

Tutkimussuunnitelma:

IoT -teknologioiden käytännön sovellukset kasvintuotannossa

Tatu Polvinen

Tutkimussuunnitelma

Tietotekninen selvitys ja  
kouluttaminen ICT2TN011-44

15.3.2017

 **Tiivistelmä**

|  |  |
| --- | --- |
| **Tekijä**  Tatu Polvinen | |
| **Koulutusohjelma** Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma | |
| **Raportin/Opinnäytetyön nimi** Tutkimussuunnitelma:  IoT -teknologioiden käytännön sovellukset kasvintuotannossa | **Sivu- ja liitesivumäärä**  7 + 2 |
| Kasvintuotannossa laajasti käytössä olevat digitaaliset teknologiaratkaisut ovat pitkään olleet korkeintaan M2M –periaatteella toimivia (Machine to Machine, laitteelta laitteelle) jolloin tuotettu raakadata jää yleensä esimerkiksi traktorin tai puimurin tietokoneelle. IoT –teknologioiden laitteiden välisen tiedonsiirron, sensorien tuottaman raakadatan analysoinnin ja siitä saatavan tietämyksen hyödyntämisen nähdään yleisesti tuottavan huomattavaa lisäarvoa.  Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää I) millaisia IoT –teknologioita (Internet of Things, esineiden internet) on sovellettu ja tutkittu kasvintuotannon alalla 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 valmistajan tiedotteita. Yksilöteemahaastattelussa pyritään hahmottamaan millaisia henkilökohtaisia kokemuksia ja näkemyksiä IoT –teknologioiden hyödyntämisestä haastateltavalla maatalousalan toimijalla itsellään on.  Tutkimuksen toteutus ajoitetaan vuoden 2017 keväälle viikoille 13 – 19, jonka jälkeen se esitetään työpajassa viikolla 21.  Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää hyväksi tekijän myöhemmin toteutettavassa samasta tai sitä sivuavasta aiheesta kirjoitettavassa opinnäytetyössä. | |
| **Asiasanat**  Esineiden internet, Teollinen Internet, kasvintuotanto, kasvitehdas | |

Sisällys

1 Johdanto 1

2 Teoriatausta 1

2.1 Taustaa 1

2.2 Käytännön sovelluksia ja tutkimustuloksia 3

2.2.1 Täsmäviljely peltokasvituotannossa 3

2.2.2 Täsmäviljely puutarhatuotannossa 3

2.2.3 Kasvitehtaiden kaupallisia sovelluksia 4

2.2.4 Uusia teknologiasovelluksia 5

3 Tutkimuksen tavoitteet 5

3.1 Tutkimusongelmat 5

3.2 Työhypoteesi 6

4 Tutkimusmenetelmät 6

5 Tutkimusaikataulu 6

6 Tuloksen hyväksikäyttömahdollisuudet 7

Lähteet 8

# Johdanto

Maatalouden esineiden internet (Agriculture Internet of Things, AIoT) on teollisen esineiden internetin (Industrial Internet of Things, IIoT) merkittävänä osana viimeaikaisen edullisten ja tehokkaiden pilvipalveluiden, sensori- ja 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, käsittelen tässä työssä myös IIoT:tä soveltuvin osin.

Aineiston keräämisen alkuvaiheessa huomioni kiinnitti 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 mielestäni selkeä: 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).

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 saatu moninkertaistettua. Suomessa ollaan ottamassa kaupallista kasvitehdasta tuotantoon vuonna 2017 Fujitsu Greenhouse Technology Finland Oy:n ja Robbes Lilla Trädgård Ab:n yhteishakkeena (Anon 2016a) (Anon 2016c).

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

## 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 mutta saattaa samalla rajoittaa kasteluveden saatavuutta, jolloin 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.

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” ((Anon 2016d), 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 kokeiluhankkeet rahoituksineen uusien liiketoimintamallien kehittämisessä. (Tammi (2016), 17)

Suomessa IoT -teknologioiden hyödyntämiseen suuntautuvia tuotteita ja palveluita on tarjolla ainakin Soneralla (Anon 2017d) ja Digitalla (Anon 2017c), 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.

## Käytännön sovelluksia ja tutkimustuloksia

### Täsmäviljely peltokasvituotannossa

Täsmäviljelyn kokeiluhankkeilla ollaan yleiseti 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 (2015–2015-06-16T07:06:50+02:00)). 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).

Peltokasvituotannossa sovellettavista mittausteknologioista on aineistoa kerättäessä löytynyt J. Tiusasen väitöskirja “Langattoman Peltotiedustelijan maanalainen toimintaympäristö ja laitesuunnittelu”, jossa kehitettiin peltoon kaivettavien langattomien sensorilaitteiden käytännön toteutus ja testattiin niitä 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 (Anon 2015).

Toisenlainen jo laajassa käytössä oleva ratkaisu pellon maaperän tutkimiseen on maaperän EM-skannaus esim. Veris Technologies:in 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 (Anon 2017j).

### Täsmäviljely puutarhatuotannossa

Peltokasvituotantoa paremmin IoT-teknologioiden käyttöönottoon on soveltunut puutarhatuotanto, jonka toimintaympäristöissä sensoreita voidaan asentaa helpommin ja jossa ympäristö on usein tarkemmin kontrolloitua kuin avoimilla pelloilla, esimerkiksi kasvihuoneissa. 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 vastaavatkin yleistä käsitystä tehtaasta automaatiolinjoineen ja tarkkoine hallintalaitteineen ja ne sopivatkin tuotantoon tiheästi asutuissa kaupungeissa, joissa on pulaa viljelysmaasta mutta tarpeeksi kysyntää ruokakasveille investointien kattamiseksi. Esimerkkinä tällaisistä kasvihuonetoteutuksesta on New Yorkissa toimiva Gotham Greens:in suomalaisen Green Automationin kasvatustekniikalla toimiva kasvihuone (Öhrnberg (2016a)) (Öhrnberg (2016b)).

Näissä laitoksissa maatalouden esineiden internetin ja teollisuuden esineiden internetin käsitteiden raja on mielestäni käytännössä hävinnyt. Kasvitehtaista on rakennettu monenlaisia prototyyppilaitoksia, joista yksi tunnettu esimerkki on avoimen lähdekoodin periaatteella toimiva MIT Media Lab:issa (Massachusetts Institute of Technology) alkunsa saanut MIT Open Agriculture Initiative (OpenAG):n 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)

### Kasvitehtaiden kaupallisia sovelluksia

Materiaalia etsittäessä on löytynyt uutisartikkelien kautta muutamia mielenkiintoisia kaupallisia toimijoita. Aiemmin mainittua MIT:n “Food Computer”:ia vastaavan kaltaisia kaupallisia tuotteita on tullut markkinoille useampien kasvuyritysten toimesta, esimerkkinä Freight Farm (Anon 2017e) ja Square Roots (Anon 2017h). Näiden yritysten tuotteet ovat kontteihin rakennettuja pienikokoisia kasvitehtaita. Samantyyppisiä teknologiaratkaisuja myyvän ZipGrow:n tuotteet taas voidaan asentaa kasvihuoneisiin tai muihin sopiviin tiloihin (Anon 2017–2017-01-18T09:29:33+00:00). Suuremmassa teollisessa mittakaavassa toimivat mm. amerikkalainen AeroFarms (Anon 2017a) sekä japanilaiset Spread (Anon 2017g) ja Mirai (Anon 2017f), jotka operoivat suuria kasvitehtaita. Belgialainen Urban Crop taas toimii teknologiatuottajana, joka tarjoaa ratkaisuja sekä kontteihin rakennettaviin että tehdaskokoisiin kasvitehtaisiin (Anon 2017i). Muita saman kaltaisia toimijoita on tullut jatkuvasti esille aineistoa etsittäessä ja vaikuttaa siltä, että kasvitehtaat tulevat nousemaan puutarhatuotannossa perinteisen kasvihuoneviljelyn rinnalle.

Suomalainen esimerkki tällaisesta kehityksestä on lapinjärveläisen Robbe’s Lilla Trägård Oy:n ja Fujitsu Greenhouse Technology Finland Oy:n yhteishankkeena toteuttama kasvitehdas (Anon 2016a) (Anon 2016c), josta uutisoitiin mm. Maaseudun tulevaisuus -lehden verkkosivuilla (Anon 2016b) (Anon 2016c).

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.” (Anon 2016–2016-04-10T08:24:00+00:00).

### Uusia teknologiasovelluksia

Koska AIoT:n tutkimuskenttä on hyvin laaja ja uusia tutkimuksia erilaisista teknologiasovelluksista julkaistaan jatkuvasti, olen valinnut alustavasti kaksi kirjallisuuskatsausta läpikäytäviksi tässä suunnitelmassa kuvaillun teoriataustan lisäksi. Katsausten viittaamiin tutkimuksiin ei ole tutkimussuunnitelman kirjoittamisen aikana tutustuttu kunnolla, mutta nopealla silmäilyllä niistä löytyy useita mielenkiintoisia aiheita joita voidaan hyödyntää teoriataustan tarkentamisessa ja syventämisessä yleistasolta spesifisiin sovelluksiin.

Kirjallisuuskatsaukset ovat “Agricultural crop monitoring using IOT - a study” (Anon 2017b) jonka sisältämiä viitteitä voidaan käyttää peltokasvituotannon sovellusten keräämiseen sekä “Editorial: Advances and Trends in Development of Plant Factories” Luna-Maldonado et al. (2016) joka nimensä mukaisesti keskittyy kasvitehtaiden teknologiasovelluksien tutkimuksiin. Esimerkkinä jälkimmäisestä kirjallisuuskatsauksesta poimin kaksi mielenkiintoni herättänyttä tutkimusta: “Plant Weight Measurement -Chen et al. developed an automated measurement system to measure and record the plant weight during plant growth in plant factory. They found that plant weights measured by the weight measurement device are highly correlated with the weights estimated by the stereo-vision imaging system” sekä: “Growth Prediction CF -Moriyuki and Fukuda devised a novel high-throughput diagnosis system using the measurement of chlorophyll fluorescence forming an image of 7200 seedlings acquired by a CCD camera and an automatic transferring machine. They used machine learning in order to extract biological indices and predict plant growth”.

# Tutkimuksen tavoitteet

## Tutkimusongelmat

Tutkimuksessa haetaan vastauksia kahteen tutkimusongelmaan, jotka alaongelmineen ovat: I) Miten kasvintuotannossa hyödynnetään IoT-teknologioita? \* Miten peltotuotannon ja puutarhatuotannon erot vaikuttavat IoT -teknologioiden sovelluksiin?

1. Millaisia IoT-teknologioita haastateltavalla toimijalla on käytettävissään?
   * Mitä vaikutuksia niillä on tuotantoon ja/tai työntekoon?

## Työhypoteesi

Tutkimusongelman I vastaukseksi odotan saavani teoriaosuudessa käytettyjen materiaalien mukaisen kuvailun. Tutkimusongelman II vastaukseksi odotan saavani aikaisempien keskustelujen perusteella vastaukseksi Valtran tuotevalikoiman mukaisia 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.

# Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmiksi on valittu kummallekin tutkimusongelmalle omansa niiden soveltuvuuden perusteella: Tutkimusongelma I:een perehdytään kirjallisuuskatsauksella ja tutkimusongelma II:een yksilöteemahaastattelulla.

Kirjallisuuskatsaus soveltuu jo olemassaolevasta materiaalista kokonaiskuvan ja yleisten ominaisuuksien hahmottamiseen ja raportointiin, kun taas yksilöteemahaastattelulla voidaan kohtuulisen vapaamuotoisesti hahmottaa kuva sekä haastateltavan yleisitä kokemuksista että tarkemmin tutkimuksen aiheeseen liittyvistä seikoista.

# Tutkimusaikataulu

Tutkimusaikataulu etenee kurssin viikko-ohjelman puitteissa. Viikottaiset tehtävät ovat:

* Viikko 13 Tutkimus Aineiston kerääminen: Teoriataustassa käytetyn materiaalin läpikäynti analyyseineen. Analyysin ja kerätyn tiedon pohjalta haastattelukysymyksien ja -teeman muodostaminen.
* Viikko 14 Tutkimus Aineiston kerääminen: Haastattelun järjestäminen. Haastattelu. Haastattelun tulosten kirjaaminen ja analysointi.
* Viikko 15 Tutkimus Aineiston analyysi
* Viikko 16 Tutkimus Tulosten ja johtopäätösten kirjoittaminen
* Viikko 17 Tutkimusraportti Raportin kirjoittaminen, visualisointi
* Viikko 18 Tutkimusraportti & Esitys Raportin viimeistely, esityksen suunnittelu
* Viikko 19 Tutkimusraportti & Esitys Tutkimusraportin ja esityksen palautus moodleen 14.5.2017
* Viikko 20 Esitys & Vertaisarviointi Esitykseen valmistautuminen ja opponoitavan työn arviointi
* Viikko 21 Esitykset ja opponoinnit työpajassa

# Tuloksen hyväksikäyttömahdollisuudet

Tutkimustuloksia ja tutkimuksen aikana kertyneitä kokemuksia voidaan hyödyntää arvioitaessa aiheen soveltuvuutta tekijän opinnäytetyön aiheeksi.

Jatkotutkimukselle on todennäköisesti löydetyn materiaalin laajuuden ja AIoT:n mielenkiintoisen kehitysvaiheen perusteella tarvetta ja motivaatio, mutta tutkimuksen rajaus ja tutkimuksen sovittaminen koulutusohjelmaan tavoitteisiin tulee tehdä huolella.

# Lähteet

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].

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

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

Anon, 2017b. Agricultural Crop Monitoring using IOT. *ResearchGate*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/312218636_Agricultural_Crop_Monitoring_using_IOT> [Accessed March 12, 2017].

Anon, 2017–2017-01-18T09:29:33+00:00. Appropriate Vertical Farming Technology - Powered by ZipGrowTM. *Bright Agrotech*. Available at: <https://brightagrotech.com/technology/> [Accessed March 13, 2017].

Anon, 2016–2016-04-10T08:24:00+00:00. 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].

Anon, 2016a. 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].

Anon, 2016b. 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].

Anon, 2016c. 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].

Anon, 2017c. Internet of Things. *Digita mahdollistaa*. Available at: <https://digitamahdollistaa.fi/internet-of-things/> [Accessed March 11, 2017].

Anon, 2017d. IoT-ratkaisut - IoT-ratkaisut - Tietoverkot - Tuotteet - Yrityksille. Available at: <https://www.sonera.fi/yrityksille/tuotteet/tietoverkot/iot-ratkaisut/iot-ratkaisut> [Accessed March 11, 2017].

Anon, 2016d. Kärkihanke 2 - toimenpiteet. *Valtioneuvosto*. Available at: <http://valtioneuvosto.fi/hallitusohjelman-toteutus/digitalisaatio/karkihanke2> [Accessed March 11, 2017].

Anon, 2017e. Leafy Green MachineTM. *Freight Farms*. Available at: <https://www.freightfarms.com/> [Accessed March 13, 2017].

Anon, 2017f. Mirai Co., Ltd. *Mirai Co. homepage EN*. Available at: <http://miraigroup.jp/en/> [Accessed March 15, 2017].

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

Anon, 2015. Soil Scout - PocketVenture. Available at: <http://www.pocketventure.com/en/projects/soil-scout> [Accessed March 14, 2017].

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

Anon, 2017h. Square Roots. Available at: <http://www.squarerootsgrow.com/> [Accessed March 13, 2017].

Anon, 2017i. Urban Crop Solutions. *Urban Crop Solutions homepage*. Available at: <https://urbancropsolutions.com> [Accessed March 15, 2017].

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

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

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>.

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, 2015–2015-06-16T07:06:50+02:00. Asiakkaan ääni: Automaatio yleistyy pelloilla. *Luonnonvarakeskus*. Available at: <https://www.luke.fi/asiakkaan-aani-automaatio-yleistyy-pelloilla/> [Accessed March 9, 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].

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