

# **ERI PALVELUNTARJOAJIEN IOT-ALUSTOJEN VERTAILU**

IBM Watson IoT & Bluemix, Microsoft Azure IoT Hub ja PTC Thingworx



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Kevät, 2017

Joni Anttila

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma  
Visamäki

---

<b>Tekijä</b>	Joni Anttila	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Työn nimi</b>	Eri palveluntarjoajien IoT-alustojen vertailu – IBM Watson IoT & Bluemix, Microsoft Azure IoT Hub ja PTC Thingworx	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Erkki Laine	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Hämeen ammattikorkeakoulun Älykkäät palvelut –tutkimusyksikkö. Sen tavoitteena on kehittää digitalisuuden käyttöönottoa palveluliiketoiminnassa ja kehittää yhteistoimintaverkoston kanssa kohdennettuja kehitysaktiviteetteja aluekehityksen tarpeisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli verrata kolmen eri palveluntarjoajan IoT-alustaa niiden liitettävyyden, käyttöliittymän, laitehallinnan, tietokantojen sekä prosessoinnin ja toimintojen hallinnan kautta. Vertailtavat alustat olivat IBM:n Watson IoT & Bluemix, Microsoftin Azure IoT Hub ja PTC:n Thingworx. Näiden tulosten pohjalta oli tarkoitus luoda vertailumatriisi, jossa erot havaitaan. Tätä vertailumatriisia voitaisiin käyttää myös muiden alustojen vertailussa.

Teoriatietoa kerättiin useista eri tutkimusraporteista ja internetlähteistä. Työn käytännön osuudessa alustojen eroja vertailtiin pääosin käyttämällä alustoja itse ja tutkimalla erilaisia käyttäjäkokemuksia.

Opinnäytetyön päätulos oli se, että Microsoftin Azure IoT Hub oli perusominaisuuksiltaan vertailluista alustoista paras. Huomionarvoista oli kuitenkin se, että erot kahteen muuhun alustaan olivat suhteellisen pienet. Kokonaisuuteen vaikuttavat myös monet muut asiat, esimerkiksi hinnoittelu. Alustoiden valinnassa tulee aina kuitenkin ottaa huomioon tarpeet, joita varten ne hankitaan.

**Avainsanat** IoT, pilvipalvelu, alusta

**Sivut** 33 s. + liitteet 1 s.

Degree Programme in Business Information Technology  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Joni Anttila	<b>Year</b> 2017
<b>Subject</b>	Comparison of different service providers IoT Platforms – IBM Watson IoT & Bluemix, Microsoft Azure IoT Hub and PTC Thingworx	
<b>Supervisors</b>	Erkki Laine	

---

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by the research unit Smart Services of Häme University of Applied Sciences. The goal of the unit is to develop the use of digitalization in the service business and to produce a network of co-operation within applied research and different regional activities for the needs of the region.

The purpose of the thesis was to compare different service providers IoT Platforms by their basic features. These features are connectivity, user interface, device management, database and processing and action management. Platforms that were compared were IBM Watson IoT & Bluemix, Microsoft Azure IoT Hub and PTC Thingworx. When the results were clear a comparison matrix was created showcasing the results. This comparison matrix could also be used to compare different platforms.

The theoretical information was gathered from different research reports and internet sources. The practical part was achieved by using the different platforms and studying different user experiences of these platforms.

The main result of this thesis was that Microsoft's Azure IoT Hub was the best platform by its basic features. However, it's worth noticing that the differences to the other two platforms were relatively small. The big picture is also affected by many other things, pricing for example. When choosing a platform, the different needs should always be considered.

**Keywords** IoT, cloud service, platform

**Pages** 33 p. + appendices 1 p.

## SANASTO

<b>IoT</b>	Internet of Things eli esineiden internet. Muita nimityksiä ovat esimerkiksi teollinen internet ja kaiken internet.
<b>Kyberfyysiset järjestelmät</b>	Tekniset järjestelmät, jotka ovat vuorovaikutuksessa fyysisen maailman kanssa.
<b>Industrie 4.0</b>	Teollisuus 4.0. Yksi tunnetuimmista strategioista IoT:n mahdollisuuksien hyödyntämiseksi.
<b>Teknologiapino</b>	Malli, joka selventää mistä teknisistä asioista IoT-ratkaisu koostuu.
<b>Protokollat ja standardit</b>	Apuvälineitä, joiden avulla data virtaa koneiden, järjestelmien ja ohjelmistojen välillä.
<b>SQL</b>	Tietokanta, jonne data viedään ennalta määritellyn rakenteen nojalla.
<b>NoSQL</b>	Tietokanta, jonne data viedään vapaasti ja joustavasti, ilman että sitä tarvitsee pilkkoa eri lokeroihin.
<b>Verkkotopologia</b>	Tapa, jolla verkon laitteet on liitetty toisiinsa.
<b>Alusta, platform</b>	Kokoaa eri datalähteistä virtaavan informaation yhteen.
<b>PaaS</b>	Platform-as-a-Service, alusta palveluna
<b>SaaS</b>	Software-as-a-Service, ohjelmisto palveluna
<b>DaaS</b>	Data-as-a-Service, data palveluna

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaukset.....	1
1.2	Toimeksiantajan esittely.....	2
2	INTERNET OF THINGS.....	3
2.1	Käsitteet.....	3
2.2	IoT:n tarjoamat hyödyt.....	4
2.2.1	Liiketoiminnalle .....	4
2.2.2	Kuluttajalle .....	6
2.2.3	Yhteiskunnalle .....	7
2.3	Teknologinen infrastruktuuri ja teknologiapino .....	8
2.3.1	Sensorit .....	9
2.3.2	Tietoliikenne .....	9
2.3.3	Tietovarasto.....	12
2.3.4	Analytiikka .....	13
2.4	Tietoturva .....	14
3	IOT-ALUSTA.....	17
3.1	Yleisimmät ominaisuudet .....	17
3.2	Alustan valintaan liittyviä tekijöitä.....	21
4	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	23
5	ALUSTOJEN VERTAILU .....	25
5.1	Alustojen esittely ja vertailu .....	25
5.2	Vertailumatriisin laadinta .....	28
6	TUTKIMUSTULOKSET JA YHTEENVETO.....	29
	LÄHTEET.....	31

## Liitteet

Liite 1 Vertailumatriisi

## 1 JOHDANTO

Esineiden internet, teollinen internet, kaiken internet. Monta eri nimitystä, mutta oikeastaan yksi ja sama tarkoitus: asian tai esineen liittäminen maailmanlaajuiseen verkkoon erilaisten älysensoreiden avulla.

Esineiden yhteinen nimittäjä on se, että jokaisella on yksilöllinen tunniste eli IP-osoite. Verkkoysteys perustuu standardeihin, viestintäprotokolliin, arkkitehtuureihin ja rajapintoihin. Yhteistä esineillä on myös se, että ne välittävät itsestään jatkuvasti dataa verkossa laajoihin järjestelmiin, tyypillisesti pilveen, jossa dataa voidaan eri tavoin tallettaa ja käsitellä. (Collin & Saarelainen 2016, 31.)

IoT:n tarjoamat hyödyt niin liiketoiminnalle kuin kuluttajallekin ovat merkittävät, ja IoT:stä on povattu myös seuraavaa suurta teollista vallankumousta. Yksi tästä muutoksesta käytetty termi on Industrie 4.0.

Industrie 4.0 eli Teollisuus 4.0 on yksi tunnetuimmista strategioista teollisen internet mahdollisuuksien hyödyntämiseksi. Teollisuus 4.0 liittyy neljään vallankumousta keksintöjen tuottaman automaation ryhmään. Aluksi koneet aiheuttivat voiman tuottamisen automaation vallankumouksen. Seuraavassa vaiheessa sähkö täydensi tätä ryhmää 1870-luvun lopussa, minkä avulla massatuotanto sekä työvoima vahvistuivat. Kolmas vallankumous syntyi, kun elektroniikka ja tietotekniikka saatiin automaation tueksi 1960-luvun lopusta alkaen. Neljäs vallankumous, joka on parhaillaan käynnissä, tuo mukanaan älykkään automaation kyberfyysisten järjestelmien kautta. Tämän tuloksena on monesta tekijästä aiheutuva tuottavuuden kasvu. Teollisuus 4.0 aikakautena koneet, laitteet, prosessit ja ihmiset viestivät internetin kautta toisilleen ja kukin voi ohjata toisiaan yhteensopivien työkaluin. (Collin & Saarelainen 2016, 39-40.)

Samaan aikaan kun käsite IoT on levinnyt kaikkialla maailmassa, on sen ympärille ilmestynyt paljon erilaisia IoT-alustoja. Niitä kutsutaan myös pilvipalvelu -alustoiksi. Näiden palveluiden tarkoituksena on toimia kuin liima, joka yhdistää operatiivisten järjestelmien datavirrat ja yritysten tietojärjestelmät toisiinsa. (Collin & Saarelainen 2016, 227-228.)

### 1.1 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaukset

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on perehtyä kolmen eri palveluntarjoajan IoT-alustaan, joista kahta toimeksiantaja on jo aiemmin käyttänyt. Näistä alustoista IBM:n Watson IoT on kuitenkin vielä täysin vieras toimeksiantajalle. Tarkoituksena on käyttää alustoja, vertailla niiden ominaisuuksia ja luoda vertailumatriisi, jonka avulla alustojen erot

havaitaan. Myöhemmin tätä vertailumatriisia voitaisiin käyttää myös muiden alustojen vertailussa.

Tutkimuksen teoriaosuudessa pohditaan, mitä oikeastaan tarkoitetaan termillä IoT, mitkä ovat sen keskeiset hyödyt niin yrityksen, kuluttajan kuin yhteiskunnan näkökulmasta, millainen sen teknologinen infrastruktuuri on ja millainen on IoT:hen liittyvä tietoturva. Lisäksi tutkimuksessa pohditaan, millaisia erilaisia IoT-alustoja on tarjolla, mikä niiden merkitys on IoT:ssa, mitä ominaisuuksia niissä on, ja mitkä eri tekijät vaikuttavat alustan valintaan.

Tutkimuksen käytännön osuudessa tutkitaan kolmen eri palveluntarjoajan IoT-alustan ominaisuuksia. Tutkimus rajataan kuitenkin käsittelemään ainoastaan alustojen tärkeimpiä perusominaisuuksia kuten liitettävyyttä, laitehallintaa, tietokantoja sekä prosessointia ja toimintojen hallintaa. Tarkoituksena ei ole tarkastella esimerkiksi datan analysointia ja visualisointia.

## 1.2 Toimeksiantajan esittely

Tutkimuksen toimeksiantajana toimii Hämeen ammattikorkeakoulun Älykkäät palvelut -tutkimusyksikkö, joka pyrkii luomaan ja toteuttamaan yhteistoimintaverkoston kanssa kohdennettuja kehitysaktiviteetteja aluekehityksen tarpeisiin. (Hämeen ammattikorkeakoulu n.d.)

Tutkimusyksikön toiminta palvelee alueen elinkeinostrategiaa, ja sen tavoitteena on lisätä kilpailukykyä. Yksikkö suosii konkreettisia kehittämishankkeita, joilla on positiivinen vaikutus työllisyyteen. Yksityisen ja julkisen sektorin organisaatioihin luodaan tiivis suhde ja niitä palvelevaan soveltavan tutkimuksen ja kehityksen avulla. Tavoitteena on myös tarjota kehitystukea elinkeinoelämälle luomalla uusia mahdollisuuksia ja vastaamalla muutostaasteisiin. (Hämeen ammattikorkeakoulu n.d.)

## 2 INTERNET OF THINGS

Vaikka Internet of Things eli IoT on tänä päivänä kuuma puheenaihe, se ei ole uusi asia. Esineitä on ollut kytkettynä internetiin ainakin jo vuodesta 1991, jolloin Cambridgen yliopiston työntekijät kytkivät kahvinkeitimensä verkkoon. Syy, miksi esineiden internet herättää juuri tällä hetkellä suurta mielenkiintoa on se, että elämme maailmassa, jossa on mahdollista tehdä riittävän pieniä antureita ja sensoreita edullisesti. Esineet itsessään eivät ole kovin älykkäitä, joten sensoreiden avulla esineet saadaan herätettyä eloon, ilman että niitä edes nähdään tai että tuotteen hinta nousee. (Lehtiniemi 2015.)

IoT on ilmiönä hieman erikoinen. Yksittäinen trendi osataan yleensä hahmottaa hyvin, mutta esineiden internetin kohdalla kyse on usean nopean muutoksen yhteisestä vaikutuksesta. Nyt on menossa vaihe, jossa tietojenkäsittelykapasiteetti riittää luonnollisen kielen ja reaaliaikaisten tapahtumien käsittelyyn. Samanaikaisesti analytiikka on kehittynyt merkittävästi ja algoritmit pystyvät mallintamaan itseoppivasti asioita, jotka eivät sano ihmisille yhtään mitään. On myös menossa vaihe, jossa lähes kaikki toiminnat digitalisoituvat ja operaatiot tietokoneistuvat. Lisäksi sovelluksia saadaan ladattua pilvestä ennenkuulumattoman tehokkaasti. (Kannisto 2016.)

### 2.1 Käsitteet

Internet of Things on laaja käsite, ja tämän takia sen ympärille on syntynyt paljon erilaisia alakäsitteitä, jotka periaatteessa tarkoittavat samaa, mutta niissä on kuitenkin jonkinlaisia eroavaisuuksia.

#### **Industrial Internet**

Käsite teollinen internet on käänös englannin alkuperäisversiosta Industrial Internet. Ensimmäisenä se esitettiin yhdysvaltalaisen konsultti- ja analytiikkayhtiö Frost & Sullivanin toimesta vuonna 2000 julkaistussa raportissa. Siihen aikaan kuitenkin teollisen internetin tekniset edellytykset olivat melko alkukantaisia, minkä takia käsite unohtui. Vuonna 2012 käsite otettiin uudestaan käyttöön yhdysvaltalaisen General Electric -yhtiön (GE) toimesta. Teollinen internet ei nimestään huolimatta tarkoita vain teollisuuden internetiä, vaan sana ”teollinen” viittaa siihen, kuinka teollisen internetin yleisin piirre on se tapa, jolla ohjelmistopohjainen äly sisältyy teollisesti valmistettaviin koneisiin ja laitteisiin. (Collin & Saarelainen 2016, 29.)

#### **Industrial Internet of Things**

IloT eli teollinen esineiden internet on erityisesti angloamerikkalaisessa maailmassa käytetty synonyymi. Voitaisiin sanoa, että Suomen teollisen



internetin käsite on tästä lyhenne, josta esineet on pelkistetty pois. Tämä johtaa suoraan sen pohdinnan äärelle, miten teollinen internet suhtautuu esineiden ja asioiden internetiin. (Collin & Saarelainen 2016, 30.)

### **Internet of Everything**

IoE eli kaiken internet, on verkkoyhtiö Ciscon aktiivisimmin käyttämä termi. Se pyrkii kuvaamaan ilmiötä mahdollisimman kokonaisvaltaisena. (Collin & Saarelainen 2016, 33.)

IoE:n tarkoituksena on tuoda yhteen ihmiset, prosessit, datan ja asiat ja esineet. Sen toimintaperiaate on muuntaa saatu tieto toiminnaksi, ja luoda uusia mahdollisuuksia niin yrityksille kuin kuluttajillekin. (Cisco Internet of Everything FAQ n.d.)

### **Machine-to-Machine**

M2M eli koneiden ja laitteiden välinen viestintä on monessa mielessä melkein synonyymi teolliselle internetille, mutta kapea-alaisempana. Sen tarkoituksena on seurata, hallita tai paikantaa etänä verkkoon kytketty laite. Tämä mahdollistaa monien prosessien automatisoinnin ja toiminnan tehostamisen. (DNA n.d.)

### **Cyber Physical System**

CPS eli kyberfyysinen järjestelmä tai järjestelmät on Yhdysvalloissa kymmenkunta vuotta sitten ilmennyt käsite. Kyberfyysiset järjestelmät syntyvät siitä, kun tietotekniset laitteet, esineet, ihmiset ja ympäristöt yhdistyvät viestintäinfrastruktuurin välityksellä. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi tehtaat, energiaverkot, kaupungit ja kodit. CPS kattaa siis käytännössä saman kuin verkkoon kytketyt älykkäät tuotteet ja palvelut. (Collin & Saarelainen 2016, 33.)

## **2.2 IoT:n tarjoamat hyödyt**

Arrow Finland Oy on tehnyt yhdessä MRK Funnel Oy:n kanssa barometrikartoituksen IoT:n erilaisista hyödyistä. Vuonna 2015 tehdyn selvityksen mukaan suurimmat IoT-hyödyt kohdistuvat asiakastyytyvyyteen ja kustannussäästöihin. Liiketoiminnan kannalta IoT:n hyödyt ovat siis merkittävät, mutta myös kuluttajan sekä yhteiskunnan saama hyöty on huomattava. Seuraavassa näitä hyötyjä käsitellään tarkemmin.

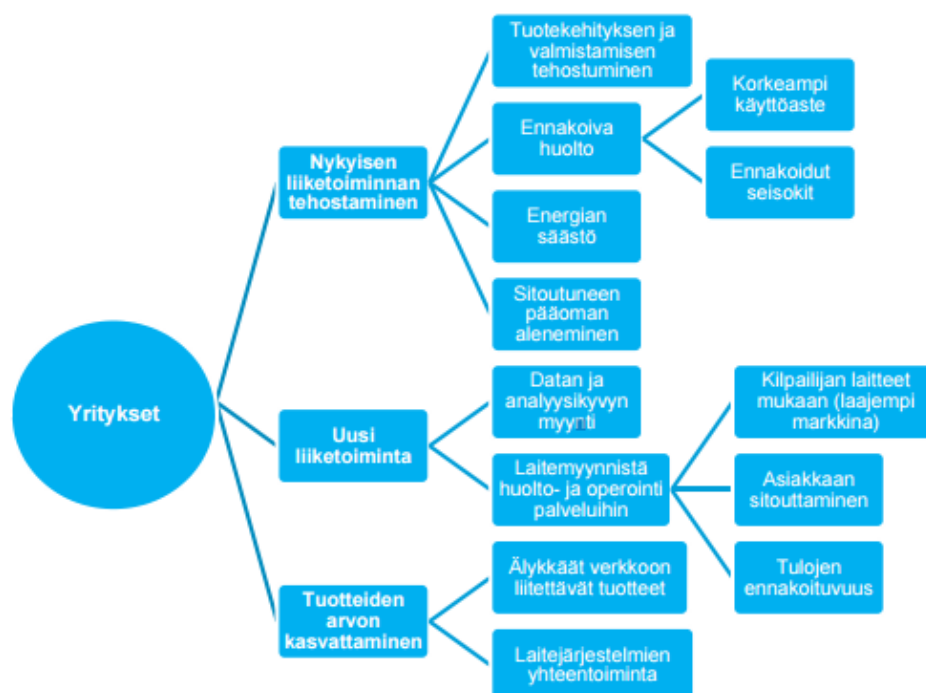
### **2.2.1 Liiketoiminnalle**

Kaikille toimialoille ominaista on kova paine saada aikaan kustannussäästöjä, parantaa tuottavuutta ja erottautua globaalissa

kilpailussa. Näiden lisäksi tärkeää on myös asiakaslähtöisyys, tiedolla johtaminen ja palvelullistaminen. Kaikkiin näihin asioihin IoT pyrkii tuomaan monia uusia, erilaisia ratkaisuja. Useita hyötyjä syntyy monesti kerralla saman teknisen ja kaupallisen toteutuksen seurauksena. Positiiviset vaikutukset eivät kuitenkaan rajoitu vain yrityksen sisäisiin liiketoimintahyötyihin. Syntyy myös aivan uusia tapoja toimia ja organisoitua koko arvoverkostossa. (Collin & Saarelainen 2016, 129-130.)

Erilaiset IoT-ratkaisut ovat tukemassa liiketoiminnan kehitystä. IoT-ratkaisuille ominaista on tarvittavan osaamisen laaja-alaisuus. Taustalla on sulautettu laite ja ymmärrys elektronisista järjestelmistä ja yhteyden toteuttamiseen on olemassa useita vaihtoehtoja, niin kevyitä kuin raskaitakin. Merkityksellistä on myös se, pitääkö yhteys luoda laitteeseen, jota ei varsinaisesti ole suunniteltu siihen, onko yhteys jo olemassa, vai ollaanko laitetta vasta suunnittelemassa. (Viinikkala 2016.)

Uusien teknologioiden avulla yritys voi optimoida tuotteen tai palvelun jatkuvaa käyttöä asiakkaan ympäristössä eikä vain keskittyä tuotteen tai palvelun kertaluontoiseen toimittamiseen. Näin ollen kumpikin osapuoli hyötyy, ja luodaan aikaan tilanne, jossa voidaan samanaikaisesti luoda asiakkaalle uutta arvoa ja tehostaa toimitusketjun suorituskykyä kysynnän näkyvyyden parantuessa. Olennaista on siis se, miten asiakas hyötyy ostamaan tuotteesta tai palvelusta, eikä ainoastaan se, miten se on toimitettu hänelle. Tästä hyvänä esimerkkinä on vaikkapa yritys, joka myy erilaisia lamppeja. Pelkän tuotteen sijasta yritys voi myydä valoa palveluna, jossa led-lamppu on kytketty internetiin: sitä kautta lamppu ohjaa valaistusta automaattisesti ja ilmoittaa huoltoyhtiöön, kun sen elinkaari on päättymässä. (Collin & Saarelainen 2016, 131.)

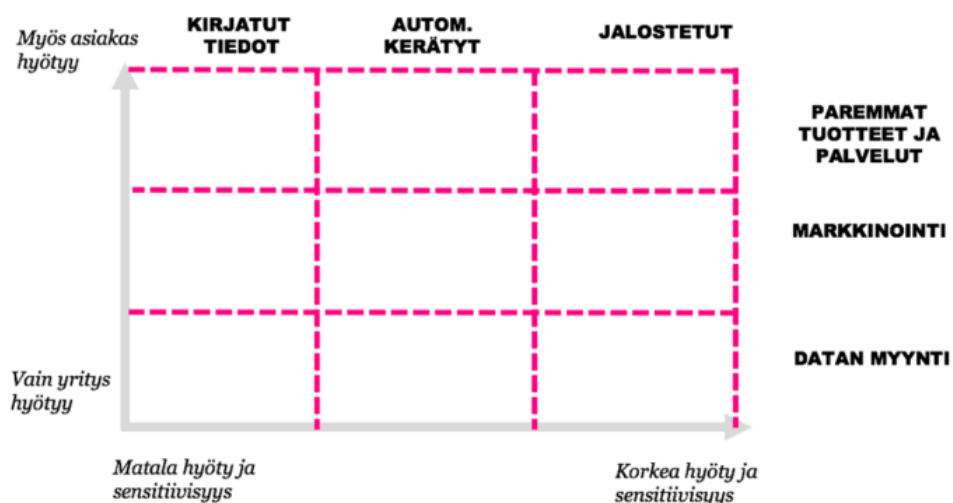


Kuva 1. IoT:n tarjoamat hyödyt liiketoiminnalle. (ETLA 2015.)

Kuten aiemmasta kuvasta nähdään, IoT:n hyödyt liiketoiminnalle ovat laaja-alaiset. Näiden hyötyjen kautta on mahdollista saavuttaa positiivinen kierre, jossa asiakastyytyväisyys nousee tyytyväisemmän henkilöstön kautta. Tämä puolestaan parantaa yrityksen kannattavuutta. Kun yritys menestyy, henkilöstön tyytyväisyys lisääntyy jälleen, ja näin IoT:n luoma positiivinen kierre on valmis. IoT:n tuomat konkreettiset hyödyt ovat siis moninaiset, ja koskettavat niin yksittäisiä yrityksiä kuin koko arvoverkostoa. (Collin & Saarelainen 2016, 138.)

### 2.2.2 Kuluttajalle

Yksi merkittävimmistä IoT:n tarjoamista hyödyistä kuluttajalle on sujuvampi ja parempi asiakaskokemus ja tavaroiden ja esineiden helppokäyttöisyys. Yritykset keräävät paljon dataa kuluttajista parantaakseen palveluitaan. Tässä kuluttajan ja yrityksen välisessä vuorovaikutuksessa tärkeintä on luottamus. Kun kuluttaja ymmärtää, että kerätty data hyödynnetään parempien palveluiden ja tuotteiden tuottamiseen, luottamus syntyy. (Heikkinen 2016.)



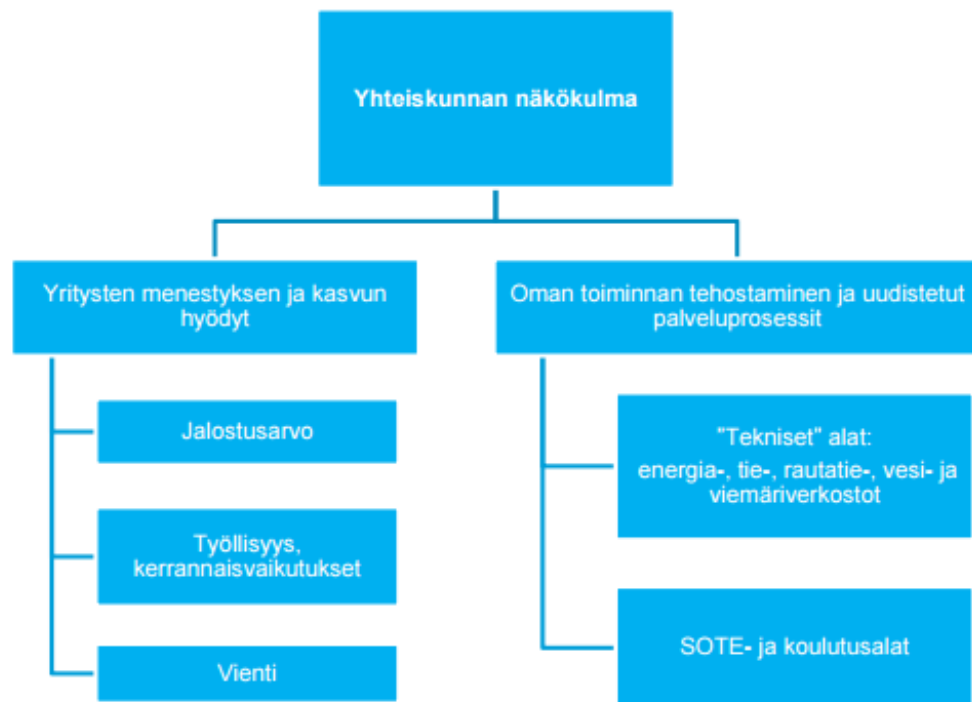
Kuva 2. Yrityksen keräämän kuluttajadatan hyödyntämisen näkökulmat. (Solita Oy 2016.)

Aiemmassa kuvassa nähdään, että yrityksen keräämä data kuluttajista hyödyttää kumpaakin osapuolta, kun sitä käytetään parempien tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen, eikä vain datan myyntiin tai markkinointiin. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat IoT-tuotteet- ja palvelut, jotka helpottavat kuluttajan normaalia arkea: laitteiden etähallinta, erilaiset älytuotteet kuten älyjääkaapit, jotka automaattisesti ilmoittavat, kun jokin raaka-aine on vähissä tai jokin muunlainen tuotteen tai palvelun automatisointi. IoT

on siis myös kuluttajan näkökulmasta merkityksellinen, elämää helpottava ilmiö.

### 2.2.3 Yhteiskunnalle

IoT:n tarjoamia hyötyjä yhteiskunnalle voidaan katsoa esimerkiksi julkisen sektorin näkökulmasta. Julkisen sektorin tarjoamia tai tukemia palveluita voidaan tehostaa tai luoda kokonaan uudellaisiksi muokattuja palveluprosesseja. Selkeimmin näitä hyötyjä nähdään teknologian käyttöönottona teknisillä aloilla, kuten energia-, tie-, rautatie-, vesi- ja viemäriverkostojen sekä rakennusinfrastruktuurin osalta. Näillä aloilla teknologiamurrokset hyväksytään helpommin kuin esimerkiksi koulutuksessa ja vanhustenhoitopalveluissa. Tästä huolimatta IoT tulee vaikuttamaan myös niihin ennen pitkää. (ETLA 2015.)



Kuva 3. IoT:n tarjoamat hyödyt yhteiskunnan näkökulmasta. (ETLA 2015.)

Kuten aiemmasta kuvasta nähdään, yhteiskunnan saamat hyödyt ovat tiiviisti yhteydessä liiketoimintaan. Näin ollen yrityksen menestys ja kasvu vaikuttavat myös yhteiskunnan saamiin hyötyihin.

Kaiken kaikkiaan IoT ilmiönä on erittäin monialainen, ja sen hyödyt niin liiketoiminnalle, kuluttajalle kuin yhteiskunnalle ovat merkittävät.

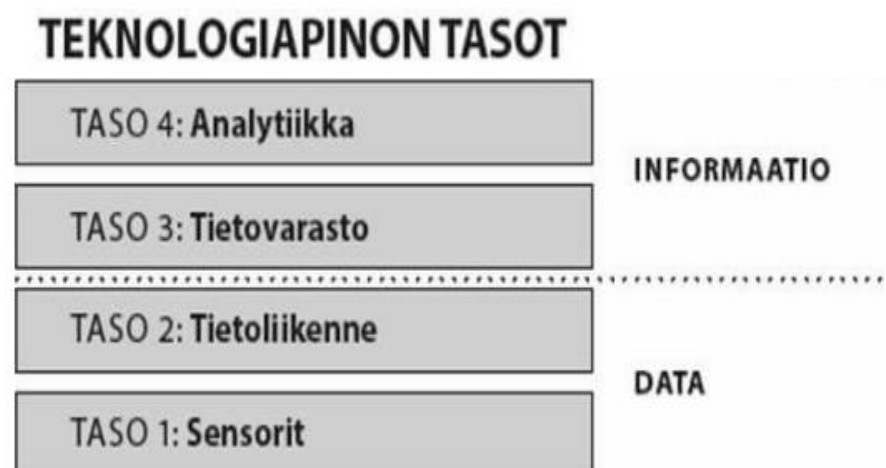
### 2.3 Teknologinen infrastruktuuri ja teknologiapino

IoT:n toteuttaminen vaatii kokonaan uudenlaisen teknologisen infrastruktuurin. Yleisesti ottaen teknologia ei ole IoT:n pullonkaula, vaan kaikki tarvittavat infrastruktuurin osat ovat teknisesti valmiita laajaan tuotantokäyttöön. Ongelma piilee siinä, että kyse on nimenomaan osista. Täysin valmista, heti käytettävää pakettia ei ole vielä tarjolla, eikä varmasti tule vielä lähivuosina. Saatavilla olevaa teknologiaa joudutaan itse soveltamaan esimerkiksi yrityksissä ja rakentamaan IoT:ta tukeva infrastruktuuri. (Collin & Saarelainen 2016, 141.)

Taivalta IoT:hen voi havainnollistaa monesta eri näkökulmasta, mutta yksi suosituimmista malleista on kuvata infrastruktuuri eräänlaisen teknologiapinon muodossa. (Collin & Saarelainen 2016, 142.)

Teknologiapinon lähtökohtana on selvittää, mistä teknisistä kokonaisuuksista IoT-ratkaisu koostuu. Eri versioissa se koostuu neljästä, viidestä tai kuudesta osasta. Tässä työssä lähtökohdaksi valitaan nelitasoinen versio, sillä siinä ovat pääkohtina data ja informaatio. (Collin & Saarelainen 2016, 142.)

Teknologiapino alkaa pohjalta, jossa ovat mittausdataa tuottavat sensorit eli anturit. Toisella tasolla tämä sensoridata kulkeutuu tietoliikenteen avulla ylöspäin. Teknologiapinon kolmannella tasolla on tietovarasto, johon data tallennetaan. Tyypillisesti tämä tarkoittaa pilvitietokantaa. Neljännellä tasolla tapahtuu datamassan käsittelyä muun muassa pilvilaskennan välineillä. (Collin & Saarelainen 2016, 142.)



Kuva 4. Neliosainen teknologiapino alhaalta ylöspäin. (Collin & Saarelainen 2016, 143. Mukailten alkuperäisestä kuvasta.)

### 2.3.1 Sensorit

Sensorit eli anturit ja mittarit ovat teknologiapinon tärkeä alin kerros, kaiken perusta. Tason nimessä termi sensori on kuitenkin kärjistys. Tämä teknologiapinon alin taso nimittäin kattaa käytännössä kokonaisuudessaan kaikki tuotteet, koneet ja laitteet, joiden tilasta ja ympäristöstä sensorit tuottavat datan pinon ylemmille tasoille; ilman antureita ei ole dataa, ilman dataa ei ole IoT:ta. (Collin & Saarelainen 2016, 152.)

Syy, miksi IoT on tällä hetkellä valtavassa suosiossa, johtuu muun muassa anturien hintojen romahduksesta. Anturien voimakas hinnanlasku on laskenut erityisen paljon älypuhelimista tuttujen kiihtyvyyssanturien ja asentoa mittaavien gyroskooppien hintoja. Syy hintojen laskuun on valmistajien ankara kilpailu markkinaosuuksista, mutta myös pyrkimys laskea valmistuskuluja kehittämällä arkkitehtuurin ratkaisujaan. (Collin & Saarelainen 2016, 153.)

Tarkasti ottaen sensori on sähköinen laite, jonka toimintaperiaatteena on muuntaa sähköiseen muotoon informaatiota ilmiöstä, joka ei ole luonnostaan sähköä. IoT-laitteiden sensori kerää informaatiota laitteesta, johon se on asennettu, tai laitteen ympäristöstä. Suurin osa sensoreista on luonteeltaan passiivisia eli ne vain vastaanottavat informaatiota. Aktiiviset sensorit taas välittävät itse energiaa ympäristöönsä ja odottavat vastetta, esimerkiksi lähettävät ja vastaanottavat radiosignaaleja. (Collin & Saarelainen 2016, 155.)

Sensoreilla voidaan mitata paljon erilaisia suureita. Collinin ja Saarelaisen (2016, 156) mukaan näistä yleisimpiä mitattavia suureita ovat:

- kiihtyvyys, nopeus, asento
- lämpötila, ilmankosteus
- kaasun/nesteen paine/pinnankorkeus/virtaus
- kemiallinen ominaisuus/koostumus
- värähtely
- vastus, virrankulutus
- säteily: näkyvä valo, infrapuna- ja ultraviolettisäteily
- äänenvoimakkuus

### 2.3.2 Tietoliikenne

Teknologiapinon seuraava taso on tietoliikenne. Tietoliikenne -kerros on erittäin tärkeä, koska sen avulla sensorien tuottama data saadaan kuljetettua eteenpäin. Jotta tämä onnistuu, täytyy sensorit saada yhdistettyä tietoliikenneverkon kanssa.

Tietoliikenteessä ja tiedon välittämisessä antureilta tietokantaan ja toisille koneille protokollat ja standardit ovat olennaisen tärkeitä. Ne ovat

apuvälineitä, joiden avulla data virtaa koneiden, järjestelmien ja ohjelmistojen välillä. Tiedonsiirron protokollat voi ryhmitellä niiden tiedonsiirron periaatteen mukaisesti. Selvästi yleisimpiä ovat protokollat, jotka perustuvat julkaisija-tilaaja-malliin. Tässä mallissa dataa tuottavien lähdejärjestelmien päätepiisteet ovat julkaisijan roolissa, sillä ne julkaisevat dataa määrätystä aiheesta. Julkaistu data virtaa tietoverkossa automaattisesti kohti jotakin tietoliikenteen keskitettyä pistettä, joka edelleen välittää datan tilaajaroolissa olevaan kohteeseen. Tilaaja voi olla esimerkiksi keskitetty tietokanta, teollinen sovellus, liiketoimintasovellus tai toinen päätepiiste. (Collin & Saarelainen 2016, 184.)

Erlaisia IoT:n tiedonsiirron standardeja on paljon, ja näistä yleisimpiä ovat muun muassa Modbus-, CoAP-, MQTT-, AMQP- ja XMPP-protokollat. (Collin & Saarelainen 2016, 185).

### **Modbus**

Modbus on yksi yleisimmistä tiedonsiirron standardeista teollisuusautomaatiossa, koska se on avoin, ilmainen ja melko helposti hyödynnettävissä IoT-maailmassa. Tavallisin käyttötapa on yhdistää Modbus-protokollalla esimerkiksi lämpötilaa tai kosteutta mittaavat kenttälaitteet tietokoneeseen. Modbusin suurin etu on se, että viestintä on tilatonta, mikä tekee siitä erittäin häiriösietoista. Varjopuolena on taas tietoturva, joka on olematon. Aika on ajanut monin tavoin Modbusin ohi, mutta kaikesta huolimatta se on edelleen standardi, johon IoT joutuu laajalti tukeutumaan, koska se dominoi automaatiossa niin vahvasti (Collin & Saarelainen 2016, 186.)

### **CoAP**

CoAP-protokolla (Constrained Application Protocol) on kuin luotu IoT-maailmaa varten, koska se on suunniteltu käytettäväksi M2M-sovelluksissa, joita ovat esimerkiksi erilaiset automaatioon liittyvät sovellukset. CoAP on rakennettu niin, että se muistuttaa HTTP-protokollaa. Tämän takia CoAP tunnistaa paljon erilaisia datatyyppejä, joita käytetään. CoAP:n yksi suurimmista valteista on kuitenkin se, että toisin kuin Modbus, se on tietoturvaltaan loistavalla tasolla. CoAP-standardin käyttöympäristöt ovat myös laajat, ja sitä voidaan hyödyntää niin iOS- ja Android-alustoilla. (CoAP n.d.)

### **MQTT**

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) on IoT-liitännäisprotokolla, joka on suunniteltu erittäin kevyeksi viestintävälineeksi. Se on hyödyllinen rajatuilla yhteyksillä, kuten kotiin liittyvässä automatiikassa ja pienissä laitteissa. Se soveltuu hyvin myös mobiilisovelluksille pienen koon ja virrankulutuksensa vuoksi. (MQTT n.d.)

MQTT ei kuitenkaan taivu kenttälaitteiden keskinäiseen viestintään eikä suoraan tiedonsiirtoon usealle eri vastaanottajalle. Tavoitteena on luotettava tietovirta, jossa dataa ei mene hukkaan. MQTT:n heikkoutena on kuitenkin virheenkorjaus, joka on vajavaista sekä salauksen puuttuminen protokollan perusversiosta. Kaikesta huolimatta protokolla soveltuu hyvin isojen kokonaisuuksien valvontaan, esimerkkinä öljyputkien vuodot. Käyttökohteita ovat esimerkiksi virrankulutuksen tarkkailu tai valaistuksen hallinta. MQTT-protokollaa käyttävät esimerkiksi erilaiset IoT-alustat, kuten Ignition ja Amazon IoT. (Collin & Saarelainen 2016, 188.)

### **AMQP**

AMQP (Advanced Messaging Queing Protocol) on avoin, yrityspuolelle suunnattu viestintäprotokolla, jolla voi lähettää viestejä sovellusten tai organisaatioiden välillä. Se yhdistää järjestelmät ja avustaa liiketoimintaprosesseja tarvittavalla tiedolla, jonka jälkeen se lähettää tietoa luotettavasti eteenpäin. Luotettavuus onkin yksi avaintekijä, miksi erityisesti yritykset suosivat AMQP-protokollaa. (AMQP n.d.)

AMQP-protokollalla voi välittää valtavan määrän pienikokoisia viestejä nopeassa tahdissa. Se on myös suunniteltu toimimaan eri toimittajien järjestelmissä, joten se soveltuu erityisen suorituskriittisiin yhteyksiin palvelimelta toiselle. AMQP-protokollalla on paljon suuria yrityksiä käyttäjinään, kuten pankit eri puolilla maailmaa, Nasa ja Google. (Collin & Saarelainen 2016, 188.)

### **XMPP**

XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) on avoin, XML-pohjainen viestintäprotokolla, joka tarjoaa mahdollisuuden muun muassa pikaviestintään, ryhmäkeskusteluihin ja ääni- ja videopuheluihin. Alun perin se julkaistiin vuonna 1999 nimellä Jabber, ja sen tarkoitus oli silloin tarjota vaihtoehto ihmisten pikaviestikeskusteluihin, joita käytiin lähinnä ICQ:lla, AIM:lla ja MSN:llä. (XMPP n.d.)

XMPP sopii viestintään, jossa data kulkee pitkälle monen, pääosin toisiinsa liittymättömien pisteiden läpi. Tämän ominaisuuden takia sitä käytetään IoT:ssa esimerkiksi sähköverkon power grid -ratkaisuissa. Protokollan keskeinen vahvuus on sen helppous. Esimerkiksi osoittamiseen käytetään sähköpostin kaltaista rakennetta nimi@domain.com, joka auttaa yhdistämään neuloja tässä internetin heinäsuovassa. Se on myös tietoturvallinen, ja se skaalautuu hyvin. Merkittävä heikkous on kuitenkin se, että sitä ei ole suunniteltu äärimmäisen nopeaksi, vaikka latenssi onkin pieni. Tämän vuoksi käyttökohteet rajoittuvat jonkin verran. (Collin & Saarelainen 2016, 188.)



### 2.3.3 Tietovarasto

Teknologiapinin kolmas taso käsittelee tietovarastoa. Kun sensoreilta kerättyä dataa on siirretty, täytyy sitä varastoida, jotta siitä saadaan konkreettista hyötyä jatkoa varten.

Tietovarastoinnin ja laajemmin tietoarkkitehtuurin kannalta tämän teknologiapinin tason on ratkaistava kaksi asiaa: sopiva tietovaraston tyyppi eli SQL vai NoSQL ja sopiva arkkitehtuuri eli keskitetty vai hajautettu arkkitehtuuri. (Collin & Saarelainen 2016, 196.)

#### SQL

IoT-tietovarastoksi valitaan yleensä jokin tietokanta. Valinnassa ratkaisevaa on käyttötarkoitus. Sen suhteen tärkein kysymys on, valitaanko SQL vai NoSQL. Kolme maailman eniten käytettyä tietokantaa ovat pitkään olleet MySQL, Oracle ja Microsoft SQL Server. Nämä kaikki noudattavat perinteistä, tiukan rakenteellista SQL-mallia. Malli edellyttää, että data viedään tietokantaan ennalta määritellyn rakenteen nojalla, eli ideana on tallentaa dataa niin sanottujen taulujen, *tables*, sarakkeisiin ja riveille. SQL-tietokannat ovat siinä mielessä haasteellisia, että datamassojen kasvaessa SQL-kanta saattaa hidastua, ellei skaalautuvuudesta erikseen pidetä huolta. Toisaalta SQL-kannat ovat ajan saatossa myös kehittyneet juurikin skaalautuvuudessa kasvavan kilpailun takia. (Collin & Saarelainen 2016, 196.)

#### NoSQL

Toinen vaihtoehto tietokannaksi on Not Only SQL eli lyhennettynä NoSQL, ei-rakenteellinen tietokanta. Sen sijaan, että data olisi tiukasti jäsennetty SQL:n tapaan, NoSQL:ssä data voi olla lähes minkälaista tahansa ilman, että sitä tarvitsee luokitella. Se voi olla rakenteellista, puoli-rakenteellista tai täysin ilman mitään rakennetta. Juuri tästä syystä NoSQL on erittäin vartenotettava vaihtoehto, kun mietitään, miten moninaista data on. (Machina Research 2014.)

NoSQL-tietokannalla on kuitenkin heikkoutensa. Suorituskyvyn ja joustavuuden saavuttamiseksi se tinkii jonkin verran tiedon eheyden varmistamisesta, mutta riski on yleensä eri tavoin kuitenkin hallittavissa. Lisäksi datan kirjoittamisen ja lukemisen vastapainoksi hakujen tekeminen on hankalampaa ja hitaampaa kuin perinteisessä SQL-tietokannassa. Tästä syystä yleisesti ottaen ajatellaan, että SQL-tietokantaratkaisu on aluksi hyvä, ja monessa tapauksessa riittävä. NoSQL:n edut tulevat vasta silloin vastaan, kun halutaan kerätä rakenteellista ja ei-rakenteellista dataa samanaikaisesti. Yksi vaihtoehto on myös se, että luodaan SQL- ja NoSQL-kannat samanaikaisesti, ja niihin vain tallennetaan erityyppistä dataa. (Collin & Saarelainen 2016, 197.)

Pelkkä tietokanta ei kuitenkaan vielä ratkaise hallinnan tarpeita, vaan tarvitaan myös arkkitehtuuri, joka mahdollistaa tietoliikenteen ja hallinnan moneen eri suuntaan. Vaihtoehtoina ovat keskitetty ja hajautettu arkkitehtuuri-malli. (Collin & Saarelainen 2016, 201.)

### **Keskitetty arkkitehtuuri**

Keskitetty arkkitehtuuri perustuu yhteen taustajärjestelmään, joka kokoaa datan, mahdollistaa keskitetyn päätepuisteiden hallinnan ja keskitettyjen palvelujen rakentamisen. Tässä mallissa päätepuisteet ovat lähinnä datan tuottajan roolissa. Keskitetyn arkkitehtuurin ominaisuuksia ovat muun muassa tapahtumien prosessointi, yritysjärjestelmien integrointi ja laitteiden löytäminen ja hallinta. IoT:n verkkotopologiassa keskitetty malli on olennainen, ja monessa käyttötapauksessa riittävä. Pidemmälle kehittynyt IoT kuitenkin vaatii, että keskitetty järjestelmä laajennetaan hajautetuksi arkkitehtuuriksi. (Collin & Saarelainen 2016, 201.)

### **Hajautettu arkkitehtuuri**

Hajautetulle arkkitehtuurille ominaista on se, että siinä on edelleen keskitetty taustajärjestelmä, mutta dataa tuottavat ja kuluttavat päätepuisteet eli tuotteet, koneet ja sensorit, pystyvät olemaan suorassa yhteydessä toisiinsa ilman keskitetyn järjestelmän ohjausta. Hajautetun arkkitehtuurin toiminnallisuudet mahdollistavat P2P-vertaisverkkoviestinnän (peer-to-peer), hajautetun auditoinnin ja datan jakamisen. Hajautetun järjestelmän ansiosta esimerkiksi tietoliikenteen ja datan prosessoinnin viive saadaan minimoitua, ja resursseja käytetään tehokkaammin, kun prosessoidaan dataa lähellä sen synty- ja kulutuspaikkaa. (Collin & Saarelainen 2016, 201.)

#### 2.3.4 Analytiikka

Teknologiapinin huipulla eli neljännellä tasolla on analytiikka. Analytiikan avulla datasta pyritään etsimään informaatiota, joka tukee päätöksentekoa kriittisissä kysymyksissä. Tulosten pitää ennen kaikkea tuottaa lisäarvoa ja parantaa toiminnan tehokkuutta ja laatua. (Collin & Saarelainen 2016, 206.)

Merkittävin haaste analytiikassa ei ole pitkään aikaan ollut itse data. Dataa riittää, ja sitä pystytään kyllä käsittelemään. Tärkeintä ja kaikkein haastavinta on osata kysyä datalta oikeita kysymyksiä. Sellaisia kysymyksiä, joihin saaduista vastauksista voidaan johtaa erilaisia hyötyjä, kuten uusia palveluita. (Collin & Saarelainen 2016, 207.)



Kuva 5. Analytiikan tasot. (Hellsten & Jussila 2015.)

Aiemmasta kuvasta nähdään, että perinteinen analytiikka liittyy myös hyvin pitkälti IoT-analytiikkaan. IoT:hen liittyvässä analytiikassa on pyrittävä luomaan tehokkaita, automaattisia algoritmeja. Niitä voi luonnehtia matemaattisiin kaavoihin perustuviksi ohjelmistokoodeiksi, jotka automatisoivat datan tulkin. Vasta silloin, kun analytiikka on viety laitetasolle, varsinaisesti syntyvät älykkäät, verkottuneet tuotteet: itsenäisesti toimivat laitteet, kuten älykkäät robotit ja itseajavat autot. Erityisesti analyttikoiden työ on helpottunut IoT:n avulla, sillä aiemmin analyttikon piti itse koodata kaikki algoritminsa. Nykyään on saatavilla suuri joukko erilaisia IoT-alustoja, jotka helpottavat työtä. Käyttäjä voi yksinkertaisesti hiirellä vetämällä valita haluamansa algoritmin tai niiden yhdistelmän. (Collin & Saarelainen 2016, 208.)

## 2.4 Tietoturva

IoT:n yksi suurimpia haasteita on tietoturva, jota ei välttämättä mietitä aina kovin tarkasti. Esineiden internet ei itse asiassa poikkea perinteisestä internetistä juuri mitenkään. Koska data liikkuu samoja kaapeleita pitkin kuin muukin internetliikenne, IoT on myös yhtä lailla haavoittuva. (Vieno 2015.)

Perinteisesti on ajateltu, että teollisia kontrollijärjestelmiä ei tarvitse suojata koska ne eivät ole liitetty internetiin. Perinteisiä teollisia hallintajärjestelmiä ei tarvinnut suunnitella sitä ajatellen, että niihin olisi minkäänlaista pääsyä ulkopuoliselta taholta. Tämän seurauksena monet teollisuuden hallintajärjestelmät ja automaattioratkaisut ovat tietoturvasuojaltaan heikkoja. (Collin & Saarelainen 2016, 243.)

Todellisuudessa teollisen automaation kontrollijärjestelmät ovat yleisesti internetissä, vaikka näin ei uskota olevan. Yhteys vain ei ole täysin suora. Tietoliikenne kulkee teollisuuslaitoksen paikallisesti asennetun etävalvontaohjelmiston alustalle ja erilaisten paikallisten järjestelmien kautta esimerkiksi toiminnanohjausjärjestelmään. (Collin & Saarelainen 2016, 243.)

Verkkohyökkääjät pystyvät murtautumaan kokonaisille teollisuudenaloille löytämällä erilaisia haavoittuvuuksia yleisesti käytetyistä järjestelmistä ja ohjelmistoista. Jo yksi tietoturva-aukko antaa mahdollisuuden globaaliin hyökkäykseen. (Collin & Saarelainen 2016, 244.)

Yksi merkittävimmistä riskeistä on se, että operatiivisten järjestelmien kuten automaatoratkaisujen ostajat eivät kaupanteon yhteydessä tai sen jälkeenkään ole missään tekemisissä yrityksen IT-osaston kanssa. He saattavat olla myös täysin tietämättömiä tietoturvasta. (Collin & Saarelainen 2016, 245.)

Käyttäjän ei pitäisi tuudittautua siihen ajatukseen, että laitetoimittaja olisi hoitanut tietoturvan mallikkaasti. Varsinkin halvempien laitteiden toimittajien periaatteisiin kuuluu, että he vain tuottavat laitteen ja sovelluksen, ja laitteiden käyttäjä hoitaa kaiken tästä eteenpäin. (Uusitalo 2016.)

Laitteiden tietoturvallisesta kytkemisestä ovat vastuussa niin käyttäjät kuin verkon arkkitehtuurin toteuttajat. Arkkitehtuurin toteuttajat vastaavat siitä, että verkko on suunniteltu niin, ettei kukaan ulkopuolinen saa laitetta suoraan hallintaansa. Tämän lisäksi, vaikka sekä käyttäjä että arkkitehtuurin suunnittelija toimisivat vastuullisesti, saattavat laitetoimittajat ohjeistaa käyttäjiään väärin ja ohittamaan mahdolliset tietoturvallisuutta parantavat mekanismit. (Uusitalo 2016.)

Tietoturvan ylläpitämiseksi tärkeintä on kartoittaa kaikki järjestelmät ja laitteistot yksityiskohtaisesti ja muodostaa kaikenkattava malli verkkotopologiasta. (Collin & Saarelainen 2016, 245.)

Teollisuuden verkoissa ja IoT:ssa pätevät samat periaatteet kuin muussakin tietoturvassa. Tarvitaan palomuureja, monen kerroksen suojausta, päivitysten hallintaa, tietoturvapolitiikkaa ja niin edelleen. Vain tunnistauneet käyttäjät sallitaan. Tämä tosin on hieman hankalaa IoT-ympäristössä, koska verkkoon liittyy valtava määrä sensoreita. Jotta tilanne siis pysyy hallinnassa, on välttämätöntä käyttää jotakin automatisoitua ratkaisua tai esimerkiksi SSH-avainten hallintatyökaluja. (Collin & Saarelainen 2016, 246.)

IoT:n tavoitteista huolimatta on syytä kuitenkin harkita, pitääkö joitakin järjestelmiä jättää kokonaan ilman verkkoyhteyksiä. Vanhanaikaisena pidetty täysi fyysinen eristys verkosta voi äärimmäisen kriittisissä

tilanteissa olla viisas ratkaisu. Sinnikäs hyökkääjä toki pystyy kiertämään senkin, mutta todennäköisyys on erittäin pieni. (Collin & Saarelainen 2016, 247.)

Uusia IoT:ta hyödyttäviä tietoturvaratkaisuja pyritään keksimään jatkuvasti, ja yksi hyödyllinen ratkaisu saattaa syntyä niin sanotun lohkoketjuteknologian soveltamisesta. Erityisesti virtuaalivaluuttojen louhinnassa käytetyn teknologian mahdollisuuksia tutkitaan tällä hetkellä laajasti. Lohkoketjun turvallisuus perustuu siihen, ettei yksikään transaktio onnistu ilman täydellistä, mekanismiin sisäänrakennettua varmennusta. Kaiken valuutan alkuperä on aina tiedossa tarkasti. Toistaiseksi on kuitenkin epäselvää, miten tätä periaatetta voitaisiin soveltaa käytännössä virtuaalivaluuttojen maailman ulkopuolella. (Collin & Saarelainen 2016, 247.)

### 3 IOT-ALUSTA

Niin sanottu alusta, *platform*, on kriittisen tärkeä väline IoT:n arkkitehtuurissa, jossa aineellinen ja virtuaalinen maailma yhdistyvät. Eri datalähteistä virtaava informaatio täytyy koota yhteen, ja tämän mahdollistaa niin sanottu alusta. Sen tehtävänä on toimia kuin liima, joka yhdistää toiminnallisten järjestelmien datavirrat ja tietojärjestelmät toisiinsa sekä kytkee tietovarastot, analytiikan ja sovelluskehityksen toisiinsa kattaen myös suuren osan tietoturvasta. Vieläkin merkittävämpää on se, että alusta voi itse sisältää suuren osan teknologisesta infrastruktuurista ja sen toiminnallisuuksista. Tällä tavoin se helpottaa IoT-ympäristön rakentamista. (Collin & Saarelainen 2016, 228.)

Alusta esimerkiksi avaa näkymän sensoriverkkoon ja voi sitä kautta suoraan auttaa anturien löydettävyydessä. Ei nimittäin ole itsestäänselvyys, että kaikki komponentit ilmestyvät näkyviin verkossa ja alkavat lähettää ja vastaanottaa dataa sillä hetkellä, kun sähkötkytetään päälle niitä sisältäviin laitteisiin. Alustat osaavat huolehtia löydettävyydestä, tunnistavat päätepisteiden viestintäprotokollat, voivat ohjata tietoliikenteen halutulla tavalla sekä varmistavat, että järjestelmä on tietoturvallinen esimerkiksi vaatimalla tunnistautumista ja salaamalla kaiken liikenteen. (Collin & Saarelainen 2016, 228.)

Alusta käsitteenä on valitettavan sekava, eikä ole olemassa minkäänlaista alustan standardia sen enempää kuin IoT:n standardoitu tiedonsiirron protokollaa. Markkinatutkimusyhtiö Gartner määrittelee IoT-alustan hyvin niukasti: sellainen mahdollistaa esimerkiksi yrityksille IoT-päätepisteiden valvonnan ja hallinnan sekä sovellusten kehittämisen digitaalisen liiketoiminnan vaatimuksiin vastaamiseksi. (Collin & Saarelainen 2016, 228.)

IoT Analytics -tutkimusyhtiön mukaan kaupallisia ja avoimia alustoja on ainakin kolmesataa, joten valinnanvaraa löytyy. Osa alustoista on suunnattu ensisijaisesti kuluttajien IoT-tuotteiden hallintaan, osa taas keskittyy yritysten IoT-toimintaan ja osa lupaa kattaa molemmat puolet. Karkeasti yleistäen voidaan sanoa, että kaikilla alustoilla on yhteisiä piirteitä. (Collin & Saarelainen 2016, 228.)

#### 3.1 Yleisimmät ominaisuudet

Alustojen ominaisuudet vaihtelevat paljon eri palveluntarjoajista riippuen, ja kaikki eivät välttämättä ole niin laajoja kuin toiset. Collinin ja Saarelaisen (2016, 229) mukaan yleisimmät ominaisuudet ovat:

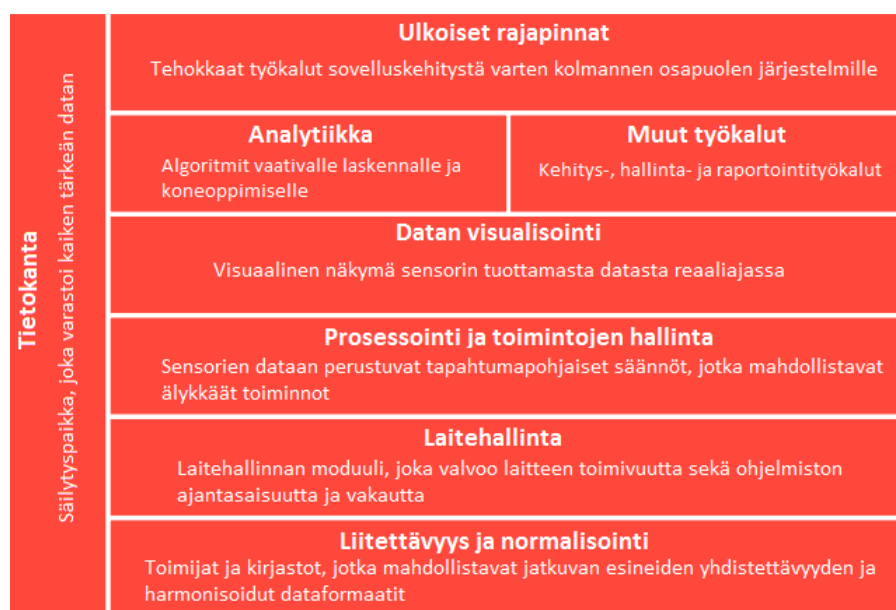
- Alustan liitettävyys sensoriverkkoon
- Laitteiden hallinta
- Datat käsittely

- Tietokanta, yleensä pilvipalvelu
- Datan analysointi, raportointi ja visualisointi
- Sovelluskehityksen työkalut ja eri rajapinnat
- Rajapinnat ulkoisiin tietojärjestelmiin

Minimitasoinen alusta saattaa mahdollistaa vain yksinkertaisen sensorien liitettävyyden ja hallinnan eikä oikeastaan muuta. Laajempi alusta sisältää kehitysalustan, tietoturvan sekä tukee vähäistä määrää protokollia ja ohjelmointikieliä. Minimitasoinen alusta voi kyetä käsittelemään vain pienen määrän anturin tuottamaa datavirtaa. (Collin & Saarelainen 2016, 229.)

Kypsyysasteeltaan kehittynyt alusta sisältää monipuoliset, lukemattoman erilaisten sensorien, verkkojen, datavirtojen ja sovellusten hallinnan ja integroinnin ominaisuudet, samoin tehokkaan kehitysalustan sekä analysoinnin, visualisoinnin ja käyttöliittymän työkalut niin ylläpitäjille kuin loppukäyttäjille. Kovan luokan alusta skaalautuu käytännössä loputtomasti, vaikka sensorien määrä nousisi miljooniin kappaleisiin. (Collin & Saarelainen 2016, 229.)

Alustat voidaan luokitella kypsyyden ja kattavuuden perusteella kolmelle tasolle. Kolme neljäsosaa edustaa liitettävyydestä, joka sisältää vain datan keräilyä, normalisointia ja yksinkertaisen viestintäväylän. Toimintatason alusta sisältää myös datan prosessoinnin sekä tapahtumien ja toiminnan hallinnan. Täysimittainen alusta on laite-, protokolla- ja standardidiagnostinen ja se mahdollistaa monipuoliset visuaaliset käyttöliittymät, kehittyneet tietoturvaratkaisut, monipuoliset ulkoiset rajapinnat ja sovelluskehityksen kannalta hyödylliset työkalut. Se myös hallitsee suuria laitemääriä. (Collin & Saarelainen 2016, 229.)



Kuva 6. Täydellisen alustan kahdeksan vaatimusta. (IoT Analytics, 2015).

Aiemmasta kuvasta nähdään täydellisen IoT-alustan vaatimukset. Kaikki IoT-alustana myytävät tuotteet eivät ole sitä, mitä ne väittävät olevansa, vaikka monet tahot markkinoivat niitä niin sanottuina täydellisinä alustoina. Ostajan on vaikea sanoa, miten kattavia ominaisuuksia ne todellisuudessa sisältävät. Ollakseen kypsä ja kattava alustan täytyy täyttää seuraavat kahdeksan vaatimusta. (Collin & Saarelainen 2016, 230.)

### **Vaatus 1: Liitettävyys ja normalisointi**

Jokainen IoT-alusta alkaa liitettävyys-kerroksesta, jonka kautta eri sensorit saadaan yhdistettyä järjestelmään. Sen avulla myös eri protokollat ja dataformaattit tuodaan omaan, yhtenäiseen järjestelmään. Tämä on tärkeää, koska jokaisen laitteen tulee olla käytettävissä ja datan luettavissa oikein. Periaate on, että kaikki laitedata on samassa paikassa, jotta IoT-laitteita voidaan seurata, hallita ja analysoida. (IoT Analytics 2015.)

Datan jonkinasteinen harmonisointi voi olla välttämätöntä, jotta kaikkien laitteiden kanssa voidaan olla yhteydessä. Päätelaitteille voidaan joutua ohjelmoimaan ja asentamaan pieniä apusovelluksia, joilla muodostetaan vakaa yhteys datan yhtenäistä keräilyä varten. (Collin & Saarelainen 2016, 230.)

### **Vaatus 2: Laittehallinta**

IoT-alustan laitehallinnan moduuli varmistaa automaattisesti, että yhdistetyt laitteet toimivat oikein ja niiden ohjelmistot ovat ajan tasalla ja käynnissä. (IoT Analytics 2015.)

Laittehallinnan moduulin kautta pystytään tekemään monia eri asioita, kuten etähallintaa, ohjelmistojen päivitysten hallintaa ja ongelmanratkaisua automaation avulla. Voi tulla tilanne, että samanaikaisesti täytyy hallita tuhansia tai jopa miljoonia eri laitteita, jolloin manuaalinen hallinta käy lähes mahdottomaksi. Tästä syystä automaatio on erittäin tärkeä osa IoT-alustaa. (IoT Analytics 2015.)

### **Vaatus 3: Tietokanta**

Datan tallennus on alustan keskeinen osa. Laitedatan hallinta asettaa tietokannalle sarjan eri vaatimuksia, jotka usein ovat pitkälle yhteneväisiä big datan eli suurten datamassojen piirteiden kanssa. Tietokannan pitää käsitellä hyvin eri tyyppistä dataa, joka voi olla myös epätarkkaa ja tulkinnanvaraista. Datavirtoja on pystyttävä analysoimaan välittömästi. Tietokantaan on pystyttävä tallentamaan sekä rakenteista, että rakenteetonta dataa, jonka takia alustaan yleensä liittyy pilvipohjainen datavarastointi. (Collin & Saarelainen 2016, 231.)



#### **Vaatus 4: Prosessointi ja toimintojen hallinta**

Data, joka kerätään liitettävyyden ja normalisoinnin kautta, herää tässä vaiheessa eloon. Sääntöpohjainen tapahtuman laukaisin, *trigger*, mahdollistaa erilaiset älykkäät toiminnot ennalta määritetystä sensoridatasta. Esimerkiksi älykodissa tapahtuman laukaisin voidaan määrittää niin, että kaikki talon valot sammuvat, kun asukas lähtee kotoaan. Teknisesti tämä pohjautuu yksinkertaiseen if-this-then-that-sääntöön (IFTTT). Eli esimerkiksi, kun asukkaan älypuhelimien GPS-signaali näyttää, että hän on yli kymmenen metriä kauempana talosta, kaikki talon valot sammuvat. (IoT Analytics 2015.)

#### **Vaatus 5: Analytiikka**

Useimmat IoT:n käyttötapaukset ovat niin vaativia, että yksinkertainen sääntökone ei riitä, vaan tarvitaan analytiikkaa. Esimerkiksi ennakoiva huolto laajoissa järjestelmissä onnistuu vain paikantamalla vaurioon johtavaa poikkeavaa dataa laajasta datamassasta. Vastaavuuksia ja syy-yhteyksiä ei ennalta voida tietää eikä määritellä valmiiksi. Olennaisten muuttujien yhdistelmien tunnistaminen edellyttää monimutkaisia tulkintoja. Tätä varten hyvä alusta sisältää oman analytiikkamoottorinsa. Analytiikassa on voitava käyttää perustasoisen datan luokittelun lisäksi toiminnallisia, koneoppimisen tyyppisiä algoritmeja, jotka oppivat datasta ja tapahtumista jatkuvasti. Vähitellen tästä analytiikasta tulee hyvin pitkälle automatisoitua, kun algoritmit tarkentuvat. Luotuja algoritmeja voidaan viedä myös alemman tason järjestelmien ohjelmistokoodiin. (Collin & Saarelainen 2016, 231.)

#### **Vaatus 6: Datan visualisointi**

Kaikki analytiikka vaatii jossakin vaiheessa aina ihmisen puuttumista, valvontaa ja arviointia. Ihminen tunnistaa datasta malleja ja toistuvuuksia helpoiten, kun data esitetään graafisessa muodossa. Siksi visuaalinen ohjauspaneeli on erittäin tärkeä mutta usein arvioinnissa sivuutettu ominaisuus. Visualisointi voi olla esimerkiksi erilaisia mittaristoja, graafisia yhteenvetoja datasta, jopa kolmiulotteisia mallinnuksia. Alustan ylläpitäjän ohjauspaneeli sisältyy kehittyneissä alustoissa myös prototyyppien tekemisen työkaluihin. (Collin & Saarelainen 2016, 232.)

#### **Vaatus 7: Muut työkalut**

Edistyneemmät IoT-alustat usein sisältävät ylimääräisiä työkaluja kehittäjälle ja ylläpitäjälle kehitys-, hallinta- ja raportointityökalujen muodossa. Kehitystyökalujen avulla voidaan luoda esimerkiksi yksinkertaisia älypuhelinsovelluksia, joilla voidaan hallita liitettyjä laitteita. (IoT Analytics 2015.)

Hallintatyökaluilla esimerkiksi määritellään, kenellä on pääsy tiettyyn dataan ja määrättyihin sensoreihin, eli kyse on hyvinkin paljon tietoturvasta. Raportointivälineet puolestaan mahdollistavat erilaiset datakyselyt järjestelmästä ja datan viennin alustalta erimuotoisina tiedostoina, raportteina ja yhteenvetoina vaikkapa johtoryhmän pöydälle. (Collin & Saarelainen 2016, 232.)

### **Vaatus 8: Ulkoiset rajapinnat**

IoT:n teknologiapino ei toimi tyhjiössä eikä sitä rakenneta täysin uuteen ympäristöön. Siksi on tärkeää, että alusta sisältää tehokkaat rajapinnat sovelluskehitykseen ja että se sallii laajat integroinnit. Alusta pitää yhdistää olemassa oleviin tietojärjestelmiin, kuten toiminnanohjaukseen ja asiakkuudenhallintaan. Alusta pitää myös pystyä liittämään laajempaan ekosysteemiin, asiakkaiden ja kumppanien ympäristöihin, mahdollisesti myös järjestelmän osajärjestelmäksi. (Collin & Saarelainen 2016, 232.)

## **3.2 Alustan valintaan liittyviä tekijöitä**

Alustan valinta on aina ratkaisevan tärkeä päätös, koska alusta ohjaa tulevan tekemisen suuntaa ja mahdollisuuksia hyvin pitkälle tulevaisuuteen. Saatavilla olevien alustojen väliset erot saattavat olla merkittävät, joten oikean valinnan tekeminen on hankalaa. (Collin & Saarelainen 2016, 233.)

Valintatilanteessa tulee ottaa huomioon monia eri seikkoja. Collinin ja Saarelaisen (2016, 233) mukaan keskeiset kriteerit alustan valinnassa ovat:

- Avoin vai kaupallinen: Ostetaanko alusta valmiina vai rakennetaanko alusta itse kokonaan avoimen lähdekoodin välineillä? Miten paljon alusta voi nopeuttaa kehitystä? Vaatiiko alusta tietyn valmistajan laitteiden käyttöä?
- Data: Miten datan keräilyä suoritetaan alustalla? Kuinka laajasti alusta tukee erilaisia standardeja ja protokollia? Mihin data tallentuu ja kuka datan omistaa?
- Analytiikka: Sisältääkö alusta eri analytiikkatyökaluja? Voiko dataa viedä eri ohjelmistoihin? Miten dataa analysoidaan ja mitä osaamista se vaatii?
- Millaista sovelluskehitystä alustalla on mahdollista tehdä? Onko tarjolla valmiita työkaluja? Sisältääkö alusta ohjauspaneelin vai onko se ja muut käyttöliittymät tehtävä itse?
- Joustavuus: Millainen on alustan skaalautuvuus? Miten alusta vastaa tämänhetkisiä tarpeita ja tarjoaako se hyötyä myös tulevaisuudessa?
- Tietoturva: Millainen on alustan tietoturva ja millaisia vaihtoehtoja siinä on?
- Kustannukset: Miten arvioidaan alustan hinta? Mihin kaupallisen alustan laskutus perustuu, sensorimäärään vai tietokannan kokoon?

Vuoden 2015 loppupuolella ilmestyi laaja IoT-alustojen analyysi osana strategisen huippuosaamisen keskittymän DIGILEn IoT-hankeohjelmaa. Tämä analyysi keskittyi niin yrityksille kuin kuluttajille suunnattuihin alustoihin. Selvitys toi esiin alustojen valtavan määrän sekä niiden lukuisat puutteet suhteessa yritysten ja kehittäjien tarpeisiin. (Collin & Saarelainen 2016, 234.)

Alustoja tutkittiin yhteensä 38, ja lähes kaikki tukivat heterogeenistä laitevalikoimaa, mutta muutama vaati määrättyjen gateway-laitteiden käyttämistä. Valtaosa alustoista tuki REST-rajapintaa ja kaksi kolmasosaa perustui SaaS- tai PaaS-pilviarkkitehtuuriin tai näiden yhdistelmään. (Collin & Saarelainen 2016, 234.)

Alustojen kypsien ominaisuus on sensorien ja niitä sisältävien laitteiden sekä alustan välisen liikenteen tuki. Osa alustoista tukee kuitenkin vain tiettyä rautaa, eli ne vaativat laitteiden liittämiseksi alustaan gateway-reitinlaitteen käyttöä. Eri alustat tarjoavat kehittäjille hyödyllisiä rakennuspaloja, tallennusratkaisut ja kehitysympäristön. Jotkut alustat ovat tiukasti määritelty omiin suljettuihin lokeroihinsa, joiden välillä datan siirto on lähes mahdotonta. Lisäksi datan vienti alustoista muualle on rajoitettua. (Collin & Saarelainen 2016, 235.)

Hyvin tärkeitä ovat datan omistajuuden ja jakamisen ominaisuudet, jotka ovat alustojen paha puute. Omistajuuden yleensä saa loppukäyttäjä, mutta hallinnan käytännöt ovat alkeellisia. Jakamista haittaa, että käytettävissä olevat dataformaattit ja rajapinnat ovat epäyhdenäisiä eikä dataa lajitella kunnolla. Datan hallinta on tärkeää senkin vuoksi, että yrityksillä on jo nyt suuria määriä dataa, mutta ei mitään käyttötarkoitusta. Yrityksille olisikin hyödyllistä, jos alusta mahdollistaisi datan jakamisen tai myynnin palveluna tietoturvalisellä tavalla. Tästä voidaan käyttää termiä DaaS, data palveluna. Dataa voitaisiin välittää eteenpäin raakana tai tarpeen mukaan salaiseksi muutettuna tai suodatettuna. Yrityksen DaaS-asiakas tai kumppani voisi näin analysoida dataa ja tuottaa palveluja myyjälle tai myydä sitä kokonaan muuhun tarkoitukseen. (Collin & Saarelainen 2016, 235.)

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tämän työn tutkimusmenetelmänä on käytetty kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta. Menetelmää valittaessa on otettu huomioon tutkittava ilmiö ja tutkimusongelma.

Lähtökohtana kvalitatiivisessa tutkimuksessa on todellisen elämän kuvaaminen. Tähän sisältyy ajatus, että todellisuus on moninainen. Tutkimuksessa on kuitenkin otettava huomioon, että todellisuutta ei voi pirstoa osiin täysin sattumanvaraisesti. Tapahtumat muokkaavat samanaikaisesti toisiaan, ja onkin mahdollista löytää monenlaisia suhteita. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa pyritään tutkimaan kohdetta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. (Hirsijärvi, Remes & Sajavaara 2013, 161.)

Tutkimusta varten tietoa on kerätty eri kirjallisuuden ja muiden teoreettisten lähteiden avulla. Tietoa etsiessä on huomioitu lähdekriittisyys, sekä tekstien kirjoittajien asiantuntevuus ja taustat.

Tietojen totuusperää pyrittiin tarkastelemaan useasta eri lähteestä, jotta niihin saatiin jonkinlainen toistuvuus. Tätä kautta voidaan todeta, että käytetyt lähteet olivat totuus pohjaisia ja perustuivat ainoastaan faktatietoon, eikä esimerkiksi mielipiteisiin.

Kaikki käytännön osuuden testauksessa ilmenneet asiat kirjattiin tarkasti pääpointeiltaan ylös niiden toteamishetkellä, ja kirjoitettiin vielä myöhemmin puhtaaksi. Näin varmistettiin, että mikään tärkeä asia ei jäänyt kirjaamatta tutkimukseen ja näin ollen vääristäisi tutkimustuloksia.

Tutkimuksessa pyritään aina välttämään virheiden syntyminen. Tästä huolimatta tulosten luotettavuus ja pätevyys vaihtelevat, jonka vuoksi kaikissa tutkimuksissa pyritään arvioimaan tehdyn tutkimuksen luotettavuutta. (Hirsijärvi ym. 2013, 231.)

Tutkimusta voidaan arvioida muun muassa validiuden avulla. Validius tarkoittaa tutkimusmenetelmän kykyä mitata juuri sitä, mitä on tarkoituskin mitata. Menetelmät eivät kuitenkaan aina vastaa sitä todellisuutta, jota tutkija kuvittelee tutkivansa, vaan virhearvioita voi tapahtua. (Hirsijärvi ym. 2013, 231-232.)

Tutkimuksen käytännön osuuden testausta tehtiin yksityiskohtaisesti, ja saatujen tulosten ydinasiat kirjattiin ylös heti toteamisen jälkeen. Myöhemmin ne kirjoitettiin vielä puhtaaksi. Vaikka saatuja tuloksia ei kirjattu laajasti ylös samalla hetkellä, kun ne todettiin, ei sillä ole merkitystä tutkimuksen luotettavuuden kannalta. Tarkemmalla kirjaamisella ei olisi saavutettu merkittävää lisäarvoa tutkimuksen kannalta, koska ydinasiat kattoivat kaiken olennaisen saaduista tuloksista.

Tätä tukevat myös jo aiemmin samasta aihepiiristä tehdyt tutkimukset ja raportit sekä niistä saadut tulokset.

## 5 ALUSTOJEN VERTAILU

IoT-alustoja on tarjolla useita kymmeniä, ja niiden käyttötarkoituksia on monia. Tässä työssä keskitytään vertaamaan kolmen, melko tunnetun palveluntarjoajan IoT-alustoja, jotka ovat IBM Watson IoT & Bluemix, Microsoft Azure IoT Hub ja PTC Thingworx. Alustojen pääsääntöiset ominaisuudet, joita vertaillaan ovat liitettävyyden, käyttöliittymän, laitehallinnan, tietokannat sekä prosessoinnin ja toimintojen hallinta. Vertailun tueksi luodaan vertailumatriisi, jossa jokainen ominaisuus on arvioitu alustakohtaisesti.

### 5.1 Alustojen esittely ja vertailu

Vertailtavien alustojen ominaisuuksia on tarkoitus verrata muun muassa liittämällä niihin samanlainen laite. Liitettävä laite on Haltian kehittämä Thingsee One IoT-monitoimilaite. Tämän laitteen avulla voidaan tarkastella alustojen liitettävyyttä, eli mitä toimenpiteitä liittäminen vaatii, ja kuinka vaivattomasti se käy. Muita alustojen ominaisuuksia tarkastellaan selvittämällä yleisiä käyttäjäkokemuksia, ja myös testaamalla näitä ominaisuuksia itse.

#### **IBM Watson IoT & Bluemix**

IBM Bluemix on pilvipohjainen alusta, joka on koko palvelun ydin. Sitä kautta pystytään käyttämään monia eri digitalisaatioon liittyviä palveluita, jotka helpottavat erityisesti yritysten arkea. (IBM n.d.)

Varsinainen IoT-alusta on Bluemixin kautta toimiva Watson IoT. Tämän kautta tapahtuu muun muassa laitteiden asennus, yhdistäminen ja ohjaaminen. Bluemixistä löytyvän katalogin kautta on mahdollista lisätä monia eri ominaisuuksia ja komponentteja Watson IoT:hen, kuten esimerkiksi tietokantoja ja vaikkapa graafisia piirtotyökaluja. Nämä ominaisuudet ja komponentit ovat osittain IBM:n omia ja osittain kolmannen osapuolen kehittelemiä. Alustan käyttö tapahtuu web-sovelluksen kautta.

Watson IoT on liitettävyydeltään toimiva. Liitettävyyden ei vaadi kovinkaan paljoa ohjelmointiosaamista, mutta liitettävän laitteen tulee tukea joko MQTT- tai HTTP-protokollaa. Liitettävyyttä varten IBM tarjoaa runsaasti eri dokumentteja ja ohjeistuksia, jonka avulla laitteiden liittäminen onnistuu. Nämä dokumentit ovat helposti löydettävissä, ja ovat sisällöltään yksityiskohtaisia ja laajoja. IoT-osaamisen puolesta riittää, että tietää perusteet, jonka vuoksi alusta on myös kokemattomille käyttäjille mieluisa.

Käyttöliittymältään Watson IoT on yksinkertainen, mutta melko pelkistetty. Sen tärkeimpiin ominaisuuksiin päästään kyllä käsiksi helposti

selkeän sivuvalikon kautta, ja sen käyttö ei vaadi paljoa opettelemista. Edistyneempiä ominaisuuksia joutuu kuitenkin etsimään, ja ne vaativat ohjeisiin perehtymistä enemmän.

Laittehallintaa varten Watson IoT:ssa on oma diagnostiikka -moduuli, joka valvoo, että laitteen yhdistettävyydessä ei ilmene ongelmia. Sen kautta on myös helppo seurata kaikkia liitettyjä laitteita, ja nähdä niistä yksityiskohtaisia tietoja. Laittehallinnan kautta pystytään luomaan myös skeemoja tai tapahtumia, joita määritellään jokaiselle yhdistetylle laitteelle erilaisilla säännöillä. Skeemoja voidaan määrittää laitteelle kuitenkin vain yksi.

Watson IoT:n tarjoamat tietokanta mahdollisuudet ovat erittäin laajat, ja tietokantoja voidaan sisällyttää kerralla useampia. IBM tarjoaa monia eri tietokantoja itse, ja näiden lisäksi on mahdollista käyttää myös kolmannen osapuolen tietokantoja. Alustassa on myös Historical Data Storage-lisäosa, jonka automaattisesti etsii ja määrittelee yhteensopivia palveluita, joiden avulla IoT-laitteen data tallennetaan.

Watson IoT:n prosessointi ja toimintojen hallinta mahdollisuudet eivät ole kovinkaan laajat. Alusta kyllä tarjoaa automatisaatiota varten työkalun, mutta se ei kykene kuin yksinkertaiseen toimintaan. Kun jokin sääntö tapahtuu, alusta lähettää tästä tiedon käyttäjälle tekstiviestillä tai sähköpostilla, mutta ei tarjoa minkäänlaista lokitietoa tai tarkempaa tapahtuman kuvausta. Tämä ratkaisu on pieni miinus muuten hyvässä ja toimivassa alustassa.

### **Microsoft Azure IoT Hub**

Microsoftin kehittämä Azure IoT Hub on pilvipohjainen alusta, joka mahdollistaa laajan hallittavuuden ja tietoturvallisen ympäristön miljoonien IoT-laitteiden ja eri tietoratkaisujen välillä. Microsoft lupaa alustan tarjoavan muun muassa luetettavan laitteiden ja pilvipalvelun välisen viestinnän, tietoturvallisen kommunikoinnin laitteilla ja laajan tuen erityyppisille laitteille. (Microsoft 2016.)

Microsoft Azure on ydin, jonka kautta eri resursseja pystytään luomaan ja ottamaan käyttöön. Tämän kautta voidaan luoda esimerkiksi erilaisia virtuaalikoneita ja SQL-servereitä ja sen kautta otetaan käyttöön myös Microsoftin IoT-alusta, Azure IoT Hub.

IoT Hub on liitettävyydeltään laaja. Se tukee monien eri laitteiden yhdistämistä jo valmiiksi, etenkin MQTT -ja AMQP -protokollaa käyttävien laitteiden, ja tarjoaa muille laitteille erilaisia kustomointi -työkaluja yhdistämistä varten. Watson IoT:n tapaan se ei vaadi paljoa ohjelmointiosaamista, ja eri ohjeiden ja dokumenttien avulla laitteiden yhdistäminen luonnistuu kokemattomammaltakin käyttäjältä.

Azure IoT Hubin käyttöliittymä on osittain toimiva, mutta osittain hieman hankala ja hidas. Kun valikosta valitaan haluttu ominaisuus, se aukeaa uuteen välilehteen. Tämä on hieman ongelmallinen ratkaisu, koska uudelta käyttäjältä menee jonkin aikaa tämän totutteluun. Virhepainalluksia tapahtuu, ja kaiken voi joutua aloittamaan uudelleen alusta, mikäli näin käy. Toisaalta, Microsoft tarjoaa laajat ohjedokumentit alustan ominaisuuksien löytämiselle ja käyttämiselle, ja alkukankeuden jälkeen alustan on käytettävyydeltään mieltäjämpi.

Laittehallinnan osalta Azure IoT Hub on erittäin laaja. Sen oma moduuli valvoo laajasti muun muassa laitteiden toimivuutta ja vakautta. Tämän lisäksi se ilmoittaa selkeillä lokitiedoilla käyttäjää asioista, jotka vaativat huomiota. Alusta myös säilöo laitteiden metatietoja, tageja ja liitettävyydetietoja omalla Device twin-ratkaisulla.

Tietokantojen osalta Azure IoT Hub on samantyylinen kuin Watson IoT. Azure käyttää omaa DocumentDB -tietokantaratkaisua, mutta sen päälle voidaan tuoda myös kolmannen osapuolen tietokantoja, niin rakenteellisia kuin ei-rakenteellisiakin. Watson IoT:n tapaan tämä on hyvä ja toimiva ratkaisu.

Azure IoT Hub on myös prosessoinnin ja toimintojen hallinnan puolesta toimiva. Se tarjoaa sääntöpohjaisen tapahtumalaukaisimen, ja Device Shadowing -moduulin. Tämän moduulin kautta voidaan luoda virtuaalisia versioita laitteista, ja käyttää niiden ominaisuuksia, vaikka ne eivät sillä hetkellä olisikaan verkossa. Tämä on ehkä suurin ero Watson IoT:hen, jossa prosessointi ja toimintojen hallinta eivät ole läheskään yhtä laajalla tasolla.

### **PTC Thingworx**

Thingworx on PTC:n kehittämä IoT-alusta. PTC:n kokonaisvaltainen IoT-ratkaisu koostuu Thingworxin lisäksi Axeda -ja Coldlight-lisäosista. Axeda pohjautuu pilvipalveluihin ja ohjelmistonhallintaan ja Coldlightin kautta hallitaan muun muassa erilaiset koneoppimiseen liittyvät toimet. Thingworx panostaa erityisesti sovellusten luontiin ja hallintaan. (PTC n.d.)

Liitettävyydeltä Thingworx on selvästi haastavampi kuin IBM:n ja Microsoftin IoT-alustat. Lukuisista yrityksistä huolimatta Thingsee One IoT-laitteen yhdistäminen ei onnistunut alustaan. Ongelmana on lähinnä se, että Thingworx vaatii selvästi enemmän ohjelmointiosaamista kuin tutkimuksessa aiemmin vertailut alustat. Thingworx tukee liitettävyyden osalta muun muassa MQTT -ja AMQP -protokollia, ja alustaa varten on runsaasti eri ohjedokumentteja. Liitettävyyden osalta alusta ei ole hyvä kokemattomalle käyttäjälle, mutta se ei silti tarkoita, että se olisi huono. Vaikea liitettävyys on kuitenkin selvä miinus, koska helpompia IoT-alustoja tämän osalta on olemassa.



Käyttöliittymältä Thingworx on selkeä ja toimiva. Se on jollakin tapaa samanlainen kuin Azure IoT Hub, mutta nopeampi käyttää. Sujuvan käyttöliittymän avulla ominaisuuksia on helppo löytää, ja runsaiden ohjeiden avulla käyttö helpottuu entisestään.

Laitehallinnan osalta Thingworx tarjoaa aiemmin vertailtujen alustojen tapaan melko laajat työkalut. Thingworx Utilities -moduulin avulla yhdistettyjä laitteita on helppo hallita, valvoa ja optimoida eri tarpeiden mukaan. Moduuli valvoo myös liitettävyyden laatua, ja ilmoittaa poikkeuksista käyttäjälle.

Erilaisien tietokantojen yhdistäminen Thingworxiin onnistuu Java Database Connectivity (JDBC) -työkalun avulla. Tietokannan tulee olla kuitenkin JDBC-yhteensopiva, joten Thingworxiin ei saa yhdistettyä niin laajasti eri tietokantoja kuin aiemmin vertailtuihin alustoihin.

Prosessointi ja toimintojen hallinta Thingworxissa tapahtuu Workflow Builder -moduulin kautta. Sen avulla voidaan nopeasti luoda automatisoituja ratkaisuja, jotka perustuvat tapahtumanlaukaisimiin. Tämä moduuli on samantyylinen kuin Azure IoT:ssa, ja on samaan tapaan selvästi laajempi kuin Watson IoT:n ratkaisu.

## 5.2 Vertailumatriisin laadinta

Tämän tutkimuksen käytännön osuuden tuloksia varten luotiin vertailumatriisi, jossa jokaisen vertailtavan alustan ominaisuudet listattiin, ja josta selviää ominaisuuksien laajuus ja niiden käytettävyys.

Alustojen ominaisuudet pisteytettiin asteikolla 1-5. Jos alustan ominaisuus ei ollut laaja, se sai pisteytyksestä vain yhden pisteen. Jos alustan ominaisuus oli laaja, se sai pisteytyksestä kolme pistettä. Jos taas alustan ominaisuus oli erittäin laaja, se sai pisteytyksestä korkeimman mahdollisen eli viisi pistettä. Mikäli alusta sai jostakin ominaisuudesta esimerkiksi kaksi pistettä, se tarkoittaa, että alustan ominaisuus ei aivan riittänyt kolmeen pisteeseen, mutta yksi piste olisi kuitenkin ollut liian vähän. Se siis sijoittui johonkin näiden välimaastoon. Vaikka pisteytyksessä puhutaan ominaisuuden laajuudesta, siihen sisältyy myös käytettävyys. Eli jos jonkin alustan ominaisuus on ollut erittäin laaja, mutta sitä oli vaikea käyttää, se ei saanut täysiä pisteitä, vaan pisteeksi tuli kolme tai neljä. Tämä sama päti myös toisinpäin. Valmis vertailumatriisi löytyy liitteenä työn lopusta.

## 6 TUTKIMUSTULOKSET JA YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa tutkittiin mitä tarkoitetaan termillä IoT, mitkä sen keskeiset hyödyt ovat, mistä eri teknologisista ratkaisuista se koostuu ja mitä ovat siihen liittyvät IoT-alustat.

Tutkimuksen toimeksiantajana toimi Hämeen Ammattikorkeakoulun Älykkäät palvelut -tutkimusyksikkö. Tavoitteena oli perehtyä kolmen eri palveluntarjoajan IoT-alustaan käyttämällä, tutkimalla ja vertailemalla niiden ominaisuuksia. Alustoista kahta toimeksiantaja oli jo aiemmin käyttänyt, mutta IBM:n Watson IoT oli täysin vieras alusta. Alustojen tutkittavissa ominaisuuksissa painotettiin erityisesti niiden perusominaisuuksia eli liitettävyyttä, käytettävyyttä, laitteenhallintaa, tietokantoja sekä prosessointia ja toimintojen hallintaa toimeksiantajan toiveiden mukaisesti. Alustojen ominaisuuksien eroista tehtiin kirjallisen vertailun lisäksi vertailumatriisi, jonka avulla erot saatiin selventäväksi taulukoksi. Jatkossa tätä vertailumatriisia voidaan käyttää muidenkin alustojen vertailussa, ja sitä voidaan laajentaa sen mukaan mitä ominaisuuksia on tarpeen verrata. Näin vertailumatriisista saadaan aina tilanteeseen sopiva.

Tutkimuksen päätulos oli se, että näistä kolmesta vertailtavasta alusta Microsoftin Azure IoT Hub on perusominaisuuksiltaan paras. Huomionarvoista on kuitenkin se, että erot kahteen toiseen vertailtuun alustaan, IBM:n Watson IoT:hen ja PTC:n Thingworxiin olivat suhteellisen pienet. Kokonaisuuteen vaikuttavat myös monet muut asiat, kuten hinnoittelu. Tärkein asia mitä alustoiden valinnassa tulee aina kuitenkin huomioida, on tarpeet, jota varten ne hankitaan.

Tutkimus eteni rajallisen aikataulun huomioon ottaen hyvin, ja oma suositukseni on, että Älykkäät palvelut -tutkimusyksikkö ottaisi IBM:n Watson IoT-alustan kokeiltavaksi. Se on kuitenkin perusominaisuuksiltaan varsin hyvä ja toimiva IoT-ratkaisu, ja vetää vertoja myös Microsoftin ja PTC:n alustoille.

Tämä tutkimus osoitti, että vaikka IoT-alustoiden perusominaisuuksien vertailu on hyvä lähtökohta, laajempi ominaisuuksien testaaminen ja vertailu ovat silti tarpeen. Tässä tutkimuksessa vertailuista perusominaisuuksista voi löytyä vielä lisää eroja, jotka eivät käyneet tässä työssä ilmi. Lisäksi niin sanottu täydellinen alusta rakentuu kahdeksasta eri komponentista, ja todennäköistä on, että kaikissa alustoissa nämä kahdeksan komponenttia eivät ole läheskään samalla tasolla.

Ominaisuuksien lisäksi olisi hyvä miettiä myös hinnoittelua ja tietoturvaa. Eri palveluntarjoajilla on varmasti erilaisia tapoja hinnoitella alustojaan ja tehdä niistä tietoturvallisia. Hinnoittelu voi olla esimerkiksi pilkottu eri osiin sen mukaan, mitä ominaisuuksia tarvitaan tai jaoteltu paketteihin,

joissa on huomioitu eri käyttäjäryhmien tarpeet, niin ominaisuuksien kuin tietoturvan osalta.

Kaiken kaikkiaan Internet of Things ja siihen liittyvät alustat ovat ilmiöitä, jotka toimivat digitaalisen kehityksen seuraavana suurena harppauksena. IoT ja niihin liittyvät alustat ovat hyvää vauhtia tulossa erityisesti yritysten suosioon, ja tämä ei ole mikään ihme. Parhaimmassa tapauksessa ne ovat suurimmat tekijät, jotka nostattavat yrityksen suosiota tällä neljännellä, laajalla digitalisaation vallankumouksen aikakaudella.

## LÄHTEET

- AMQP. Advanced Message Queing Protocol (n.d). Viitattu 4.2.2017.  
<https://www.amqp.org/>
- Arrow Finland Oy & MRK Funnel Oy (2015). IoT:n tila Suomessa - barometri. Viitattu 20.1.2017.  
<http://iot-finland.salescommunications.fi/iot-barometri>
- Cisco. Internet of Everything FAQ (n.d). Viitattu 18.1.2017.  
<http://ioeassessment.cisco.com/learn/ioe-faq>
- CoAP. Constrained Application Protocol (n.d). Viitattu 28.1.2017.  
<http://coap.technology/>
- Collin J., Saarelainen A. (2016). *Teollinen internet*. Helsinki: Talentum.
- DNA. M2M - Tehokas ratkaisu laitteiden etähallintaan ja valvontaan (n.d). Viitattu 18.1.2017.  
<https://www.dna.fi/yrityksille/tuotteet-ja-palvelut/yhteydet-ja-verkottamispalvelut/m2m-yritysluottamukset>
- Elinkeinoelämän tutkimuslaitos ETLA (2015). Suomalainen teollinen internet – haasteesta mahdollisuudeksi. Taustoittava kooste. 5.1.2015. Viitattu 21.1.2017.  
<https://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Raportit-Reports-42.pdf>
- Heikkinen, J. (2016). Parempi asiakaskokemus – Tiedon ja hyödyn vaihtokauppa. Kirjoitus blogissa 26.8.2016. Viitattu 20.1.2017.  
<https://www.solita.fi/blogit/parempi-asiakaskokemus-tiedon-ja-hyodyin-vaihtokauppa/>
- Hellsten P. & Jussila J. (2015). Tutustuminen data-analytiikan ja big datan maailmaan. Luentomateriaali 5.12.2015, Tampereen Teknillinen Yliopisto. Viitattu 26.1.2017.  
<http://www.slideshare.net/jjussila/tutustuminen-dataanalytiikan-ja-big-datan-maailmaan>
- Hirsijärvi S., Remes P. & Sajavaara P. (2013). *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Tammi.
- Hämeen ammattikorkeakoulu (n.d). Viitattu 18.1.2017.  
<http://www.hamk.fi/tyoelamalle/tutkimusyksikot/alykkaat-palvelut/Sivut/default.aspx>
- IBM. What is Bluemix (n.d). Viitattu 10.2.2017.  
<https://www.ibm.com/cloud-computing/bluemix/what-is-bluemix>

IoT Analytics (2015). IoT Platforms – The central backbone for the Internet of Things. White paper 11/2015. Viitattu 4.2.2017.  
<http://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2016/01/White-paper-IoT-platforms-The-central-backbone-for-the-Internet-of-Things-Nov-2015-vfi5.pdf>

IoT Analytics (2016). 5 Things To Know About The IoT Platform Ecosystem. Kirjoitus blogissa 26.1.2016. Viitattu 1.2.2017.  
<https://iot-analytics.com/5-things-know-about-iot-platform/>

Kannisto, A. (2016). Teollisen internetin ABC. Kirjoitus blogissa 28.1.2016. Viitattu 18.1.2017.  
<http://www.alykassuomi.fi/2016/01/teollisen-internetin-abc/>

Lehtiniemi, J. (2015). Esineitä internetissä. Kirjoitus blogissa 7.4.2015. Viitattu 18.1.2017.  
<http://blog.appelsiini.fi/2015/04/07/esineita-internetissa/>

Machina Research (2014). Why NoSQL databases are needed for the Internet of Things. Tutkimusmuistio. 10.4.2014. Viitattu 25.1.2017.  
[http://road2cps.eu/events/wp-content/uploads/2015/06/2014-04-10\\_machina\\_research\\_databases\\_and\\_the\\_iiot.pdf](http://road2cps.eu/events/wp-content/uploads/2015/06/2014-04-10_machina_research_databases_and_the_iiot.pdf)

Microsoft (2016). Get started with Azure IoT Hub. Dokumentointi 15.12.2016. Viitattu 12.2.2017.  
<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-hub-csharp-csharp-getstarted>

MQTT. Message Queue Telemetry Transport (n.d). Viitattu 28.1.2017.  
<http://mqtt.org/>

PTC. IoT Solutions (n.d). Viitattu 14.2.2017.  
<http://www.ptc.com/internet-of-things/solutions>

Uusitalo, I. (2016). Osallistuuko jääkaappisi verkkohyökkäykseen? Varmista IoT-laitteiden tietoturva! Kirjoitus blogissa 8.12.2016. Viitattu 28.1.2017.  
<https://www.solita.fi/blogit/varmista-iiot-laitteiden-tietoturva/>

Vieno, J. (2015). Teollinen internet ja tietoturva. Kirjoitus blogissa 1.12.2015. Viitattu 28.1.2017.  
<http://www.v-tek.fi/blogi/iiot-security/>

Viinikkala M. (2016). IoT - Katsaus esineiden internetiin. Kirjoitus blogissa 21.12.2016. Viitattu 20.1.2017.  
<https://www.mystes.fi/iiot-katsaus-esineiden-internetiin/>

XMPP. Extensible Messaging and Presence Protocol (n.d). Viitattu  
4.2.2017.  
<https://xmpp.org/>

## VERTAILUMATRIISI

Ominaisuudet	IBM Watson IoT & Bluemix	Microsoft Azure IoT Hub	PTC Thingworx
Liitettävyys	4	4	3
Käyttöliittymä	4	3	4
Laitehallinta	3	5	4
Tietokannat	5	5	3
Prosessointi ja toimintojen hallinta	2	4	4
Yhteensä	18	21	18

**Pisteytyksen selitys**

1 = Ominaisuus ei ole laaja

3 = Ominaisuus on laaja

5 = Ominaisuus on erittäin laaja