

Samuli Kiuttu

**ESINEIDEN INTERNET JÄRJESTELMIEN INTEGROIN-  
TIEN HAASTEET**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2017

# TIIVISTELMÄ

Kiuttu, Samuli

Esineiden internet järjestelmien integrointien haasteet

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2017, 33 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Luoma, Eetu

Tässä tutkielmassa tarkoituksena on löytää esineiden internet järjestelmien integraatioita koskevia haasteita kirjallisuuskatsauksena. Esineiden internetiä ja järjestelmäintegraatioita on tutkittu paljon ja näiden potentiaalisia mahdollisuuksia tiedostetaan jo hyvin. Yrityksissä on jo käytössä paljon esineiden internetiin liittyviä teknologioita, joten tähän internetin seuraavaksi kehityssaskeleeksi luonnehditun yleistymiseen ollaan jo osittain varauduttu. Kuitenkaan esineiden internetiä ei olla vielä pystytty hyödyntämään laajemmassa mittakaavassa, sillä toteutuessaan tämä on kaikkialla ja tämän takia käyttöönotossa huomioonotettavia asioita on runsaasti. Näitä asioita etsitään kirjallisuudesta ja tutkielman lopussa vastataan tutkimuskysymykseen *mitä haasteita liittyy esineiden internet järjestelmien integroimiseen.*

Asiasanat: esineiden internet, integraatio, haasteet

## ABSTRACT

Kiuttu, Samuli

Challenges of IoT-systems' integrations

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2017, 33 p.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Luoma, Eetu

The purpose of this bachelor's thesis is to find challenges which are related to the integrations of IoT-systems. Internet of Things and system integrations are well-researched topics and their possible applications are well-known. Companies already have implemented the IoT-technologies which implies the common consensus as the IoT being next step in the evolution of the Internet. However, Internet of Things has not been applied in large scale yet. When IoT will be implemented more commonly, the number of factors that need to be addressed rise substantially because of the integrated nature of IoT. These things will be searched from the literature and at end of the thesis the research question *what challenges are related to the integrations of IoT-systems* will be answered. The thesis is conducted as a literature review.

Keywords: IoT, integration, challenges

## KUVIOT

KUVA 1: IoT-elementit. Al-Fuqaha ym. (2015) .....	8
KUVA 2: IoT-arkkitehtuuri. Khan ym. (2012) .....	10
KUVA 3: IoT-sovelluksia. Atzori ym. (2010) .....	16

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
KUVIOT .....	4
SISÄLLYS .....	5
1 JOHDANTO .....	6
2 ESINEIDEN INTERNET .....	8
2.1 Esineiden internet arkkitehtuuri (Kuva 2) .....	9
2.2 Avainteknologiat .....	10
2.2.1 Älykäs objekti .....	10
2.2.2 Radiotaajuinen etätunnistus .....	11
2.2.3 Langaton sensoriverkko .....	12
2.3 Esineiden internet sovelluksia (Kuva 3) .....	12
2.4 Esineiden internet yhteenveto .....	16
3 IT-INTEGROINTI .....	17
3.1 Järjestelmäintegraatiot .....	17
3.2 Sovellusintegraatiot .....	18
3.3 Palvelukeskeinen arkkitehtuuri .....	20
3.4 IoT-integroinnin haasteet .....	22
3.4.1 Yhteensopivuus .....	22
3.4.2 Tietoturva ja yksityisyyden suoja .....	24
3.4.3 Skaalautuvuus ja käyttövarmuus .....	25
4 YHTEENVETO .....	27
LÄHTEET .....	29

# 1 Johdanto

Tässä kandidaatin tutkielmassa tutkitaan esineiden internet -järjestelmiin kohdistuvia integraatioiden haasteita. Esineiden internetille ei ole yleisesti hyväksyttyä määritelmää, mutta kirjallisuudessa tälle on löydetty paljon yhteisiä ominaispiirteitä ja visioita. Esineiden internetissä kaikki laitteet pystyvät kommunikoimaan keskenään, olemaan tunnistettavissa ja toimimaan sekä tekemään päätöksiä keskenään (Miorandi ym., 2012; Atzori, Iera & Morabito 2010). Päämääränä tällä on muuntaa nykyistä internetiä suuntaan, jossa laitteiden välinen kommunikointi nousee vallitsevaksi tavaksi internetin viestinnässä (Khan ym., 2012). Visioiden mukaan esineiden internetissä kaikki on yhdistettyä ajasta ja paikasta riippumatta verkostojen välityksellä.

Integraatiot liitetään tässä tutkielmassa informaatioteknologiaan, sillä integraatiot liittyvät muihinkin tieteen aloihin. Integraatiolla tarkoitetaan erilaisten asioiden yhdistämistä niin, että ne pystyvät toimimaan yhdessä. IT-alalla järjestelmien integraatioita on tutkittu jo useita kymmeniä vuosia ja tietynlaisille järjestelmille onkin jo paljon määriteltyjä integrointitapoja, joilla erilaisia järjestelmiä saadaan yhdisteltyä suuremmaksi ja toimivammaksi kokonaisuudeksi. Järjestelmien integraatioiden onnistuminen on usein hyvin kriittistä organisaatioille, jolloin voidaan saavuttaa esimerkiksi merkittävää kaupallista hyötyä tai organisaatioiden sisäisten toimintojen tehokkuuden parantumista.

Tutkimuskysymykseni tässä tutkielmassa on *mitä haasteita liittyy esineiden internet järjestelmien integroimiseen*. Näiden haasteiden tiedostamisen kautta saadaan määriteltyä vaatimuksia tämän uuden teknologian käyttöönottamiselle sekä lähtökohtia erilaisten ratkaisujen luomiseksi. Esineiden internetin potentiaalia tiedostetaan jo paljon, mutta siihen kuuluvien laitteiden heterogeenisyys ja yleinen ulottuvuus kaikkialle aiheuttavat paljon haasteita yleisesti hyväksyttävien ratkaisujen luomiselle. Tutkielman tarkoituksena ei kuitenkaan ole löytää näille haasteille ratkaisuja, vaan esitellä yleisesti tieteellisessä kirjallisuudessa tiedostetut integraatioiden haasteet esineiden internet järjestelmille.

Esineiden internetiä pidetään internetin seuraavana kehitysaskelena ja se tulee luultavasti olemaan huomattavasti erilainen kuin nykyisesti käyttämämme

internet (Atzori ym., 2010). Yleisesti uskotaan, että esineiden internet tulee mul- listamaan maailmaa sekä teknologisesta että liiketoiminnallisesta näkökulmasta. Yrityksissä tätä potentiaalia on jo tiedostettu ja esineiden internetiin liittyviä tek- nologioita on aloitettu käyttämään, tosin vielä melko pienessä mittakaavassa. Verkkoon liittyvien laitteiden määrän uskotaan kasvamaan huomattavasti vuo- teen 2020 mennessä, jolloin liiketoiminnalle avautuu entistä enemmän mahdolli- suuksia hyötyä näistä kaupallisesti (Gubbi ym., 2013). Esineiden internet huipus- saan ulottuu kaikkialle ja vaikuttaa kaikkiin, joten näiden järjestelmien integraa- tioiden haasteiden tiedostaminen on kriittistä ratkaisujen luomiselle sekä testaa- miselle käytännössä. Haasteiden priorisointi ja näihin varautuminen helpottaa esineiden internetin tulevaisuuden kehitystä, sillä huonosti toteutettu integrointi voi lamauttaa koko idean kehittämisen kokonaan. IoT-järjestelmien laaja käyt- töönnotto vaatii siis paljon onnistumisia, jonka vuoksi laaja haasteiden kartoitus on tärkeää.

Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Tieteellistä kirjallisuutta ai- heeseen liittyen löytyi paljon, minkä vuoksi hakusanoja täytyi yhdistellä tiettyjen osien löytämiseen tutkielmaan. Tärkeimmät hakusanat olivat *internet of things*, *system integration* ja *application integration* sekä lukuisa joukko sanoja näihin lisä- ten aihealueen rajaamiseksi, joista tärkeimpinä *challenges*, *technologies* ja *ap- proaches*. Ensimmäisenä aineistoa haettiin esineiden internetiin liittyen, jonka jäl- keen tätä etsittiin IT-integrointeihin liittyen ja näkökulmaa juuri esineiden inter- netiä koskien. Lopuksi kerättiin aineistoa koskien haasteita näihin liittyen. Laa- dun tarkkailussa lähteitä vertailtiin keskenään, jotta yleisesti tunnustetut asiat ai- heeseen löydettäisiin ja aineisto valittiin pääosin IT-alan tutkimiseen perehtynei- den, ja laadukkaiksi tunnustettujen konferenssien ja lehtien tutkimusartikke- leista. Aineistot haettiin pääosin Google Scholar- ja AISEL-kirjastoja käyttäen.

Johdannon jälkeen tutkielma etenee lukuun, jossa käsitellään esineiden in- ternetiä. Tässä luvussa määritellään tämän ominaispiirteitä, visiota ja siihen kuu- luvia elementtejä. Alaluvuissa käsitellään esineiden internetin arkkitehtuuria, tärkeimpiä kirjallisuudessa mainittuja teknologioita tähän liittyen sekä potenti- aalisia sovellutuskohteita. Kolmannessa luvussa käsitellään integraatioita IT- alalla yleisesti, palvelukeskeistä arkkitehtuurinäkökulmaa esineiden internetin kannalta ja lopuksi esitellään tunnetut integraatiohaasteet esineiden internetiin liittyen. Tutkielman lopussa yhteenvedossa tiivistetään tutkielman sisältö, teh- dään johtopäätökset ja esitetään mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

## 2 Esineiden internet

Esineiden internetille (engl. Internet of Things, IoT) löytyy useita näkemyksiä ja määrittelyjä kirjallisuudesta, riippuen osittain aiheeseen lähestyttävästä näkökulmasta. Vaikka näkemyksiä on useita, yhteisiä piirteitä kuitenkin on runsaasti tähän liittyen. Yleisesti esineiden internetiä yhdistää näkemys siitä, että kaikki laitteet kommunikoivat keskenään, ovat tunnistettavissa ja myös toimivat ja tekevät päätöksiä keskenään (Miorandi ym., 2012; Atzori ym., 2010). Laitteiden lisäksi Khan ja muut (2012) sekä Atzori ja muut (2010) näkevät että esineiden internet mahdollistaa myös ihmisten olevan yhteydessä näihin laitteisiin. Esineiden internet nähdään myös visiona verkostoituneiden fyysisten objektien globaalista infrastruktuurista (Kortuem ym., 2010). Yksinkertaistettuna esineiden internet muuntaa nykyiselle internetille tyypillistä ihmisten välistä (engl. Human-to-Human, H2H) vuorovaikutusta enemmän ihmisen ja laitteen (engl. Machine-to-Human, M2H) sekä pelkästään laitteiden välistä (engl. Machine-to-Machine, M2M) vuorovaikutusta kohti (Khan ym., 2012).

Jotta IoT-teknologioita pystyttäisiin hyödyntämään, täytyy nykyisen internetin muuntautua loppukäyttäjien laitteiden yhdistämisestä suuntaan, jossa internet yhdistää fyysisiä objekteja kommunikoimaan sekä toistensa, että ihmisten. Tämä vaatii uudelleenajattelua joihinkin tavanomaisiin lähestymistapoihin, kuten verkottumiseen, laskentaan sekä palveluiden toimittamiseen ja hallintaan liittyen. (Miorandi ym., 2012.) Esimerkiksi esineiden internet -palveluiden tulee olla Miorandin ja muiden (2012) mukaan vastaanottavia luonteeltaan ja kyetä ennakkoimaan käyttäjän tarpeita sen hetkisessä tilanteessa dynaamisten resurssien hallintasuunnitelmien ja erilaisten palvelukomponenttien liikkeessä vaihtuvien rakenteiden mukaan. Monien vaatimuksien vuoksi esineiden internetiin voidaan määrittää ominaisuuksia, joiden pohjalta vaatimuksia voidaan toteuttaa. Labuda ja Gillespie (2017) esittävät kolme erityisominaisuutta Nawirin ja muiden (2016) mukaan esineiden internetille. Ensimmäisenä esineiden internetillä on kattava tietoisuus saada informaatiota käyttäen älykkäiden objektien ja verkon liitettävyyttä. Toisena ominaisuutena esineiden internet takaa luotettavan tiedonsiirron, jotta järjestelmän reaaliaikaisuus ja tarkkuus säilyvät. Kolmantena esineiden internetin tulee sisältää älykästä prosessointia, jotta järjestelmät toimivat myös älykkäästi. Kuvassa 1 havainnollistetaan esineiden internetiin kuuluvia elementtejä.



KUVA 1: IoT-elementit. Al-Fuqaha ym. (2015)



## 2.1 Esineiden internet arkkitehtuuri (Kuva 2)

Internet on muuttunut staattisista verkkosivustoista sosiaaliseen verkostoon perustavaksi verkoksi ja esineiden internetin ajatellaan olevan tämän seuraava kehityssaskel. Esineiden internet yhdistää objekteja käyttäen yleistä internetprotokollaa (engl. Internet Protocol, IP) (Bilal, 2017). Tutkimuksissa usein on hyväksytty esineiden internetin kolmikerroksinen arkkitehtuuri, mutta useissa tutkimuksissa näiden kolmen kerroksen lisäksi nähdään arkkitehtuuriin kuuluvan myös kaksi lisäkerrosta. Nämä kerrokset ovat havaitsemis-, verkko-, sovellus-, väliohjelmisto- ja liiketoimintakerros.

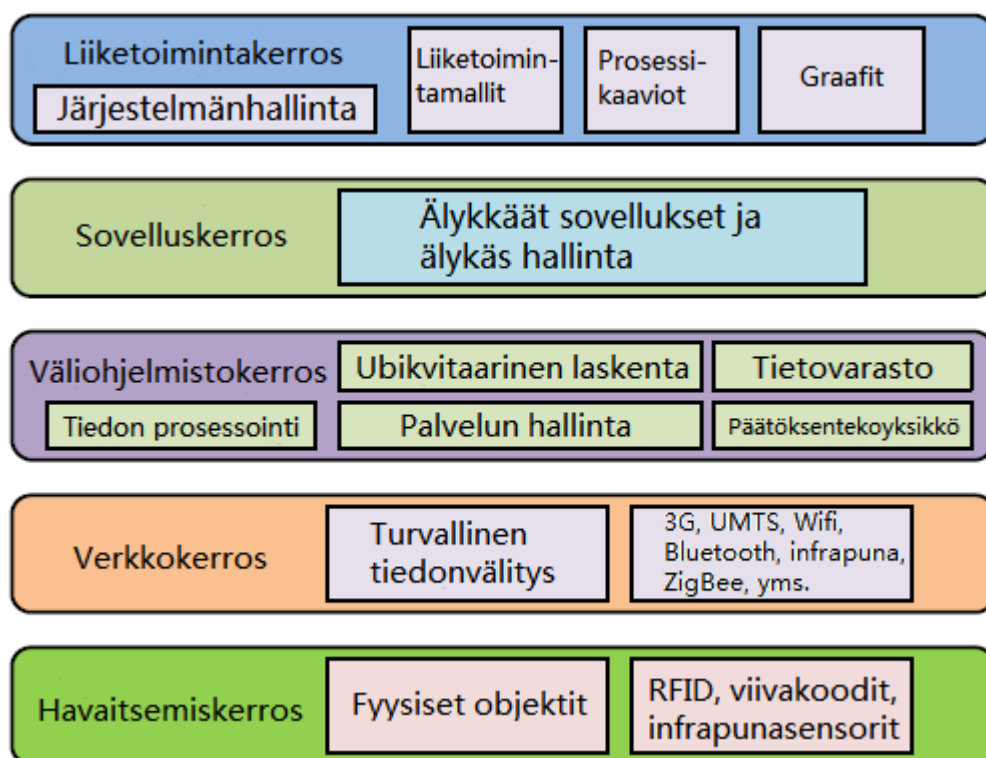
Havaitsemiskerros (engl. perception layer) koostuu fyysisistä objekteista ja sen tehtävänä on tunnistaa objektit ja kerätä dataa (Khan ym., 2012; Wu ym., 2010). Tämän jälkeen kerätty data annetaan verkkokerrokselle. Havaitsemiskerroksen voidaan ajatella olevan esineiden internetille kuin viisi tuntoaistia, joiden kautta saadaan informaatiota (Wu ym., 2010).

Verkkokerros (engl. network layer) on kuin esineiden internetin aivot ja neuroverkko, joiden kautta havaitsemiskerroksen data prosessoidaan ja lähetetään eteenpäin (Wu ym., 2010). Tässä kerroksessa datan välitys tapahtuu turvalisesti ja voi välittyä lankoja pitkin tai langattomasti, riippuen sensorilaitteista (Khan ym., 2012).

Seuraavaksi viisikerroksisessa arkkitehtuurimallissa data siirtyy väliohjelmistokerrokselle (engl. middleware layer). Kaikki objektit pystyvät kommunikoimaan vain niiden palveluiden kautta, mitä ne itse käyttävät ja vain niiden objektien kanssa, jotka myös käyttävät samoja palveluja. Väliohjelmistokerroksessa palvelunhallinnalla näiden objektien tietoja voidaan yhdistää ja tallentaa tietovarastoon. Kerroksessa informaatiota prosessoidaan ja laskentaa, jonka tulosten perusteella tehdään kerroksessa autonomisia ratkaisuita. (Khan ym., 2012).

Sovelluskerroksessa (engl. application layer) tapahtuu varastoidun tiedon hallinta. Kerroksen tarkoitus on yhdistää sovellukset ja käyttäjät niin, että käyttäjälle saadaan personoituja palveluita. Tarkoituksena on saada aikaan toimialalle hyvin älykkäitä yksilöityjä ratkaisuja. (Bilal, 2017.)

Liiketoimintakerros (engl. business layer) tekee sovelluskerrokselta saadusta datasta malleja ja kaavioita, joiden avulla liiketoiminnassa voidaan arvioida tulevaisuuden toimintoja ja liiketoimintastrategiaa. Esineiden internetin onnistumisen kannalta on tärkeää, että tällä pystytään luomaan kaupallista hyötyä. (Khan, 2012.)



KUVA 2: IoT-arkkitehtuuri. Khan ym. (2012)

## 2.2 Avainteknologiat

Esineiden internetiin liittyy muutamia avainteknologioita, jotka mahdollistavat tähän liittyviä ominaisuuksia ja vievät internetiä kohti tulevaisuutta, jossa kaikki on yhdistettyä. Tähän tarvitaan teknologisia elementtejä, jotka pystyvät tunnistamaan, havaitsemaan ja ajattelemaan (Bilal, 2017). Näitä asioita mahdollistavia teknologioita, joiden ajatellaan tällä hetkellä olevan keskiössä esineiden internetiä ajatellen, on kolme: älykäs objekti, radiotaajuinen etätunnistus ja langattomat sensoriverkot.

### 2.2.1 Älykäs objekti

Älykäs objekti (engl. smart object) on autonominen fyysinen tai digitaalinen objekti, johon on laajennettu tunnistus-, prosessointi- ja verkottumiskyvyt (Kortuem ym., 2010). Myös toiminnallisuuksilla voidaan kuvailla älykästä objektiä. Älykäs objekti pystyy tunnistamaan itsensä, havaitsemaan informaatiota tai tekemään toimintoja ympäristössään, eli reaali maailmassa ja pystyy digitaalisesti kommunikoimaan toisten verkottuneiden järjestelmien kanssa (Ziekow &

Stücker, 2011). Näiden lisäksi älykkäät objektit pystyvät myös vaihtamaan informaatiota ihmisten kanssa, koska ne sisältävät runsaasti käyttämislogiikkaa (Kortuem ym., 2010). Kortuem ja muut (2010) jakavat älykkäät objektit kolmeen tyyppiin: toiminta-, menettelytapa- ja prosessitietoisiin objekteihin.

Toimintatietoinen objekti (engl. activity-aware object) on yksinkertaisin näistä kolmesta tyyppistä. Tämän tyyppiset objektit ymmärtävät maailmaa vain niiden tapahtumien ja toimintojen kautta, jotka liittyvät suoraan tähän kyseiseen objektiin. Pääasiassa toimintatietoinen objekti vain kirjaa dataa eikä tarjoa mitään interaktiivista ominaisuutta.

Menettelytapatietoinen objekti (engl. policy-aware object) osaa tulkita reaali maailman tapahtumia ja toimintoja ennalta määrättyjen järjestöllisten menettelytapojen mukaan. Menettelytapatietoisin objektin toimintamalli perustuu sille annettuihin sääntöihin, jonka mukaan objekti toimii käytännössä. Objekti voi esimerkiksi antaa varoituksen, jos se havaitsee menettelytapojen rikkomuksen toiminnassa.

Prosessitietoinen objekti (engl. process-aware object) ymmärtää järjestölliset prosessit missä se on itse osallisena ja voi mukautua reaali maailman tapahtumiin ja toimintoihin, jotka koskevat näitä prosesseja. Tämän tyyppin objekti tietää prosessin työn vaiheet ja osaa neuvoa eri vaiheiden tehtävissä, takarajoissa ja päätöksenteossa.

## 2.2.2 Radiotaajuinen etätunnistus

Esineiden internetin tunnistamistekniikassa radiotaajuisen etätunnistuksen (engl. radio frequency identification, RFID) merkityksen odotetaan olevan suuri (Miorandi ym., 2012). Tekniikka itsessään on jo yli 50 vuotta vanhaa, mutta sitä ei olla hyödynnetty laajemmin vielä lähinnä kustannussyistä. Nyttemmin radiotaajuisen etätunnistuksen potentiaalisia hyötyjä on tiedostettu paremmin ja tekniikan mahdollisuuksia tutkittu enemmän (Want, 2006).

Yksinkertainen radiotaajuisen etätunnistuksen järjestelmä koostuu lukijasta (engl. RFID reader) ja merkistä (engl. RFID tag) (Da Xu, He & Li, 2014). Merkki on ainutlaatuinen tunniste ja tämä lisätään objekteihin. Lukijat laukaisevat merkin lähetyksen lähettämällä sopivan signaalin, joka tiedustelee mahdollisten merkkien olemassa oloa alueella ja näiden yksilöllisten tunnisteiden kuuluvuutta. (Atzori ym., 2010.) Tällainen tunnistusjärjestelmä helpottaa kaikkien merkin omaavien objektien automaattisessa tunnistuksessa, toimien ikään kuin elektronisena viivakoodina (Welbourne ym., 2009). Fyysisesti radiotaajuisen etätunnistuksen merkki on pieni mikrosiru, johon on kiinnitetty antenni, joka sekä vastaanottaa lukijan signaalin että lähettää merkin yksilöllisen tunnisteeseen. Taajuusalue signaaleille vaihtelee matalista taajuuksista (124-135kHz) aina erittäin korkeisiin taajuuksiin (860-960MHz), joilla on korkein kantama. (Atzori ym., 2010.)

Radiotaajuiset etätunnistulaitteet voidaan jakaa kahteen luokkaan: aktiivisiin ja passiivisiin merkkeihin (Want, 2006; Gubbi ym., 2013). Aktiiviset merkit

vaativat virtalähteen toimiakseen, joten ne on sidottu johonkin sähkövirtaa käyttävään infrastruktuuriin tai omaavat oman integroidun virtalähteen, kuten pariston. Aktiivinen merkki täten maksaa enemmän, on suurempi kooltaan kuin passiivinen merkki ja aktiivisen merkin elinkaari riippuu sen virtalähteestä. (Want, 2006.) Wantin (2006) mukaan passiiviset merkit ovat täten kiinnostavampia teollisessa mielessä, koska ne eivät vaadi ylläpitoa tai virtalähdettä ja ovat erittäin pieniä. Passiivisessa merkissä virta välittyy lukijalta elektromagneettisesti (Gubbi ym., 2013).

Radiotaajuisilla etätunnistusjärjestelmillä voidaan jäljittää objekteja reaaliaikaisesti ilman, että objektien tarvitsee olla fyysisesti näkökentässä tai luettavissa. Tämä mahdollistaa sen, että reaali maailmaa voidaan kartoittaa virtuaaliseen maailmaan ja siksi tätä voidaan hyödyntää useilla eri aloilla, kuten logistikkassa ja terveydenhoidossa. (Atzori ym., 2010)

### 2.2.3 Langaton sensoriverkko

Kehitysasteet mikrojärjestelmäteknologiassa (engl. micro-electro-mechanical systems, MEMS), langattomassa viestinnässä ja digitaalisessa elektroniikassa ovat mahdollistaneet halpojen, pienitehoisten ja monitoimisten sensorisolmujen (engl. sensor nodes) kehittämisen, jotka ovat kooltaan hyvin pieniä ja pystyvät kommunikoidaan keskenään langattomasti. Näissä solmuissa on tunnistus-, dataprosessointi- ja viestintäkomponentteja, joita hyödyntämällä voidaan muodostaa sensoriverkkoja. (Akyildiz ym., 2002.) Langattomaan sensoriverkkoon kuuluu suuri määrä solmuja, jotka on asetettu kohdealueelle mistä tietoja halutaan kerätä (IEC, 2014). Sensoreilla voidaan havaita useita ilmiöitä, kuten lämpöä, tärinää, ääntä ja painetta (Akyildiz ym., 2002), ja solmujen välityksellä voidaan sensorien havaitsemaa dataa lähettää järjestelmiin analysointia varten (Gubbi ym., 2013).

Atzorin ja muiden (2010) mukaan sensoriverkostoilla on myös iso merkitys esineiden internetin kannalta. Kun sensoriverkkoihin yhdistetään radiotaajuisen etätunnistuksen teknologiaa, ympäristöä pystytään havainnoimaan paremmin ja nykytilanteen kuvasta saadaan tarkempi. Sensoriverkot sekä esineiden internet eivät ole yksittäisiä teknologioita, vaan enemmänkin monimutkaisia järjestelmiä, jotka käyttävät useita teknologioita ja joita on mahdollista käyttää useilla eri aloilla ja eri ympäristöissä. Tämän vuoksi standardointi on haastavaa sensoriverkoille, mutta nykyiset ja tulevaisuuden mahdollisuudet infrastruktuureille tällä teknologialla on houkuttelevaa. (IEC, 2014).

## 2.3 IoT-sovelluksia (Kuva 3)

Potentiaalisia mahdollisuuksia esineiden internet teknologioiden hyödyntämisessä nähdään olevan paljon, mutta tällä hetkellä vain muutamia ollaan ottamassa käyttöön. Radiotaajuisen etätunnistusteknologian käyttö on kasvattanut

suosiotaan teollisuudessa, joka edesauttaa paljon esineiden internetin toteutusta ja kertoo osaltaan myös siitä, että yritykset ovat havainneet tämän kaupallisen-hyödyn (Miorandi ym., 2012). Tulevaisuutta ajatellen uskotaan, että älykkäitä ratkaisuita on kaikkialla, kun perinteisiin arkielämän laitteisiin yhdistetään älykkäitä ominaisuuksia ja teollisuudessa älykkyyden lisäyksellä voidaan esimerkiksi tavoitella suuriakin kustannushyötyjä ja automaation parannusta (Bandyopadhyay & Sen, 2011). Miorandi ja muut (2012) uskovat, että esineiden internet voi seurata matkapuhelimien kehitystä, jossa tarve viestintään ajasta ja paikasta riippumatta kasvattivat laitteiden määrä suuresti. Samanlaisen tarpeen uskotaan muodostuvan kaikkiin muihinkin laitteisiin. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään kirjallisuudessa tunnistettuja sovellusmahdollisuuksia esineiden internet -teknologialle.

Terveydenhoitosektoria koskevia näkemyksiä esineiden internetin potentiaalia kohtaan on paljon. IoT-teknologia mahdollistaisi kaikkien terveydenhoitojärjestelmän objektien jatkuvan valvonnan ja paikannuksen. Globaalin yhdisteltävyyden kautta kaikki sektoriin kuuluva informaatio voidaan kerätä, hallinnoida ja jakaa tehokkaasti. (Da Xu ym., 2014.) Esimerkiksi potilaasta voidaan seurata puettavan teknologian (engl. wearable technology) avulla kehon lämpötilaa, verenpainetta ja hengitystä, jolloin heterogeeniset sensorit havainnoivat ja kommunikoivat keskenään tästä kerätyn datan avulla. Terveyden tilan heikkeneminen laukaisevat toiminnan, jolloin hoitohenkilökunta voi mahdollisesti toimia aikaisemmin ja ennaltaehkäistä terveysongelmia. (Miorandi ym., 2012.) Terveyden hoito palveluista saadaan myös paremmin personoituja, kun ihmisistä kerättyä dataa tallennetaan, analysoidaan ja lähetetään omiin henkilökohtaisiin laitteisiinsa, jolla voidaan parantaa yksilöllisiä elämäntapoja ja vähentää terveysriskejä (Miorandi ym., 2012; Da Xu ym., 2014). Ihmisiin voitaisiin lisätä jopa biohajoavia mikrosiruja tekemään ohjattuja toimintoja. Esimerkiksi halvaantumisista kärsiville ihmisille voidaan antaa lihasstimulaatioita istutetun älykkään elektronisen simulaatiojärjestelmän kautta liikkumistoimintojen palauttamiseksi. (Bandyopadhyay & Sen, 2011.)

Kulkuneuvoihin asennetaan yhä enemmän tehokkaita havaitsemis-, verkostoitumis-, viestintä- ja dataprosessointiominaisuuksia, jolloin esineiden internetillä voidaan hyödyntää näitä alikäytettyjä ominaisuuksia kulkuneuvojen välillä (Da Xu ym., 2014). Dynaamisella liikenteensuunnittelulla esineiden internetin avulla pystyttäisiin esimerkiksi vähentämään ruuhkia, matka-aikaa, jonotusta, ääni- ja ilmansaasteita (Gubbi ym., 2013). Myös tieliikenteen turvallisuutta voidaan parantaa, kun liikenteessä kulkuneuvot kommunikoivat tehokkaammin keskenään ja arvioivat riskejä paremmin (Da Xu, 2014). Esineiden internetin sensoriverkostoiden uskotaan korvaavan nykyiset vain kulkuneuvojen havaitsemiseen perustuvat sensoriverkostot liikenteessä, ja tuomaan liikenteenohjaukseen eri skenaarioihin perustuvilla malleilla tehokkaampia liikenteenohjausratkaisuita (Gubbi ym., 2013).

RFID-teknologiaan perustava reaaliaikainen seuranta voi tehostaa kaikkien tuotantoketjun prosesseja ja näin hyödyttää yrityksiä taloudellisesti. Kuljetetta-

vista tuotteista on mahdollista saada sijaintitietojen lisäksi tuotteisiin liittyviä ulkopuolista tietoa, jolloin on mahdollista reagoida nopeammin markkinoiden muutoksiin. Tällaisilla ratkaisuilla voidaan pienentää varastoiden kokoa ja parantaa jälleenmyyjien tietoutta tuotteiden saatavuudesta. (Atzori ym., 2010.) Tuotantoketjujen optimointi esineiden internetin avulla parantaa myös ekologisuutta, kun kaikista objekteista kerättyä dataa analysoidaan ja kehitetään parempia ratkaisumalleja (Bandyopadhyay & Sen, 2011).

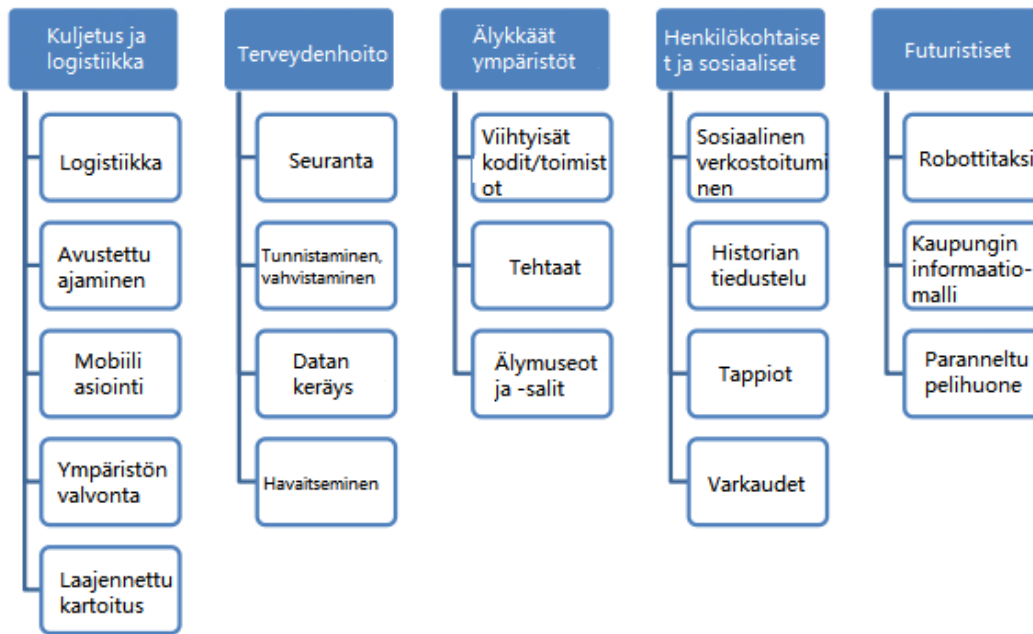
Sensorien ja ohjaimien lisääminen asuntoihin ja toimistoihin voi parantaa mukavuutta monilla eri tavoilla: huoneiden lämpötilat voidaan asettaa mieltymysten mukaan, huoneiden valaistus vaihtuu vuorokauden ajankohdan mukaan, pahoinpitelyiden välttämiseksi voidaan hankkia sopivat seuranta- ja hälytysmenetelmät ja energiaa voidaan säästää kytkemällä automaattisesti pois laitteet, mitä ei käytetä (Atzori ym., 2010). Sensorien täytyy tällöin seurata sekä resurssien (sähkö, vesi) kulutusta ja samalla ennakoida käyttäjien tarpeita (Miorandi ym., 2012). Esimerkiksi älypuhelimella voidaan ohjailla kodin ympäristöä mieltymysten mukaan ja sensorit rajoitetaan keräämään vain dataa samaa verkkoa käyttävistä laitteista. Tällä tavoin voidaan myös helpottaa vanhusten yksinasumista ja vähentää hoito- ja sairaalaan sijoittamiskustannuksissa. (Gubbi ym., 2013.)

Älykaupungilla tarkoitetaan IBM-yrityksen kehittämän määrittelyn mukaan informaatio- ja viestintäteknologioita käyttämällä havaita, analysoida ja integroida keskeisten järjestelmien avaintietoja toisiinsa kaupungeissa. (Su, Li & Fu, 2011). Internet ja laajakaistaverkkoteknologiat kehitys on kasvattanut verkkopalveluiden tarvetta kaupunkien kehittämisessä ja tämä on tuonut uusia haasteita siitä, miten kaupungit ja niiden ympäristöt voivat kehittyä kohti kestäviä, avoimia ja innovatiivisia käyttäjälähtöisiä ekosysteemejä (Schaffers ym., 2011, s. 431-432). Schafferin ja muiden (2011, s. 450) mukaan esineiden internetiä voidaan hyödyntää erityisesti kaupunkien liikenteenohjauksessa, ympäristön ja energian kulutuksen seurannassa, rakennusten hallinnoinnissa, terveydenhuollossa, yleisen turvallisuuden parantamisessa ja etätyönteon ja virtuaalisen mainonnan parantamisessa. Sensori- ja ohjainverkostoiden kehityksen avulla massiivisia sensoriverkostoita voidaan perustaa kaupunkien infrastruktuureihin, jolloin nämä saadaan yhdistettyä esineiden internetiin. Älykaupunkien visioissa esineiden internetillä on suuri rooli tällaisten älykkäiden ympäristöjen luomiseksi, joten tutkimuksia ja tapausesimerkkejä näihin liittyen on varmasti tulossa tulevaisuudessa.

Esineiden internet -teknologiaa voidaan hyödyntää ympäristön valvonnassa, jolloin tärkeä merkitys on teknologian havaitsemiskyvyllä. Luonnonilmiöistä ja -toiminnoista voidaan kerätä erilaista tietoa, kuten lämpötilaa, kosteutta, tuulen nopeutta, ja tätä heterogeenistä dataa voidaan integroida vaivatta maailmanlaajuisesti sovelluksiin. (Miorandi ym., 2012.) Tällä tavoin voidaan ennakoida esimerkiksi luonnonkatastrofien muodostumista ja tehdä sopivia toimintoja näihin varautuen jo etukäteen (Khan ym., 2012). Pienten laitteiden kehityksen myötä näitä saadaan laitettua paikkoihin, joissa ihmisen ei ole järkevää toimia, kuten tulivuorissa ja merten syvänteissä. Esineiden internet voi tarjota näi-

hin uuden sukupolven tarkkailu- ja päätöksentekotukijärjestelmiä, jotka ovat raakeisempia ja reaaliaikaisempia kuin nykyiset ratkaisut. (Miorandi ym. 2012.) Ympäristön turvallisuutta saataisiin myös lisättyä, kun esineiden internet teknologiaa valjastettaisiin tähän tarkoitukseen. Esimerkiksi tulipalojen alkua voidaan havaita paremmin, kun sensorit tarkkailevat tässä tapauksessa lämpötiloja. Tämän lisäksi voidaan ottaa huomioon muita kriittisiä parametreja päätöksentekoon, joita voisivat olla esimerkiksi paloalueen laatu, ihmisten todennäköisyys alueella ja materiaalien paloherkkyys. (Miorandi ym., 2012.) Nopealla reaktioajalla on suuri merkitys ihmis- ja kiinteistövahinkojen ja onnettomuuksien laajuuden vähentämisen kannalta. Esineiden internetiä teknologiaa voidaan soveltaa myös muihinkin tapauksiin, kuten maanjäristyksiin ja tsunameihin, jolloin on tärkeää saada reaaliaikainen kuva tapauksesta ja sitä kautta tehokkaat koordinaatiostrategiat pelastusryhmille. (Miorandi ym., 2012.)

Turvallisuuden valvominen on nykyään välttämätöntä monille julkisille paikoille. Tähän asti valvomiseen useimmiten käytetään kameroita, joille voidaan esineiden internet -teknologiasta saada halvempia ja toiminnallisuuksiltaan parempia vaihtoehtoja, jotka säilyttäisivät oikein käytettynä myös paremmin myös yksityisyyttä. (Miorandi ym., 2012.) Miorandin ja muiden (2012) mukaan näillä teknologioilla pystytään luomaan hyvin ennakoivia hälytysjärjestelmiä esimerkiksi työskenneltäessä vaarallisten kemikaalien kanssa, henkilöntunnistumenetelmiä RFID-teknologian avulla ja sensorit voisivat analysoida epäilyttävää toimintaa. Esineiden internet hyödyttäisi esimerkiksi myös vakuutusyhtiöiden toimintaa, kun autoihin asennettaisiin tällaista teknologiaa, joka tallentaisi ajonopeutta ja muita parametreja ajokäyttäytymiseen liittyen (Bandyopadhyay & Sen, 2011). Luonnollisesti isona kysymyksenä tähän sektoriin liittyen tulevat olemaan yksityisyyden rikkomuksiin liittyvät ongelmat, jos esineiden internet -teknologiaa aletaan käyttämään tähän laajemmassa mittakaavassa. Hyötyjä nähdään sektorille kuitenkin paljon, etenkin joustavuudessa ympäristön vaihtelujen mukaan ja kustannusten vähentymisessä. (Miorandi ym., 2012.)



KUVA 3: IoT-sovelluksia. Atzori ym. (2010)

## 2.4 Esineiden internet yhteenvetona

IoT-teknologioilla on paljon mahdollisia sovelluskohteita tulevaisuudessa. Sovelluskohteita löytyy niin arkielämästä kuin myös kaupallisiin tarkoituksiin ja tämän odotetaan olevan seuraava internetin kehitysaskel, jossa kaikki on yhdistettyä ajasta ja paikasta riippumatta. Kerättyä tietoa pystytään analysoimaan yhä tehokkaammin ja tietoa pystytään kohdentamaan tarkoituksiin yhä tarkemmin. Tiedon merkitys on nykyisellään yhteiskunnissa hyvin suuri, joten tiedon määrän ja laadun kasvattamisessa esineiden internetillä nähdään olevan todella suuri potentiaali.

Useita tutkimuksia ja tapaustestejä on jo tehty esineiden internetille, mutta kovin laajasti ei ole näitä teknologioita otettu käyttöön, millä saataisiin oikeita näkemyksien mukaisia potentiaaleja tarkasteltua. Lukuiset tekijät kuitenkin rajoittavat teknologioiden käyttöönottoa, kuten lainsäädännölliset, eettiset ja tekniset ongelmat. Tulevaisuudessa on kuitenkin odotettavissa, että IoT-teknologioita otetaan käyttöön laajemmassa mittakaavassa.



### 3 IT-Integrointi

Integroimisella tarkoitetaan erilaisten asioiden tuomista yhteen niin, että ne pysyvät toimimaan tehokkaasti yhdessä. Tässä luvussa tarkastellaan integrointia vain informaatioteknologian kannalta, koska tutkielman tulosten kannalta ei ole merkittävää tutkia esimerkiksi sosiaalista integraatiota. Informaatioteknologiasakin on paljon useita eri integraatiotyyppejä, mutta tutkielman kannalta olennaisimmat näistä ovat sovellus- ja järjestelmäintegraatiot. Kirjallisuudessa integraatioita tutkitaan yleisesti yritysten ja organisaatioiden kannalta, joten tätä näkökulmaa käytetään myös tässä tutkielmassa. Integraatiot informaatioteknologiassa ovat olleet ajankohtaisia asioita aina tietokoneen syntyisestä lähtien ja tutkimuksia näihin liittyen on tehty paljon etenkin 1990-luvulla. Tässä luvussa kerrotaan integraatioiden taustasta, määritellään järjestelmä- ja sovellusintegraatioita, esitellään palvelukeskeistä arkkitehtuurin näkökulmaa ja lopuksi esitellään integraatioiden haasteita IoT-järjestelmiin liittyen.

#### 3.1 Järjestelmäintegraatiot

Tietojärjestelmien kannalta integraatiolla on useita määritelmiä. Näitä ovat esimerkiksi järjestelmien toimiminen yhdessä, kokonaan uuden järjestelmän kehittäminen, olemassa olevien järjestelmien kokoaminen yhdeksi loogiseksi järjestelmäksi, järjestelmien välisen kommunikaation varmistaminen tai mahdollistaminen, organisaation sisäisten prosessien uudelleen rakentaminen, olemassa olevien järjestelmien vakiointi sekä järjestelmän laajennusta tai soveltamista (Modol, 2006). Useimpien yritysten visiona on ollut yksi hyvin integroitu tietojärjestelmä koko yritykselle, jolloin kaikki tieto on saatavilla yhdessä järjestelmässä ajan tasalla ja nopeasti. Tämä 1970-luvulla kehittynyt visio on kuitenkin jäänyt yrityksissä useimmiten haaveeksi, osittain tietokoneiden tehokkuuden ja ohjelmointikielien vajaavaisuuksien takia. Lisäksi uusien informaatioteknologioiden mahdollisuuksien myötä yrityksissä on ohjelmoitu uusia järjestelmiä, jolloin yrityksiin on syntynyt paljon erilaisia itsenäisesti toimivia järjestelmiä. (Markus & Tannis, 2000.) Nämä järjestelmät eivät välttämättä kommunikoi hyvin keskenään, jolloin tieto on hajautunut organisaatioissa useaan eri paikkaan ja tiedon laatu ja tarkkuus vaihtelevat. Tämä luo omat vaikeutensa organisaatioille ja tämän takia järjestelmien integroimista pyritään nykyisin organisaatioissa toteuttamaan enemmän.

Järjestelmien integroimisessa on useita haasteita, mutta usein tunnistettuja ongelmia on järjestelmien heterogeenisyys ja itsenäinen toiminta. Järjestelmiä on yleensä kehitetty itsenäisesti muista järjestelmistä ja heterogeenisyyttä esiintyy usealla eri tasolla ja useista eri syistä. Teknisellä tasolla näitä hajanaisuuksia muodostuu erilaisista laitteistojen alustoista, käyttöjärjestelmistä, tietokantojen hallintajärjestelmistä ja ohjelmointikielistä. Käsitteellisellä tasolla hajanaisuus

johtuu erilaisten ohjelmointi- ja datamallien käytöstä sekä eri tavoista ymmärtää reaali maailman käsitteiden mallinnusta. Järjestelmät voivat olla myös suunniteltuja toimimaan autonomisesti, jolloin kehittäjät ovat valinneet näille muun muassa esiintymistavan, ohjelmointimallit ja nimeämiskäsitteet. Myös kommunikointi- ja toimintatavat voivat olla itsenäisiä, jolloin järjestelmät päättävät itsenäisesti, miten ne käsittelevät vuorovaikutustapansa ulkopuolisen maailman kanssa. (Hasselbring, 2000.)

Nykyään yrityksissä järjestelmien integrointi on ydinosa niiden menestymisen kannalta (Hobday, Davies & Prencipe, 2005; Modol, 2006). Yritysten sisäisten järjestelmien tiedon yhtenäistämisen varmistamisen lisäksi integraatioilla pyritään välttämään organisaation rakenteiden hajautumista. Yleensä organisaatioilla ei ole aikaa ja aiheita kokonaan korvata perinteisiä järjestelmiään, jolloin uusien käyttöön otettavien järjestelmien pitää pystyä integroitumaan jo käytössä olevien järjestelmien toiminnallisuuksiin. Siksi järjestelmäintegroinnilla pyritään rakentamaan sovelluksia, jotka ovat sopeutettavissa liiketoiminta- ja teknologia-muutoksiin ja samalla pystyvät pitämään perinteiset sovellukset ja teknologiat mukana mahdollisimman järkevästi. (Modol, 2006.) Kaiken kaikkiaan järjestelmäintegraatiot ovat merkittäviä teknisiä, strategisia ja organisaationallisia kykyjä; mitä suuremmaksi järjestelmän laajuus ja uutuus kasvavat, sitä tärkeämpää integroitumiskyky on modernissa korkean teknologian yrityksessä (Hobday ym., 2005).

### 3.2 Sovellusintegraatiot

Avaintekijät sovellusintegraatioiden (engl. Enterprise Application Integration, EAI) syntymiselle on neljä: organisaatiomuutokset, inhimilliset tekijät, liiketoimintaympäristö ja -kilpailu sekä liiketoimintastrategia, -mallit ja kilpailullisen etuaseman saavuttaminen. Toiminnanohjausjärjestelmien (engl. Enterprise Resource Planning, ERP) käyttöönottojen ja internetin kehityksen myötä liiketoiminnan harjoittaminen muuttui paljon, jolloin nämä muuttivat organisaatioiden rakenteita ja pakottivat nämä mukautumaan uusiin standardeihin. Sovellusintegraatiot vaikuttavat myös organisaatioiden henkilöstöihin, koska automaatio lisääntyy uudenlaisten järjestelmien myötä ja työntekijöiden tarve vähenee. Elektronisen kaupankäynnin ja globalisaation myötä kilpailu kiristyi ja liiketoimintaympäristö muuttui, jolloin tarve sovellusintegraatioille lisääntyi. Viimeisenä toiminnanohjausjärjestelmien käyttöönotot pakottivat yritykset muuttamaan liiketoimintastrategiaansa, jotta tällaisen paketoidun järjestelmän tuominen yritykseen saavuttaisi kilpailullista etulyöntiasemaa. (Themistocleous & Irani, 2000.)

Sovellusintegraatiot voidaan ajatella olevan ikään kuin tarkennuksia yleisille järjestelmäintegraatioille, joilla voidaan havainnollistaa tarkemmin yrityksen integraatiotarpeita ja mahdollisia hyötyjä näihin liittyen. Sovellusintegraatioiden määritelmästä on monia näkökulmia, mutta esimerkiksi Singletaryn (2003)

mukaan se on saumaton infrastruktuuri, joka näkyy joukkona sovelluksia määritellyllä toiminta-alueella. Nämä sovellukset jakavat dataa ilman merkittävää viivettä ja toimivat yhdessä koordinoitulla tavalla suorittaakseen kaikkia organisaation niille määrittämiä toimintoja.

Sovellusintegraatio hyödyntää uudella tavalla standardisoituja väliohjelmistoviitekehyksiä sekä objektisuuntautunutta teknologiaa, ja tuo lisäarvoa sovelluksille tuomalla näihin liiketoimintalogiikkaa luoden dynaamisemman IT-infrastruktuurin, joka voi kehittyä yrityksen kanssa. Integraatiot parantavat organisaation suorituskykyä sekä toiminnallista tehokkuutta, tarjoavat tehokkaan keskuksen hallinnointiin ja lisäarvoa palveluille, vähentävät ylläpidon tarvetta sekä tarvittavan osaamisen määrää sovellusten integroimiseen ja mahdollistavat nopeamman markkinoille tuontiajan yrityksille. (Themistocleous & Irani, 2000.) Irani, Themistocleous ja Love (2003) näkevät kolme eri tasoa sovellusintegraatioille: organisaation sisäiset, organisaatioiden väliset ja hybridimallit. Organisaatioiden sisäisissä integraatioissa hyödynnetään organisaation sisäverkkoja, joilla yhdistetään esimerkiksi toiminnanohjaus-, perinteisiä-, toimitusketju- sekä pienempiä organisaation yksittäisiä järjestelmiä. Näitä sisäisiä järjestelmiä voidaan luokitella vielä räätälöidyiksi tai paketoituksi järjestelmiksi. Räätälöidyt järjestelmät ovat yleensä tarkasti määriteltäviä ratkaisemaan yrityksen ongelmia ja eivätkä siksi ole helposti muokattavissa, kehitettävissä tai käytettävissä muille organisaatioille. Tällaisia ovat esimerkiksi yritysten perinnejärjestelmät. Paketoitujen järjestelmien ei ole tarkasti määriteltäviä tietylle yritykselle, ja ovat siten helpommin muokattavissa. Toisaalta organisaatioiden on usein muokattava liiketoimintaprosessejaan tai strategiaansa voidakseen käyttää näitä järjestelmiä. Esimerkiksi ERP-järjestelmät ovat yleensä paketoituja järjestelmiä. Näiden järjestelmien integroinnista voidaan saada paljon lisäarvoa, mutta hyvin erilaisten ja usein vanhojen järjestelmien linkittäminen toisiinsa on haasteellista.

Organisaatioiden välisessä integroinnissa yritetään liittää yritysten välisiä liiketoimintaprosesseja ja -järjestelmiä koko toimitusketjussa. Kirjallisuudessa organisaatioiden väliset integroinnit jaetaan laajennettuihin ja virtuaalisiin yrityksiin. Integrointiasteet luokitellaan löysiin ja tiukkoihin, mikä on tärkeää, koska yritykset yleisesti seuraavat vain toista näistä, kun verkkoliiketoimintajärjestelmiä yhdistetään. Löysässä integroinnissa yhtenäisen verkkoliiketoimintainfrastruktuurin kehittäminen ei ole hyvin tärkeää. Organisaatiot pyrkivät näin laajentamaan liiketoimintaansa verkkoliiketoimintaa hyödyntämällä, mutta yrittävät pitää itsensä vain niukasti kiinni ulkoisissa liikekumppaneissa. Tiukassa integroinnissa yhdistäminen on hyvin tärkeää, koska tässä lukuisat yritykset jakavat dataa ja prosesseja. Tavoitteena tässä on toimia ikään kuin yhtenä virtuaalisena organisaationa.

Hybridimallin integrointi liittyy lähinnä yritykseltä asiakkaalle (engl. business-to-consumer, B2C) suuntautuviin sovelluksiin, jossa yritys toimii palveluntarjoajana ja asiakas käyttää tätä internetin välityksellä. Hybridimallin sovellukset mahdollistavat asiakkaan tekemät ostot integroimalla yrityksen sisäisiä jär-

jestelmiä ja/tai ulkoisten kauppakumppaneiden järjestelmiä verkkoliiketoiminnassa. Monet verkkokaupat esimerkiksi vaativat integrointia pankkien, toimittajien ja jakelijoiden suhteen omien järjestelmien lisäksi.

### 3.3 Palvelukeskeinen arkkitehtuuri

IT-järjestelmien määrän suuren kasvun takia yrityksiä pitää nykyään pystyä käsittelemään koko ajan monimutkaisempia ohjelmistoarkkitehtuureita. IT-osastojen pitää pystyä vastaamaan nopeasti uusiin liiketoiminta vaatimuksiin, jatkuvasti vähentämään informaatioteknologian kustannuksia yritykselle sekä saumattomasti yhdistää uusia liiketoimintakumppaneita ja -asiakkaita. Ohjelmistoala on käynyt läpi lukuisia laskenta-arkkitehtuureita, joita on suunniteltu mahdollistamaan täysin kattavaa prosessointia, ohjelmointikielien toimintaa kaikilla alustoilla ja vähentämään suuresti käyttöönottojen aikataulua. (Channabasavaih, Holley, & Tuggle, 2003.) Tämän myötä vanhoja tapoja kuten modulaarista ohjelmointia, koodin uudelleenkäyttöä ja objektorientoitunutta ohjelmistokehittämistä on pyritty jättämään taakse palvelukeskeisellä arkkitehtuurilla (engl. Service-Oriented Architecture, SOA) (Papazoglou & van den Heuvel, 2007).

SOA-arkkitehtuurin tarkoituksena on keskittyä löyhästi liitetyn, standardipohjaisen ja protokolla riippumattoman hajaantuneen laskennan vaatimusten määrittelyyn sekä kartoittaa yritysten tietojärjestelmät asianmukaisesti yrityksen prosessien kulkuun (Papazoglou & van den Heuvel, 2007). Arkkitehtuurilla on erityisominaisuuksia, jotka käsittävät sisäänsä ne komponentit ja liitokset, jotka vaikeuttavat yhteentoimivuuden ja sijainnin läpinäkyvyyttä. Yleensä arkkitehtuuri kehitetään jo olemassa oleville järjestelmille ja siinä hyödynnetään tämänhetkisiä resursseja, kuten kehittäjiä, ohjelmistokieliä, laitteistoalustoja, tietokantoja ja sovelluksia. Tämän avulla voidaan vähentää kustannuksia ja riskejä sekä samalla parantaa tuottavuutta. (Channabasavaih ym., 2003.) SOA-arkkitehtuuri on suunniteltu mahdollistamaan kehittäjille selviämään monista yrityksen hajaantuneen laskennan tuomista haasteista, joita kuuluu sovellusintegraatioihin, transaktioiden hallintaan ja turvallisuussäännöksiin, antamalla käyttöön monia alustoja ja protokollia sekä hyödyntämällä pääsyä laitteisiin ja perinteisiin järjestelmiin. Arkkitehtuurilla keskitytään luomaan mallinnustyyli ja teknologia- ja prosessiviitekehys, jotka mahdollistavat yritykselle kehittää, yhdistää ja ylläpitää yrityksen sovelluksia ja palveluita paremmin ja kustannustehokkaasti. Tavoitteena arkkitehtuurilla on poistaa esteitä, jotta sovellukset voivat integroitua ja toimia saumattomasti. Tätä kautta SOA-arkkitehtuuri voi tuoda joustavuutta ja ketteryyttä mitä yritys tarvitsee, määrittäen karkeat rakeiset palvelut, jotka voidaan koota yhteen ja sen jälkeen hyödyntää yrityksen vaihtuvien tarpeiden mukaan. (Papazoglou & van den Heuvel, 2007).

SOA-arkkitehtuurissa palveluiden merkitys on hyvin keskeinen, ja näille on esitetty ominaispiirteitä. Tärkeimmät näistä on kaikkien arkkitehtuurin toimintojen kuvaaminen palveluina, kaikki palvelut ovat autonomisia ja kaikki käyttö-

liittymät ovat kutsuttavissa (Papazoglou & van den Heuvel, 2007; Channabasavaih ym., 2003). Palvelut ovat toiminnallisuuden näkyvä osa, joilla on kolme merkittävää ominaisuutta. Palvelut ovat muista riippumattomia ja ylläpitävät itseään. Toiseksi palvelut ovat riippumattomia myös alustasta, jolloin käyttöliittymän sitoutuminen palveluun on rajattu alustariippumattomiin vahvistuksiin. Viimeiseksi palveluiden tulee olla aktiivisesti paikannettavissa, kutsuttavissa ja yhdistettävissä. Palvelut on kuvattu standardisoidulla määrittyskielellä, omaavat julkistettu käyttöliittymä ja kommunikoivat toistensa kanssa pyytäen lupaa suorittaa toimintoja, jotta ne voivat yhtenäisesti tukea liiketoimintatehtäviä tai prosessaja. Näin ollen palvelu on käyttöliittymän ja toteuttamisen yhteen sidottu pari. Käyttöliittymä määrittelee palvelun identiteetin ja sen kutsumislogistiikan ja toteuttaminen tekee palvelulle tarkoitetun tehtävän. (Papazoglou & van den Heuvel, 2007.)

Nykyään suosituimpia palveluita ovat ne, jotka hyödyntävät standardeja verkkosovelluspalveluita, esimerkiksi WSDL (Web Service Description Language), SOAP (Simple Object Access Protocol), UDDI (Universal Description, Discovery and Integration registry) ja XML (Extensible Markup Language). Verkkosovelluspalvelut yhdessä SOA-arkkitehtuurin kanssa vähentävät yrityksen sovellusympäristöjen monimutkaisuutta tiivistämällä ja minimoimalla vaatimuksia yhteisymmärrykselle määrittämällä palveluiden käyttöliittymät selkeällä ja läpinäkyvällä tavalla. Verkkosovelluspalvelut pohjautuvat avoimiin ja kaikkialle ulottuviin standardeihin ja näiden rakentuessa vain valmiina olemassa olevien laajojen infrastruktuurien päälle, verkkosovelluspalveluilla on hyvin paljon käyttömahdollisuuksia. (Papazoglou & van den Heuvel, 2007.) Verkkopalvelusovellukset eivät kuitenkaan ole sama asia kuin SOA-arkkitehtuuri, koska nämä vain mahdollistavat ohjelmointiratkaisujen rakentamista tietyille viestintä- ja sovellusintegroitioingelmille. Arkkitehtuuri on muutakin kuin joukko erilaisia teknologioita, sillä se nousee näiden yläpuolelle ja täydellisessä tilanteessa on täysin riippumaton näistä. SOA-arkkitehtuurin integroinnissa ei voida keskittyä vain sovellusten integrointiin, vaan huomioon tulee ottaa myös loppukäyttäjien käyttöliittymä, sovellusten yhdistettävyyys, prosessien ja tiedon integrointi sekä kehittymällin rakennus, joka tukee integrointia. (Channabasavaih ym., 2003.)

Tulevaisuuden internetissä tulee olemaan paljon erilaisia laitteita, jotka hälväntävät rajaa virtuaali- ja reaali maailman välillä. Nämä reaali maailman laitteet pystyvät tällöin tarjoamaan toiminnallisuuksiaan erilaisten verkkosovelluspalveluiden avulla mahdollistaen aktiivisen vuorovaikutuksen muiden komponenttien kanssa. Reaali maailman laitteet tuottavat ajantasaista dataa suoraan todellisesta maailmasta, toisin kuin perinteiset yrityssovellukset, jotka toimivat pääosin virtuaalisessa maailmassa. Laitteet tarjoavat toiminnallisuuksiaan palveluina yrityksen sovelluksille ja näin tietoja voidaan yhdistää ja tällä tavoin edistää liiketoiminnan prosesseja. (Guinard ym., 2010.) Tämän takia palvelukeskeinen näkökulma näyttää myös lupaavalta esineiden internetin integroinnin kannalta, jolloin toiminnallisuuksien tarjoamista palveluina laitteet pystyvät löytämään ja kutsumaan näitä tarvittaessa (Spiess ym., 2009). SOA-arkkitehtuurilla uskotaan olevan potentiaalia IoT-integroinnissa, mutta sitä on myös kritisoitu siitä, että

tällä menetelmällä ei esimerkiksi pystytä vastamaan kunnolla dynaamiseen tietoon, joita syntyy esimerkiksi odottamattomista tapahtumista (Lan ym., 2014). Toisaalta tämä arkkitehtuuri tarjoaa perinteisiin ohjelmistoarkkitehtuureihin verrattuna huomattavasti laajemmat palveluiden jakamisen mahdollisuudet verkon välityksellä, kun ohjelmistojärjestelmä suunnitellaan tarjoamaan palveluita yleisten ja löydettävien käyttöliittymien kautta (Papazoglou & van den Heuvel, 2007).

### 3.4 IoT-integroinnin haasteet

Yksi esineiden internetin ominaispiirteistä on, että se koostuu hyvin suuresta määrästä laitteita, teknologioita ja protokollia. Tämän takia siitä puuttuu paljon tärkeitä ominaisuuksia, kuten skaalautuvuus, yhteentoimivuus, joustavuus, luotettavuus, tehokkuus, saatavuus ja turvallisuus. (Miorandi ym., 2012.) Esineiden internetiin liittyviä haasteita tiedostetaan jo melko hyvin ja ehdotuksia näiden ratkaisuksikin on teoriassa paljon erilaisten teknologioiden avulla, mutta näitä on käytännössä kokeiltu melko pienessä mittakaavassa verraten IoT-visioon, jossa kaikki olisi globaalistikin yhdistettyä. Uusien teknologioiden, kuten pilvilaskennan (engl. Cloud Computing), myötä osaan tiedostetuista haasteista voidaan saada ratkaisuja, mutta mitään yleispätevää ja kaikkialle sopivia malleja ei ole vielä löydetty.

#### 3.4.1 Yhteensopivuus

Yhteensopivuushaasteita pidetään kirjallisuudessa esineiden internetin integraatioille vaikeimpina ja monimutkaisimpina ratkaista. IoT-palveluiden ja sovellusten on tyypillisesti ajateltu olevan eristäytyneitä vertikaalisia ratkaisuja, joissa kaikki järjestelmäkomponentit ovat tiukasti sidottuja spesifien sovellusten kontekstiin. Jokaista sovellusta ja palvelua varten täytyy selvittää kohdeskenaariot, analysoida vaatimukset, valita laitteisto- ja ohjelmistoympäristöt, integroida erilaiset alajärjestelmät sekä kehittää, tarjota laskentainfrastruktuuri ja palveluiden ylläpito. (Botta ym., 2016.) Datan yhdistämis- ja vaihtamisominaisuuksilla varustettujen laitteiden yhteensovittamisen ympärille muodostuu useita haasteita, koska ei ole kykyä testata ohjelmointirajapintoja käyttäen yleisiä menetelmiä ja mekanismeja, tuoda ja viedä informaatiota laitteista käyttäen samoja rajapintoja, turvata laitteita kolmannen osapuolen ohjelmistolla sekä hallita laitteita käyttäen yleistä hallinta- ja valvontakerrosta. Nämä haasteet voidaan jakaa kahteen osaan: ohjelmiston ja viestintäprotokollan yhteensopivuuteen. (Labuda & Gillespie, 2017.)

Ohjelmiston yhteensopivuuden ongelmana on ohjelmistorajapinta, joita kehitetään itsenäisesti laitteiden valmistajien parissa eikä näissä silloin ole juurikaan standardeja yhteensopivuuden helpottamiseksi. Yhteistyön puuttuminen on johtanut eristäytyneeseen näkemykseen suunnittelua ja protokollia kohtaan,

jolloin erilaiset tuotteet ovat lukkiutuneet moniin eri ekosysteemeihin, joihin kuuluu patentoituja laitteita, yhdyskäytäviä, verkkopalveluita ja sovelluksia. Yhteensopivuuden kehittämiseksi tarvitaan hyvin määriteltyjä standardeja, mutta tämä on vaikeaa laitteiden ja sovellusten useiden vaatimusten takia. Viestintäprotokollan yhteensopivuudessa on samanlaisia haasteita kuin ohjelmistollakin. Standardoinnin puuttuminen on mahdollistanut monien erilaisten tiedonsiirto-protokollien laajentumisen taantumattomasti. (Labuda & Gillespie, 2017.)

Esineiden internet hyödyntää laitteiden välistä kommunikointia, jonka vaatimukset ovat erilaisia kuin perinteisessä ihmisten välisessä kommunikaatiossa verkon välityksellä ja tuovat omat haasteensa integroimiseen. Tällöin IoT-viestinnässä yleensä tapahtuu monelta yhdelle (engl. many-to-one), jolloin monet laitteet jaksoittain lähettävät dataa keskuspalvelimelle. Tästä johtuen laitteiden määrä voi olla hyvinkin suuri yhtä palvelinta kohti, jolloin täytyy kehittää suunnitelma, joka mahdollistaa verkoston tunnistamaan yksilöllisesti kaikki laitteet. Laitteiden määrän ja epäsäännöllisen viestinnän takia myös viestinnän laskuttaminen voi olla haastavaa. Jokaisen laitteen viestintätapahtumien tallentaminen erikseen saattaa olla epätaloudellista. Viestinnän satunaisuus on tyypillistä esineiden internetin laitteille, jolloin verkoston tulee tukea laitteen käynnistämismekanismeja. Data voi joskus välittyä silloin, kun vain palvelin lähettää pyynnön siitä. Verkoston pitää silloin pystyä pyytämään laitetta muodostamaan yhteys palvelimeen, vaikkei laite ole sillä hetkellä yhteydessä verkkoon tai ei ole luonut datayhteyttä. Monessa tapauksessa IoT-laitteet ovat paikallaan käyttökänsä ajan, jolloin sijaintipäivityksen ja liikkuvuuden hallinnointimenettelyt ovat tarpeettomia ja verkon resurssien tuhlaamista. Silloin verkko-operaattorin on pystyttävä muuttamaan näiden menettelyiden toistumistiheyttä laitteilla. Joissakin tapauksissa taas datan lähetys tai vastaanotto tietyin aikaväleillä on pakollista, jottei resursseja menisi hukkaan aikavälin ulkopuolella tehtävien menettelyiden takia. Siirrettävän tiedon koko on IoT-laitteilla usein hyvin pientä, joten verkoston tulisi tukea tätä tarjoamalla optimoitu menetelmä ilman isoa rasiitusta. Verkostolla täytyisi olla myös valvomisominaisuuksia, jolloin laitteen statuksen muuttuminen, kuten sijainnin muutokset, viestinnän katkeaminen ja käyttömäärä olisi havaittavissa. Laitteet yleensä myös toimivat ryhmittäin, jolloin verkostossa tulisi tarjota mekanismeja ryhmien toimintatapojen käsittelyyn sekä levittää viestejä ryhmän jäsenten kesken. (Zayas ym., 2017.)

Näiden teknisten yhteensopivuushaasteiden lisäksi esineiden internetiin kohdistuu myös syntaktisia, semanttisia ja organisaationallisia yhteensopivuushaasteita. Syntaktiset haasteet liittyvät siihen, missä muodossa data on ja miten sitä voidaan hyödyntää ja lukea. Semanttiset haasteet liittyvät sisällön ymmärtämiseen ja koskevat enemmän ihmisten kuin koneiden tulkintaa tästä. Organisaationalliset haasteet riippuvat kaikista edellä mainituista haasteista, sekä siitä, kuinka organisaatio pystyy tehokkaaseen viestintään ja siirtämään dataa tai informaatiota erilaisten tietojärjestelmien yli hyvin erilaisten infrastruktuurien kautta. (Fortino ym., 2017.)

Yhteensopivuuden puute aiheuttaa isoja teknologisia ja liiketoiminnallisia haasteita, kuten mahdollisuutta liittää yhteensopimattomia IoT-laitteita heterogeenisiin IoT-alustoihin, mahdollisuutta kehittää IoT-sovelluksia hyödyntämällä useita alustoja sekä samanlaisilla että poikkeavilla verkkoalueilla, hitautta IoT-teknologioiden käyttöönotossa laajassa mittakaavassa, vähentää halua omaksua IoT-teknologioita, kustannusten nousu, teknisten ratkaisuiden uudelleenkäyttämisen niukkuus ja käyttäjätuettomuus. (Fortino ym., 2017.) Pienet ja suuret yritykset pelkäävät jäävänsä jälkeen markkinoilla, joten yleensä teknillisiä ryhmiä pusketaan tuotteistamaan ratkaisuja nopeasti. Jos yritykset valitsevat standardipohjaisia tuotteita, vaatimusmäärittelyiden ja yhteensopivuuden testaukset sekä tuotteiden varustaminen kestävät yli vuoden, mikä on yleensä liian kauan tuotteiden kaupallistamiseksi. Tämän takia yrityksen sisäiset ratkaisut ovat suositumpia vaihtoehtoja kehittämisen ja testaamisen nopeuden takia. (Gravina ym., 2017, s. 9.)

### 3.4.2 Tietoturva ja yksityisyyden suoja

Tietoturvaan ja yksityisyyden suojaamiseen liittyvät haasteet ovat myös merkittäviä IoT-integroimisen kannalta. Keskeinen ongelma turvallisuuteen liittyen on se, että laitteiden ja muiden objektien verkottamisen on suhteellisen uusi asia eikä turvallisuutta ole aina otettu huomioon tuotteiden suunnittelussa. IoT-tuotteet myydäänkin usein sisältäen vanhoja ja päivittämättömiä käyttöjärjestelmiä ja ohjelmistoja. (Stergiou ym., 2016.) Labudan ja Gillespien (2017) mukaan turvallisuuden ja yksityisyyden suojan haasteet esineiden internetiin liittyen voidaan kiteyttää hyökkäyksien kestämiseen, datan todentamiseen, käyttöoikeuksien valvontaan ja asiakkaan yksityisyyteen. Bandyopadhyay ja Sen (2011) nimeävät näiden lisäksi luottamukseen liittyviä haasteita. Turvallisuuteen liittyen IoT-arkkitehtuuri tulee olla varmistettu turvalliseksi suunnittelun ja toteuttamisen hetkillä, omaavan ennakoivaa tunnistamista ja varautumista satunnaisilta hyökkäyksiltä, väärinkäytöksiltä sekä haittaohjelmilta. Yksityisyyden suojaamisen haasteet koskevat henkilökohtaisten tietojen, sijainnin ja liikkumisen hallitsemista, tarvetta yksityisyyden suojausta parantaville teknologioille ja asiaankuuluville suojauslainsäädännöille sekä standardeja, menetelmiä ja työkaluja käyttäjien ja objektien identiteettien hallintaan. Luottamukseen liitettyjä haasteita ovat tarve kriittisen, suojatun ja arkaluontoisen datan helpolle ja luontevalle vaihtamiselle sekä luotettavuuden huomioonottamisen osana esineiden internetin suunnittelua ja rakentamista.

Kun jäljitettävien objektien määrä kasvaa koko ajan esineiden internetin myötä, uhkat henkilökohtaiselle yksityisyydelle tulee vakavampia. Datan turvaamisen lisäksi täytyy varmistaa, ettei sitä päädy väärille tahoille. Tämän takia datan omistajuuden määrittäminen on tärkeää, jotta käyttäjät osallistuisivat esineiden internetiin luottavaisesti. Datan omistajan pitää olla luotettava, jotta sitä ei käytetä ilman asianomaisen lupaa, varsinkin dataa jakaessa. Omistajuuden määrittäminen voi toisinaan olla hyvinkin hankalaa, koska esimerkiksi pilvipalveluiden tarjoajat voivat sijaita eri lainsäädäntöjen vaikutusalueilla kuin mistä



data on kerätty ja näin sen käyttämiselle voi olla erilaisia säädöksiä. Sopimuksien kautta datan omistajuutta voidaan tarkentaa, mutta esineiden internetin kautta kaikkialta saatavan datan lainsäädännöllisten asioiden määrittely voi olla hidasta ja kuluttavaa, esimerkiksi omistajuuden konfliktitilanteissa. (Whitmore, Agarwal & Da Xu, 2014.)

Langatonta kommunikointia turvataan nykypäivän internetissä usein salauksen avulla. Salauksen uskotaan olevan myös merkittävässä asemassa esineiden internetin turvaamisen takaamiseksi. IoT-laitteet eivät kuitenkaan usein ole tarpeeksi tehokkaita tukeakseen voimakasta salausta. Jotta salaus olisi mahdollista toteuttaa näissä, on algoritmeista tehtävä tehokkaampia. (Whitmore ym., 2014.) Resurssien rajallisuus esineiden internetin muodostavissa RFID- ja WSN-teknologioissa verrattuna internetiä nykypäivänä käyttäviin laitteisiin, kuten tietokoneet ja älypuhelimet, on suuri, joten käytettävien algoritmien tulee olla kevyempiä tasapainon löytämiseksi turvallisuuden ja energiankulutuksen väliltä (Jing ym., 2014). Vaikka internetissä onkin paljon erilaisia laitteita, niiden käyttöjärjestelmien käsitteellisyuden myötä datan muoto on melko samanlaista. Kaikissa esineiden internet -laitteissa ei ole käyttöjärjestelmää vaan ne voivat sisältää pelkästään yksinkertaisen ohjelman, jolloin ne muodostavat tarkoituksensa mukaisesti erilaista dataa laitteistonsa takia. Näiden IoT-laitteiden sisäisten turvallisuushaasteiden lisäksi tiedonsiirtoprosesseissa on haasteita näihin liittyvissä rakennusteknologioissa ja verkoston toimintojen käyttöönotossa. IoT-solmujen välinen yhteys muodostetaan hitaampien ja turvattomampien langattomien medioiden avulla, jolloin datan vuotaminen on helpompaa. Langattomat yhteydet internetissä on rakennettu monimutkaisten turvallisuusprotokollien päälle, joiden käyttöönotto on miltei mahdotonta näille IoT-solmuille. (Jing ym., 2014.)

Esineiden internetin turvallisuuden takaaminen tärkeää, sillä IoT-laitteisiin kohdistuu hyökkäyksiä todistetusti säännöllisesti. Turvallisuuden muodostamiseksi on tasapainoitava turvallisuuden tarpeen määrän, asennuksen järkevyyden ja ylläpidon kuormituksen välillä. Jos turvallisuusinfrastruktuurin käyttäminen ei ole helppoa, voi turvallisuus vaarantua lopulta käyttäjien takia, jotka ohittavat turvalliset toimintatavat monimutkaisuuden takia. (Chamberlain ym., 2017.) Kun IoT-signaalia varastetaan tai häirintää, se vaikuttaa välittömästi koko esineiden internetin tietojen turvallisuuteen. Jos turvallisuuteen ei saada toimivia ratkaisuja, tämä vaikuttaa laajasti esineiden internetin kehitykseen. Tiivistettynä IoT-järjestelmä toimii vaarallisessa ympäristössä rajatuilla resursseilla ja vähemmällä määrällä verkoston suojauksia. (Jing ym., 2014.)

### 3.4.3 Skaalautuvuus ja käyttövarmuus

Arvioiden mukaan vuoteen 2020 mennessä 50 miljardia laitetta on verkostoitunut, jolloin erityistä tarkkailua vaatii näiden tuottavan valtavan datamäärän liikenne, varastointi, saatavuus ja prosessointi. Liikuteltavien laitteiden ja sensorien ulottuminen kaikkialla tarvitsevat skaalautuvia tietojenkäsittelyalustoja. Datat käsittely sopivalla tavalla on kriittinen haaste esineiden internetin kannalta,

sillä yleisesti sovellusten suorituskyky riippuu merkittävästi datan hallintakeskuksien ominaisuuksista. (Botta ym., 2016.) Skaalautuvuushaasteita näkyy monilla eri tasoilla: laitteiden nimeämisessä ja osoittamisessa, datan viestinnässä ja verkostoitumisessa, informaation ja tietämyksen hallinnassa sekä palveluiden toimittamisessa ja hallinnassa (Miorandi ym., 2012).

Käyttövarmuuteen liittyvät haasteet liittyvät tyypillisesti taas liikkuvuuteen, esimerkiksi ajoneuvoihin ja niiden verkottumisen ja viestisen epäsäännöllisyyteen ja epävakauteen. Kun sovelluksia otetaan käyttöön resurssirajoittuneisiin ympäristöihin, useita ongelmia ilmaantuu liittyen laitteiden toimintahäiriöihin ja niiden kuuluvuuden katoamiseen. (Botta ym., 2016.) Suurten datamäärien käsittely asettaa myös vaatimuksia laskentateholle, varastoinnille ja laajakaistalle, jottei viiveen määrä kasva liian suureksi tiedon reaaliaikaisuuden takaamiseksi. Verkoston tasaisen hyvän suorituskyvyn takaaminen on näistä haastavinta, sillä sen kehitys ei ole ollut yhtä nopeaa mitä laskentatehon ja varastoinnin (Botta ym., 2016).

## 4 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa selvitettiin, mitä haasteita liittyy esineiden internet järjestelmien integroimiseen. Tutkielman lopputuloksena merkittävimmät haasteet IoT-integroinnille ovat yhteensopivuus, tietoturva, yksityisyys, skaalautuvuus ja käytönvarmuus. Suurimmat haasteet liittyvät yhteensopivuushaasteiden ratkaisemiseen ja eritoten viestintäprotokollien ja ohjelmistojen käytössä. Nykyiset standardit näissä eivät sellaisenaan sovi käytettäväksi hyvin heterogeenisten laitteiden esineiden internetissä, joten uusien standardien luominen on välttämätöntä esineiden internetin kehityksen kannalta. Yhteensopivuushaasteiden ratkaisu auttaa esineiden internetin käyttöönottoa laajemmin, mutta näidenkin ratkaisuihin tulee ottaa huomioon tietoturvaan, skaalautuvuuteen ja luotettavuuteen liittyvät ongelmat. Haasteiden tiedostaminen on tärkeää IoT-järjestelmien käyttöönoton takia, sillä visio tälle on hyvin laaja ja koskettaa kaikkia toteutuessaan. Epäonnistunut integrointi näille järjestelmille voi aiheuttaa vakavia ongelmia monella tavalla, jolloin tarkka haasteiden selvittäminen ja näiden kautta ratkaisujen luonti on tarpeellista. Laajan käyttöönoton myötä erilaisia ja spesifejä haasteita syntyy eri kohdealueille, jolloin ratkaisuihin täytyy ottaa huomioon haasteita monelta eri kannalta.

Toisessa luvussa käsiteltiin esineiden internetin yleisiä ominaisuuksia, avainteknologioita ja mahdollisuuksia. Aihetta on tutkittu paljon ja sitä on liitetty eri konteksteihin sekä jo testattu pienessä mittakaavassa. Kirjallisuudessa on jo vakiintuneita ominaispiirteitä esineiden internetille, vaikka yleistä määritelmää ei olekaan useista näkökulmista johtuen. Tiivistäen esineiden internet tulee muuttamaan nykyistä internetiä käyttämällä M2M-kommunikaatiota, jolloin kaikki tähän kuuluvat objektit ovat yhteydessä toisiinsa ajasta ja paikasta riippumatta. Yleisesti IoT-teknologiat ovat yleistymässä liiketoiminnassa, joten sen potentiaalia on jo tiedostettu hyvin. Nämä teknologiat mahdollistavat IoT-laitteisiin ominaisuudet, joita IoT-vision toteuttaminen vaatii. Viimeisenä luvussa esiteltiin näkemyksiä aloista ja kohteista, joissa esineiden internetiä voidaan hyödyntää.

Kolmannessa luvussa selvitettiin IT-integroimisen tyypillisiä ominaisuuksia, näkökulmia ja taustoja sekä integroimisen haasteita IoT-järjestelmille. Yritysten IT-järjestelmien integroimisen merkitys on suuri, aina siitä lähtien kun tietokoneita on aloitettu käyttämään organisaatioissa. Yrityksiin on voinut ajan kuluessa kehittyä paljon erilaisia järjestelmiä, eikä vanhoja perinteisiä järjestelmiä pystytä tai haluta aina poistaa käytöstä, joten uusien käyttöönotettavien järjestelmien pitäisi pystyä yhdistämään näihin, sillä ne sisältävät usein arvokasta dataa yrityksille. Integroiminen vaikuttaa usein paljon liiketoiminnan menestymiseen ja voi onnistuessaan tehostaa esimerkiksi organisaatioiden sisäisiä prosesseja tai toimitusketjujen toimivuutta. Integroimisen tavoitteena on saada aikaan mahdollisimman vähän viivettä eri osapuolten välille, sekä pyrkiä keskittämään tietoja yhteen paikkaan, jossa tiedot ovat ajan tasalla kaikkien organisaatioon kuuluvien palasten kesken.

Palvelukeskeisessä arkkitehtuurissa kaikki laitteet tarjoavat toiminnallisuuksiaan palveluina yritysten sovelluksille. SOA-arkkitehtuuri eroaa perinteisistä ohjelmistoarkkitehtuureista ja tavoitteena tällä on yhdistää hajautuneita sovelluksia ja palveluita antamalla kehittäjille käyttöön paljon erilaisia menetelmiä, kuten protokollia ja alustoja. Tavoitteena arkkitehtuurilla on poistaa esteitä sovellusten saumattoman yhteistoiminnan takaamiseksi. Arkkitehtuurin palvelukeskeisyys voi mahdollistaa reaali maailman laitteiden mallintamisen virtuaaliseen maailmaan, jonka vuoksi tästä lähtökohdasta voi olla hyötyä esineiden internetin käyttöönotossa. Arkkitehtuuriin liittyy myös kritiikkiä esimerkiksi sen staattisuuteen ja ennakoimattomuuteen liittyen, jolloin sitä pitäisi vielä kehittää esineiden internetissä hyödyntämisen kannalta.

Jatkotutkimusaiheina voisi olla viestintäprotokollien ja ohjelmistojen ratkaisuehdotusten tutkiminen ja testaaminen käytännössä IoT-laitteille. Standardisoinnin löytäminen näille on keskeinen asia laajemman mittakaavan käyttöönoton mahdollistamiselle. Uudet standardit täytyvät olla hyvin optimoituja todella erilaisille laitteille, joten sovellettavuus ja joustavuus sekä spesifien vaatimusten eri konteksteihin ovat merkittäviä asioita, joita tulee keskittää paljon huomiota. Ilman käytännön toimimisen osoittamista ja näistä saavutettujen hyötyjen näyttämistä on vaikeaa saada eri organisaatiot hyväksymään uusia yleisiä standardeja toimintaansa, varsinkin jos näiden käyttöönotto vie paljon aikaa. Esineiden internetin tulevaisuudelle on tärkeää, että tämä onnistuu ennen kaikkea kaupallisesti, jolloin sitä voidaan laajentaa tämän onnistumisen myötä myös muihin toimintoihin.

## LÄHTEET

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 38(4), 393-422. doi:10.1016/S1389-1286(01)00302-4

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M. & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376. doi:10.1109/COMST.2015.2444095

Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. doi:10.1016/j.comnet.2010.05.010

Bandyopadhyay, D. & Sen, J. (2011a). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1), 49-69. doi:10.1007/s11277-011-0288-5

Bandyopadhyay, D. & Sen, J. (2011b). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1), 49-69. doi:10.1007/s11277-011-0288-5

Bilal, M. (2017). A review of internet of things architecture, technologies and analysis smartphone-based attacks against 3D printers Haettu osoitteesta arXiv:1708.04560

Botta, A., de Donato, W., Persico, V. & Pescapé, A. (2016). Integration of cloud computing and IoT: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684-700. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X15003015>

Chamberlain, R. D., Chambers, M., Greenwalt, D., Steinbrueck, B. & Steinbrueck T. (2017). Devices Can Be Secure and Easy to Install on the Internet of Things. Teoksessa Gravina, R., Palau, C. E., Manso, M., Liotta, A. & Fortino, G. (toim.). (2017). *Integration*,

*interconnection, and interoperability of IoT systems* (s. 80-101) Springer International Publishing AG.

Channabasavaiah, K., Holley, K. & Tuggle, E. M. (2003). Migrating to a service-oriented architecture. *IBM DeveloperWorks*, 16, 727-728. Haettu osoiteesta <https://www.ibm.com/developerworks/library/ws-migratesoa/>

Fortino, G., Savaglio, C., Palau, C. E., de Puga, J. S., Ghanza, M., Paprzycki, M., . . . Llop, M. (2017). Towards Multi-layer Interoperability of Heterogeneous IoT Platforms: The INTERIoT Approach. Teoksessa Gravina, R., Palau, C. E., Manso, M., Liotta, A. & Fortino, G. (toim.). (2017). *Integration, interconnection, and interoperability of IoT systems* (s. 246-285) Springer International Publishing AG.

Gravina, R., Palau, C. E., Manso, M., Liotta, A. & Fortino, G. (toim.). (2017). *Integration, interconnection, and interoperability of IoT systems* Springer International Publishing AG.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (2013). Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. doi:10.1016/j.future.2013.01.010

Guinard, D., Trifa, V., Karnouskos, S., Spiess, P. & Savio, D. (2010). Interacting with the SOA-based internet of things: Discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. *IEEE Transactions on Services Computing*, 3(3), 223-235. doi:10.1109/TSC.2010.3

Hasselbring, W. (2000). Information system integration. *43(6)*, 32-38.

Hobday, M., Davies, A. & Prencipe, A. (2005). Systems integration: A core capability of the modern corporation. *Industrial and Corporate Change*, 14(6), 1109-1143. doi:10.1093/icc/dth080

- IEC. (2014). Internet of things: Wireless sensor networks. White paper. Haettu osoitteesta <http://www.iec.ch/whitepaper/internetofthings/>
- Irani, Z., Themistocleous, M. & Love, P. E. D. (2003). The impact of enterprise application integration on information system lifecycles. *Information & Management*, 41(2), 177-187. doi:10.1016/S0378-7206(03)00046-6
- Jing, Q., Vasilakos, A., Wan, J., Lu, J. & Qiu, D. (2014). Security of the internet of things: Perspectives and challenges. *Wireless Networks*, 20(8), 2481-2501. doi:10.1007/s11276-014-0761-7
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R. & Khan, S. (2012). *Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges* IEEE. doi:10.1109/FIT.2012.53
- Kortuem, G., Kawsar, F., Fitton, D. & Sundramoorthy, V. (2010). *Smart objects as building blocks for the internet of things* IEEE.
- LaBuda, R. J. & Gillespie, M. H. (2017). *The internet of things: Current issues and future problems*. SAIS 2017 Proceedings, 24.:
- Lan, L., Li, F., Wang, B., Zhang, L. & Shi, R. (2014). *An event-driven service-oriented architecture for the internet of things* IEEE. doi:10.1109/APSCC.2014.34
- Li Da Xu, Wu He & Shancang Li. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243. doi:10.1109/TII.2014.2300753
- M. Lynne Markus & Cornelis Tanis. (2000). The enterprise system experience— from adoption to success. Teoksessa R. W. Zmud (toim.), *Framing the domains of IT management: Projecting the future ... through the past* (s. 174) Pinnaflex Education Resources, Incorporated, 2000.

- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516.  
doi:10.1016/j.adhoc.2012.02.016
- Modol, J. R. (2006). *A methodological and conceptual review of inter organizational information systems integration*
- Nawir, M., Amir, A., Yaakob, N. & Lynn, O. B. (2016). *Internet of things (IoT): Taxonomy of security attacks* IEEE. doi:10.1109/ICED.2016.7804660
- Papazoglou, M. & van den Heuvel, W J A M. (2007). Service oriented architectures: Approaches, technologies and research issues. *Very Large Database Journal*, 16(3), 389-415. doi:10.1007/s00778-007-0044-3
- Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trousse, B., Nilsson, M. & Oliveira, A. (2011). *Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation*
- Singletary, L., Pawlowski, S. & Watson, E. (2003). *What is applications integration? understanding the perspectives of managers, IT professionals, and end users*
- Spiess, P., Karnouskos, S., Guinard, D., Savio, D., Baecker, O., Souza, Luciana Moreira Sá de & Trifa, V. (2009). *SOA-based integration of the internet of things in enterprise services*doi:10.1109/ICWS.2009.98
- Stergiou, C., Psannis, K. E., Kim, B. & Gupta, B. (2016). Secure integration of IoT and cloud computing. *Future Generation Computer Systems*, 78(3), 964-975. Haettu osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X1630694X>
- Su, K., Li, J. & Fu, H. (2016). Urban resources for smart city application. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 40(6), 366-370.  
doi:10.14445/22315381/IJETT-V40P259



Tan, L. & Wang, N. (2010). *Future of internet: The internet of things*. 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE):

Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), 25-33. doi:10.1109/MPRV.2006.2

Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., . . . Borriello, G. (2009). Building the internet of things using RFID: The RFID ecosystem experience. *IEEE Internet Computing*, 13(3), 48-55. doi:10.1109/MIC.2009.52

Whitmore, A., Agarwal, A. & Da Xu, L. (2014). The internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261. doi:10.1007/s10796-014-9489-2

Wu, M., Lu, T., Ling, F., Sun, J. & Du, H. (2010). *Research on the architecture of internet of things*. 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering: ICACTE.

Zayas, A. D., Pérez, C. A. G., Pérez, Á. M. R., & Merino, P. (2017). 3GPP Evolution on LTE Connectivity for IoT. Teoksessa Gravina, R., Palau, C. E., Manso, M., Liotta, A. & Fortino, G. (toim.). (2017). *Integration, interconnection, and interoperability of IoT systems* (s. 12-235) Springer International Publishing AG.

Ziekow, H. & Strueker, J. (2011). Inter-organizational integration of smart objects: White spots in the solution landscape.