mahdollistaa maaperän tilan jatkuvan tarkkailun ilman erikseen tehtävää näytteidenottoa. Peltotiedustelijan kaupallinen sovellus on julkaistu PocketVenture -joukkorahoitusalustalla rahoitettavaksi (Skelly (2015)).

Toisenlainen jo laajassa käytössä oleva ratkaisu pellon maaperän tutkimiseen on maaperän EM-skannaus esim. Veris Technologiesin kehittämillä laitteilla. Skannaus tehdään ennen kasvukautta pellon maaperän koostumuksen selvittämiseksi ja skannauksessa tuotettua tietoa voidaan käyttää hyödyksi lannoituksen ja kastelun suunnittelussa, mutta mittauksia ei voida tehdä kesken kasvukautta sen vaatiessa ajoa työkoneella pellon yli (Veris Technologies (2017)).

Kirjallisuuskatsauksen Internet of Things in Agriculture viittaamista peltotuotantoa (arable farming) käsittelevistä tutkimuksista suurin osa käsitteli kasvatusympäristön tarkkailua ja säätelyä edistyneiden IoT–laitteiden avulla. Toinen merkittävä aihealue oli yleinen informaation kerääminen pelloista kolmannen aihealueen ollessa ennakoivat kasvumallit. Näitä lähestymismalleja käyttäen tutkittiin erityisen usein ekologiaan, luonnon monimuotoisuuteen ja luonnonvaroihin kuten veteen liittyviä aiheita. (Verdouw et al. (2016))

### AIoT-täsmäviljely puutarhatuotannossa

Monien IoT–teknologioiden käyttöönottoon puutarhatuotanto on soveltunut peltokasvituotantoa paremmin. Puutarhakasvatuksen toimintaympäristöissä kuten kasvihuoneissa ja -tehtaissa sensoreita ja tietoverkkoja voidaan asentaa helpommin sekä ympäristö on usein tarkemmin kontrolloitua kuin avoimilla pelloilla. Puutarhakasvien tuotannossa markkinahintainen tuotto viljelypinta-alaa kohti on huomattavasti suurempi kuin peltokasvituotannon vastaava ((Anon 2003), 36). Tästä voi päätellä, että automatisoidulla ja tarkemmin hallitulla resurssien käytöllä voidaan saavuttaa kilpailuetua erityisesti puutarhatuotannossa.

Puutarhatuotannossa selkeitä esimerkkejä uusien teknologioiden hyödyntämisestä ovat automatisoidut kasvihuoneet sekä ns. kasvitehtaat, joissa kasvien kasvatus tapahtuu mahdollisimman tarkasti kontrolloidussa ympäristössä ja yleensä keinovalossa. Luonteeltaan kasvitehtaat vastaavat yleistä käsitystä tehtaasta automaatiolinjoineen ja tarkkoine hallintalaitteineen ja ne sopivat tuotantoon tiheästi asutuissa kaupungeissa, joissa on pulaa viljelysmaasta mutta tarpeeksi kysyntää ruokakasveille investointien kattamiseksi. Esimerkkinä tämän tyyppisistä kasvihuonetoteutuksista on New Yorkissa toimiva Gotham Greensin suomalaisen Green Automationin kasvatustekniikalla toimiva kasvihuone (Öhrnberg (2016a); Öhrnberg (2016b)).

Näissä laitoksissa maatalouden esineiden internetin ja teollisuuden esineiden internetin käsitteiden raja on käytännössä hävinnyt. Kasvitehtaista on rakennettu monenlaisia prototyyppilaitoksia, joista yksi tunnettu esimerkki on avoimen lähdekoodin periaatteella toimiva MIT Media Labissa (Massachusetts Institute of Technology) alkunsa saanut MIT Open Agriculture Initiativen (OpenAG) päätuote Food Computer jonka kehitys alkoi osana MIT City FARM projektia. Termillä “Food Computer” tarkoitetaan kasvitehtaan omaista tietokoneohjattua ja kasvatusympäristöä jossa kasvien kasvua tarkkaillaan hyvin tarkasti. Kasvatusympäristön ominaisuuksia kuten hiilidioksidin määrää ilmassa, ilman lämpötilaa, sähkönjohtavuutta, kosteutta, juurialueiden lämpötilaa ja liuenneen hapen määrää voidaan tarkkailla ja säätää. Lisäksi kasteluveden/ravinneliuoksen tasoa, energian ja mineraalien kulutusta tarkkaillaan erilaisilla sensoreilla ja mittareilla. Mikä tahansa käyttökelpoiseksi havaittu ympäristömuuttujien yhdistelmä voidaan ottaa ns. kasvureseptiksi/ilmastoreseptiksi (climate recipe) tietylle kasville ja jakaa vapaasti käytettäväksi internetissä. Asiasta kiinnostuneille on tarjolla kirjasto standardireseptejä joita kasvattaja voi muunnella omiin tarpeisiinsa sopiviksi. (Goyal (2016), 22)

Internet of Things in Agriculture -kirjallisuuskatsauksen viittaamista tutkimuksista kasvihuonetuotannon osalta suurin osa käsittelee kasvuympäristön tarkkailua ja säätelyä, samaan tapaan kuin peltotuotannon alueella. Muita tutkimusaiheita olivat kasvihuoneen hallintajärjestelmät, energiankulutuksen hallinta ja Big Data. (Verdouw et al. (2016))

Kokonaan kasvitehtaisiin keskittyneessä kirjallisuuskatsauksessa Editorial: Advances and Trends in Development of Plant Factories käsitellään uusia tutkimustrendejä kuten älykkäitä kasvatusympäristön mittausjärjestelmiä, kasvatusympäristön hallintaa ja optimointia, lääkeaineiden tuotantoa, geenitekniikkaa ja bakteerilannoitteita. Näistä selkeimmin IoT–teknologioihin perustuvat mittausjärjestelmät sekä kasvuympäristön hallinta ja optimointi, joista useissa tutkimuksissa ollaan saavutettu hyviä tuloksia erilaisilla valon hallinnan keinoilla. Tutkimuksissa ollaan kokeiltu muun muassa valon vuorokausirytmitystä, valaisun suuntaamista kasveihin myös kasvin alapuolelta, valon aallonpituuden säätelyä ja eri aallonpituudellisten valojen rytmitystä. Lisäksi on tutkittu yhdenvärisillä (monochromic) LED:eillä valaisun, korkean hiilidioksidipitoisuuden ja voimakkaan lannoittamisen yhdistelmää kasvatusympäristössä. (Luna-Maldonado et al. (2016))

Materiaalia etsittäessä on löytynyt pääasiassa uutisartikkelien kautta muutamia mielenkiintoisia kaupallisia toimijoita. Aiemmin mainittua MIT:n Food Computeria vastaavan kaltaisia kaupallisia tuotteita on tullut markkinoille useampien kasvuyritysten kuten Freight Farmin (Freight Farms (2017)) ja Square Rootsin (Square Roots (2017)) toimesta. Näiden yritysten tuotteet ovat kontteihin rakennettuja pienikokoisia kasvitehtaita. Samantyyppisiä teknologiaratkaisuja myyvän ZipGrown tuotteet taas voidaan asentaa kasvihuoneisiin tai muihin sopiviin tiloihin (Bright Agrotech (2017)). Suuremmassa teollisessa mittakaavassa toimivat mm. amerikkalainen AeroFarms (Aerofarms (2017)) sekä japanilaiset Spread (Spread (2017)) ja Mirai (Mirai (2017)), jotka operoivat suuria kasvitehtaita. Belgialainen Urban Crop taas toimii teknologiatuottajana, joka tarjoaa ratkaisuja sekä kontteihin rakennettaviin että tehdaskokoisiin kasvitehtaisiin (Urban Crop Solutions (2017)).

Suomalainen esimerkki tällaisesta kehityksestä on lapinjärveläisen Robbe’s Lilla Trädgård Oy:n ja Fujitsu Greenhouse Technology Finland Oy:n yhteishankkeena toteuttama kasvitehdas (Fujitsu (2016); Schäfer (2016)), josta uutisoitiin mm. Maaseudun tulevaisuus -lehden verkkosivuilla (Ala-Siurua (2016); Schäfer (2016)).

Aamulehden jutussa Erikoistutkija vesiviljelystä: “Kasvitehdasbuumi käy maailmalla kuumana” kasvitehdas-konseptia tutkinut erikoistutkija, dosentti Kari Jokinen kertoo “Kasvitehdasbuumi käy maailmalla kuumana. Japanissa on satakunta tehdasta. Mittakaava on maaseudun isoista laitoksia tokiolaisen ravintolan omaan salaattituotantoon.” (Suojanen (2016)).

# Tutkimuksen tavoitteet

Tässä osiossa kuvaillaan tutkimusongelmat ja työhypoteesit.

## Tutkimusongelmat

Tutkimuksessa haetaan vastauksia kahteen tutkimusongelmaan, jotka alaongelmineen ovat:

1. Miten kasvintuotannossa hyödynnetään IoT-teknologioita?
   * Miten peltotuotannon ja puutarhatuotannon erot vaikuttavat IoT-teknologioiden sovelluksiin?
   * Minkä tyyppiset sovellukset tulevat tutkimusmateriaalissa selkeimmin esille, eli millaisista sovelluksista ja teknologioista kirjoitetaan ja tehdään tutkimusta tällä hetkellä?
2. Millaisia IoT-teknologioita haastateltavalla toimijalla on joko käytettävissään tai millaisista hän on tietoinen?
   * Mitä vaikutuksia niillä on tuotantoon ja/tai työntekoon?
   * Millaisia kokemuksia niistä haastateltavalla on?
   * Millaisia muita sovelluksia haastateltava tuntee tai tietää?
   * Millainen käsitys haastateltavalla on edelllä mainituista sovelluksista (sekä käyttämistään että tietämistään)?
   * Millaisia toiveita tai tarpeita haastateltavalla on IoT-teknologioille?

## Työhypoteesit:

Tutkimusongelman I vastaukseksi saadaan teoriaosuudessa käsiteltyjen löydösten mukainen kuvailu. Tutkimusongelman II vastaukseksi saadaan aikaisempien keskustelujen perusteella Valtran tuotevalikoiman mukaisia peltotuotannon teknologiaratkaisuita, joissa hyödynnetään ainakin automaattiohjausta ja maaperän rakenteen kartoitusta viljelyn suunnittelussa. Todennäköistä on, että näillä teknologioilla saavutetut hyödyt ovat linjassa teoriaosuudessa käsiteltyjen löydösten kanssa. Epävarmaa on voidaanko työkoneista saada tietoa analysoitavaksi ja hyödynnettäväksi muualla eli voidaanko niitä edes pitää IoT-teknologioina. Ei ole tiedossa, millaisia tarpeita tai toiveita haastateltava on tiedostanut IoT-teknologioita kohtaan.

# Aineisto ja (tutkimus)menetelmät

Tässä osiossa kuvaillaan käytetyt tutkimusmenetelmät ja -aineisto.

## Tutkimusmenetelmät

Kummallekin tutkimusongelmalle on valittu oma tutkimusmenetelmänsä soveltuvuuden perusteella: tutkimusongelma I:een perehdytään kartoittavalla kirjallisuuskatsauksella ja tutkimusongelma II:een yksilöteemahaastattelulla.

Kirjallisuuskatsaus soveltuu jo olemassa olevasta materiaalista kokonaiskuvan, yleisten ominaisuuksien hahmottamiseen ja raportointiin. Yksilöteemahaastattelulla voidaan kohtuullisen vapaamuotoisesti hahmottaa kuva sekä haastateltavan yleisistä kokemuksista että tarkemmin tutkimuksen aiheeseen liittyvistä seikoista.

Kirjallisuuskatsauksen tiedot etsittiin Finna-, Google-, Google Scholar- ja ResearchGate-hauilla sekä loppuvaiheessa Iris.ai-hauilla. Hakuprosessin ensimmäisessä vaiheessa etsittiin Finna-haulla aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, mistä siirryttiin Google-, Google Scholar- ja ResearchGate-hakuihin. Katsauksen kirjoitustyön loppuvaiheessa tutustuttiin myös Iris.ai-hakuun. Katsaukseen valittiin tutkimustietoa, lehtiartikkeleita ja laitevalmistajien tiedotteita. Valinnat tehtiin kokonaisuutta silmälläpitäen pyrkien kuvaamaan valtiollisten, yksityisten ja tieteellistä tutkimusta tekevien toimijoiden osallisuutta AIoT–kehityksen tilassa.

Haastattelut toteutetaan yksilöteemahaastatteluina. Haastattelujen tavoite on saada tietoa miten maatalouden IoT–teknologioita sovelletaan tai miten niitä haastateltavan käsityksen mukaan voitaisiin soveltaa haastateltavan työssä maataloustuotannossa. Lisäksi tavoitteena on selvittää, millainen näkemys haastateltavalla on kyseisten teknologioiden hyödyntämisestä ja käyttökelpoisuudesta.

Haastattelun aiheet ovat tutkimuksen toisen tutkimusongelman mukaisesti:

1. Millaisia IoT-teknologioita haastateltavalla toimijalla on joko käytettävissään tai millaisista hän on tietoinen?
   * Mitä vaikutuksia niillä on tuotantoon ja/tai työntekoon?
   * Millaisia kokemuksia niistä haastateltavalla on?
   * Millaisia muita sovelluksia haastateltava tuntee tai tietää?
   * Millainen käsitys haastateltavalla on edelllä mainituista sovelluksista (sekä käyttämistään että tietämistään)?
   * Millaisia toiveita tai tarpeita haastateltavalla on IoT-teknologioille?

Haastattelujen ajankohdat sovitaan kunkin haastateltavan kanssa erikseen loppukesän ja alkusyksyn aikana. Yhden haastattelun kestoksi arvioidaan yksi tunti.

# Tulokset

Tässä osiossa käsitellään tutkimuksen vastaukset tutkimusongelmittain.

## Tutkimusongelma I:n vastaukset

Kasvintuotannossa IoT–teknologioiden hyödyntäminen vaikuttaa suurilta osin olevan aikaisemmin kehitettyjen täsmäviljelyn tekniikoiden tehostamista. IoT:n tärkeänä osana nähdyn tiedon keräämisen ja analysoinnin hyödyntäminen on kuitenkin vielä harvinaisempaa kuin kasvuympäristön tarkkailu ja säätely. Uusien teknologioiden hyödyntäminen on myös mahdollistanut kasvitehtaiden kehittämisen paitsi kokeellisissa projekteissa myös kaupallisina sovelluksina.

Peltotuotannon AIoT:n sovellukset ovat keskittyneet kasvuympäristön kuten pellon maaperän koostumuksen ja kosteuden mittaukseen. Näiden sovellusten kehittämisen haasteina nähdään erityisesti olevan teknologioiden kehittäminen peltotuotannon olosuhteet kestäviksi, energiatehokkaiksi, riittävän yksinkertaisiksi, hankintahinnoiltaan tarpeeksi edullisiksi ja verkkoyhteyksiltään luotettaviksi. Kasvuympäristön tarkkailun lisäksi peltotuotannon AIoT–teknologiasovelluksista tärkeimpiä ovat traktorien ja vastaavien työkoneiden automaattiohjaus ja automaatio.

Puutarhatuotannossa AIoT–ratkaisuja voidaan rakentaa kontrolloidummassa ympäristössä, jolloin sovelluksien kehittäminen on helpompaa kuin peltotuotannossa. Puutarhatuotannon AIoT–ratkaisuissa on korostunut sensorien tuottaman tiedon analysoinnin perusteella tapahtuva kasvatusympäristön hallinta. Internet of Things in Agriculture -kirjallisuuskatsauksen viittaamista kasvihuoneisiin keskittyvistä tutkimuksista suurin osa käsittelee kasvatusympäristön tarkkailua ja säätelyä, mikä on linjassa peltotuotannon tutkimusmäärien kanssa. Katsauksessa puutarhatuotannolle erityiset ja huomattavat tutkimusaiheet ovat kasvihuoneen hallintajärjestelmät, energiankulutuksen hallinta ja Big Data.

## Tutkimusongelma II:n vastaukset

Tutkimusongelman II vastaukset kirjoitetaan haastattelujen tuloksista.

# Johtopäätökset ja suositukset

Maatalouden esineiden Internet -aiheesta on julkaistu paljon erilaisia tutkimuksia, mutta suurin osa niistä on vielä prototyyppi- tai kehitysasteella. Ilmastonmuutoksen ja väestönkasvun ruokaturvalle asettamat haasteet tulevat todennäköisesti motivoimaan kehitystä, mutta suurin osa kehitettävistä teknologioista ei näytä olevan kehittyvien markkinoiden saatavilla tai niiden tarpeisiin profiloitu.

AIoT voidaan nähdä seuraavana kehitysvaiheena täsmäviljelylle, jonka avulla voidaan siirtyä Smart Farming -tuotantomenetelmiin. Täsmäviljelystä ja uusiin teknologioihin investoinneista on saatu hyviä kokemuksia, mutta tutkimusten mukaan vain pieni joukko innovatiivisia toimijoita on ottanut niitä käyttöön omassa tuotannossaan. Suomessa valtiolliset toimijat pyrkivät erilaisilla hankkeilla edistämään uusien teknologioiden ja liiketoimintamallien kehittämistä ja käyttöönottoa, mutta hankkeiden vaikutuksista ei ole tietoa.

Puutarhatuotannossa erityisesti kasvihuoneissa ja -tehtaissa on AIoT:n teknologiasovelluksia otettu käyttöön nopealla tahdilla. Tutkimuksissa on toteutettu hyvin mielenkiintoisia projekteja yksinkertaisista kosteusmittareista erittäin edistyneisiin kasvitehtaiden hallintajärjestelmiin. Kaupallisia toimijoita on tullut esille jatkuvasti ja vaikuttaa siltä, että kasvitehtaat tulevat nousemaan puutarhatuotannossa perinteisen kasvihuoneviljelyn rinnalle. Vielä ei ole ennustettu, kuinka suuren osan kokonaistuotannosta IoT–teknologioita soveltavat kasvitehtaat tai kasvihuoneet tulevat tai voivat kannattavasti toteuttaa.

Jotta AIoT:n mahdollistamat hyödyt saadaan realisoitua, tulee vielä tehdä huomattava määrä työtä käytännöllisten teknologiasovellusten kehittämiseksi ja käyttöönottamiseksi. Tästä huolimatta AIoT on tällä hetkellä suosittu ja mielenkiintoinen tutkimuskohde, jonka kaupalliset sovellukset voivat muuttaa ruokatuotantoa globaalisti.

# Lähteet

Aerofarms, 2017. AeroFarms is on a mission to transform agriculture. *AeroFarms*. Available at: <http://aerofarms.com/> [Accessed March 13, 2017].

Ahlqvist, T. et al., 2015. *Suomalainen teollinen internet – haasteesta mahdollisuudeksi: Taustoittava kooste*, Available at: <https://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Raportit-Reports-42.pdf> [Accessed February 9, 2016].

Ala-Siurua, M., 2016. Fujitsu mukaan ruuantuotantoon – Suomeen perustetaan kokeilukasvihuone. *Maaseudun Tulevaisuus*. Available at: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/fujitsu-mukaan-ruuantuotantoon-suomeen-perustetaan-kokeilukasvihuone-1.146938> [Accessed March 13, 2017].

Alexandratos, N. & Bruinsma J., 2012. *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision*, Rome: FAO.

Anon, 2003. *Selvitys Suomen kastelutilanteesta – esimerkkialueena Varsinais-Suomi*, Suomen ympäristökeskus. Available at: <http://hdl.handle.net/10138/40552> [Accessed March 11, 2017].

Berner, A., 2016. Kärkihanke 2 - toimenpiteet. *Rakennetaan digitaalisen liiketoiminnan kasvuympäristö*. Available at: <http://valtioneuvosto.fi/hallitusohjelman-toteutus/digitalisaatio/karkihanke2> [Accessed April 13, 2017].

Bright Agrotech, 2017. Appropriate Vertical Farming Technology - Powered by ZipGrow™. *Bright Agrotech*. Available at: <https://brightagrotech.com/technology/> [Accessed March 13, 2017].

Buyya, R. & Dastjerdi, A., 2016. *Internet of Things: Principles and Paradigms*, Elsevier Science. Available at: <https://books.google.fi/books?id=_k11CwAAQBAJ>.

Digita, 2017. IoT-ratkaisut ja palvelut. *Digita mahdollistaa*. Available at: <https://digitamahdollistaa.fi/internet-of-things/> [Accessed March 11, 2017].

DuBravac, S. & Shapiro, G., 2015. *Digital Destiny: How the New Age of Data Will Transform the Way We Work, Live, and Communicate*, Regnery Publishing. Available at: <https://books.google.fi/books?id=E86DBQAAQBAJ>.

Freight Farms, 2017. Leafy Green Machine™. *Freight Farms*. Available at: <https://www.freightfarms.com/> [Accessed April 13, 2017].

Fujitsu, 2016. Fujitsu Launches Company in Finland to Produce and Sell Vegetables Year-Round with Artificial-Light Plant Factory. *Press Releases*. Available at: <http://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2016/1128-01.html> [Accessed March 14, 2017].

Gilchrist, A., 2016. *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Apress. Available at: <https://books.google.fi/books?id=YuOODAAAQBAJ>.

Goyal, N.K., 2016. *Hydrobase: An IoT Gardening Application*, San Jose State University. Available at: <http://scholarworks.sjsu.edu/etd_projects/503> [Accessed March 11, 2017].

Luna-Maldonado, A.I., Vidales-Contreras, J.A. & Rodríguez-Fuentes, H., 2016. Editorial: Advances and Trends in Development of Plant Factories. *Frontiers in Plant Science*, 7. Available at: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2016.01848/abstract> [Accessed March 12, 2017].

Luonnonvarakeskus, 2015. Asiakkaan ääni: Automaatio yleistyy pelloilla. *Luonnonvarakeskus*. Available at: <https://www.luke.fi/asiakkaan-aani-automaatio-yleistyy-pelloilla/> [Accessed March 9, 2017].

Mirai, 2017. Mirai Co., Ltd. *Mirai Co. homepage EN*. Available at: <http://miraigroup.jp/en/> [Accessed April 13, 2017].

Monbiot, G., 2015. We’re treating soil like dirt. It’s a fatal mistake, as our lives depend on it. *The Guardian: Opinion*. Available at: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2015/mar/25/treating-soil-like-dirt-fatal-mistake-human-life> [Accessed March 10, 2017].

Öhrnberg, P., 2016a. 30-kertainen tuotto avomaahan verrattuna. *Kauppalehti: Uutiset*. Available at: <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/30-kertainen-tuotto-avomaahan-verrattuna/NwUMfsJ6> [Accessed March 13, 2017].

Öhrnberg, P., 2016b. Suomalaistekniikka tuottaa satoa New Yorkin kattokasvihuoneissa. *Kauppalehti: Uutiset*. Available at: <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/suomalaistekniikka-tuottaa-satoa-new-yorkin-kattokasvihuoneissa/Cxv4itmX?ref=email:d031> [Accessed March 13, 2017].

Schäfer, H., 2016. Fujitsun täysautomatisoitu kasvihuone etenee - tuotanto käynnistyy ensi vuonna. *Maaseudun Tulevaisuus*. Available at: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/fujitsun-t%C3%A4ysautomatisoitu-kasvihuone-etenee-tuotanto-k%C3%A4ynnistyy-ensi-vuonna-1.170177> [Accessed March 13, 2017].

Skelly, J., 2015. Soil Scout - PocketVenture. *PocketVenture Soil Scout Crowd Funding*. Available at: <http://www.pocketventure.com/en/projects/soil-scout> [Accessed April 13, 2017].

Spread, 2017. SPREAD Co., Ltd. *Spread Co. homepage EN*. Available at: <http://spread.co.jp/en/> [Accessed March 14, 2017].

Square Roots, 2017. Square Roots. *Square Roots Home*. Available at: <http://www.squarerootsgrow.com/> [Accessed April 13, 2017].

Suojanen, S., 2016. Erikoistutkija vesiviljelystä: “Kasvitehdasbuumi käy maailmalla kuumana”. *Aamulehti*. Available at: <http://www.aamulehti.fi/kotimaa/erikoistutkija-vesiviljelysta-kasvitehdasbuumi-kay-maailmalla-kuumana-23570184/> [Accessed March 13, 2017].

Tammi, K., 2016. *DIGITALISAATIO MAATALOUDEN B2B-LIIKETOIMINNASSA*. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Available at: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605239138> [Accessed March 11, 2017].

Telia, 2017. IoT-ratkaisut - IoT-ratkaisut - Tietoverkot - Tuotteet - Yrityksille. *Kaikki yrityksen IoT-ratkaisut*. Available at: <https://www.telia.fi/yrityksille/tuotteet/liittymat/iot-ratkaisut/kaikki-ratkaisut> [Accessed April 13, 2017].

Tiusanen, J., 2008. *Langattoman peltotiedustelijan maanalainen toim- intaymp ̈arist ̈o ja laitesuunnittelu*. Helsinki: University of Helsinki. Available at: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-4360-4> [Accessed March 14, 2017].

Urban Crop Solutions, 2017. Urban Crop Solutions. *Urban Crop Solutions homepage*. Available at: <https://urbancropsolutions.com> [Accessed April 13, 2017].

Verdouw, C., Wolfert, J. & Tekinerdogan, B., 2016. Internet of Things in agriculture. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 11. Available at: <http://edepot.wur.nl/403060>.

Veris Technologies, 2017. What drives soil EC, drives productivity. *Veris Technologies / Soil EC*. Available at: <http://www.veristech.com/the-soil/soil-ec> [Accessed March 12, 2017].