



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Artturi Mård

---

# IoT-alustojen teknisten ja taloudellisten ominaisuuksien selvitys pk-teollisuuden tarpeisiin

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Artturi Mård

Työn nimi: IoT-alustojen teknisten ja taloudellisten ominaisuuksien selvitys pk-teollisuuden tarpeisiin

Ohjaaja: Juha Yli-Hemminki

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 47

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Wirokit Oy. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia IoT-alustojen kustannuksia sekä alustojen ominaisuuksia ja selvittää niiden vaatimuksia ja käytettävyyttä pk-teollisuuden näkökulmasta. Tavoitteena oli myös selvittää ThingsBoard-nimisen IoT-alustan ylläpitovaatimuksia ja ylläpidon kustannuksia erikseen.

Teoriaosiossa käsitellään teollisen internetin määritelmää, teollisen internetin pilvialustojen ominaisuuksia, datan hyödyntämistä teollisessa internetissä sekä teollisen internetin yleisimpiä käytössä olevia kommunikaatioprotokollia.

Työssä tutustuttiin viiteen IoT-alustaan: AWS IoT, Google Cloud IoT, Microsoft Azure IoT, Kaa IoT ja ThingsBoard. Toteutuksessa perehdyttiin näiden alustojen hinnoittelumalleihin ja yritettiin verrata alustojen hinnoitteluja viestien määrään perustuen. Lisäksi selvitettiin alustojen teollisuuskäytössä vaadittuja seikkoja, kuten datan prosessointia ja visualisointia tai käyttäjän hallintaa. Näitä ominaisuuksia tutkittiin työhön valituissa alustoissa. Alustojen funktionaalisia ominaisuuksia tutkittiin vertailutaulukolla.

Lopputuloksena soveltuvimmaksi kokonaisuudeksi hinnoittelun ennustettavuuden sekä alustan käytettävyyden ja soveltuvuuden pk-teollisuuden käyttöön päätyi ThingsBoard IoT alusta, jonka ylläpito-ominaisuuksia ja kustannuksia tutkittiin erikseen.

<sup>1</sup> Asiasanat: IoT, pilvipalvelut, teollinen internet, esineiden internet, MQTT, ThingsBoard

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author: Artturi Mård

Title of thesis: Evaluating the Functional Features and Costs of IoT-platforms for Small and Medium-sized Enterprises.

Supervisor: Juha Yli-Hemminki

Year: 2021

Number of pages: 47

---

The thesis was made for Wirokit Oy. The purpose of the thesis was to evaluate the features of IoT platforms suitable for small and medium-sized industrial enterprises and to compare and review the costs and functional features of different IoT-platforms. Another purpose was to review separately the hosting options and costs of a self-hosting open-source ThingsBoard IoT-platform.

First theory related to the topic was studied. Attention was paid to the definition of internet of things, features of IIoT-platforms, utilisation of IoT-data and the most common protocols used in IIoT.

The thesis studied five different IoT-platforms, AWS IoT, Google Cloud IoT, Microsoft Azure IoT, Kaa IoT and ThingsBoard. In the thesis the pricing models of the platforms were investigated and compared based on the number of messages. Thesis also investigated different kinds of features required from industrial IoT-platform, for example data processing and visualisation. Attention was paid to these features when comparing the IoT-platforms of the thesis. The thesis also studied the ThingsBoard self-hosting option analysing its hosting features and costs.

As the result, the conclusion was that when focusing on the defined features within the selection of platforms in this thesis, ThingsBoard was the most viable option for an IoT-platform for small and medium-sized industrial enterprises. ThingsBoard had the best usability and the simplest pricing model.

<sup>1</sup> Keywords: IoT, Cloud platforms, Internet of things, Industrial Internet of Things, MQTT, ThingsBoard

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	1
Thesis abstract .....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuvaluettelo .....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	6
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Opinnäytetyön taustaa.....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne .....	8
1.4 Wirokit Oy.....	9
2 TEOLLINEN INTERNET .....	10
2.1 Esineiden- ja teollisuuden internet.....	10
2.2 IoT-alustat .....	11
2.3 Datan hyödyntäminen.....	12
2.4 Tietoturva .....	12
2.5 Yleisimmät protokollat teollisen internetin käytössä .....	13
2.5.1 MQTT .....	13
2.5.2 HTTP / HTTPS.....	14
2.5.3 CoAP .....	14
2.5.4 OPC UA.....	15
2.6 Pk-teollisuus.....	15
3 TEOLLISEN INTERNETIN ALUSTOJEN ESITTELY JA VERTAILUN TOTEUTUS.....	16
3.1 Vertailun toteutus .....	16
3.2 Alustojen tutkittavien ominaisuuksien määrittely.....	16
3.3 Alustojen valinta selvitykseen .....	17
3.4 Teollisen internetin IoT-alustoja.....	17
3.4.1 ThingsBoard .....	17
3.4.2 Microsoft Azure IoT.....	18
3.4.3 Amazon AWS IoT .....	18

3.4.4	Google Cloud IoT.....	19
3.4.5	Kaa IoT Platform.....	20
4	ALUSTOJEN KUSTANNUSTEN VERTAILU.....	21
4.1	Azure IoT Hub.....	21
4.2	Azure IoT Central.....	21
4.3	Amazon AWS IoT Core.....	22
4.4	Kaa IoT.....	22
4.5	ThingsBoard.....	23
4.6	Google Cloud IoT.....	23
4.7	Alustojen muut kustannukset.....	23
4.8	Yhteenveto kustannuksista.....	24
5	ALUSTOJEN OMINASUUKSIEN VERTAILU.....	26
5.1	Käyttöliittymä ja visualisointi.....	26
5.1.1	ThingsBoard.....	26
5.1.2	Azure IoT Central.....	27
5.1.3	Kaa IoT Platform.....	28
5.1.4	Azure IoT.....	29
5.1.5	Amazon AWS IoT.....	29
5.1.6	Google Cloud IoT.....	29
5.2	Käyttäjätasot.....	30
5.3	Säännöt ja hälytykset.....	30
5.4	Teknisten ominaisuuksien vertailu.....	32
6	THINGSBOARD-ALUSTAN YLLÄPITO PILVIPALVELUSSA.....	34
6.1	Monoliittinen ja mikropalveluarkkitehtuuri.....	35
6.2	Yhden ja usean palvelimen ratkaisu.....	36
6.3	Hinnoittelu.....	37
7	TULOKSET.....	40
8	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	42
	LÄHTEET.....	44

## Kuvaluettelo

Kuva 1. IoT -alustan keskeisimmät kahdeksan ominaisuutta (Pohjautuen iot-analytics.com 2016).....	11
Kuva 2. Google Cloud Platform -arkkitehtuuri (Soveltaen Google Cloud, [viitattu 19.5.2021]).....	19
Kuva 3. IoT-alustojen kustannusten vertailu. Huomaa logaritminen hinnan muutos.....	25
Kuva 4. Esimerkki ThingsBoard käyttöliittymästä (The ThingsBoard authors 19.5.2021) .	27
Kuva 5. Esimerkki Azure IoT Centralin käyttöliittymästä (Microsoft 12.11.2020). ....	28
Kuva 6. IoT Central mahdollistaa myös Azuren ulkoisten IoT-komponenttien käytön (Microsoft 9.4.2021).....	31
Kuva 7. Alustojen teknisiä ominaisuuksia. ....	33
Kuva 8. Thingsboard yhden serverin ja erillisen tietokannan ratkaisu. (Soveltaen The thingsBoard Authors, [viitattu 15.5.2021]).....	36
Kuva 9. Thingsboardin klusteriasennusratkaisu (Soveltaen The ThingsBoard authors, [viitattu 15.5.2021]). ....	37
Kuva 10. ThingsBoard Community edition -ylläpitokustannuksia eri pilvipalveluissa. ....	39

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>IoT</b>	Internet of Things, esineiden internet.
<b>IIoT</b>	Industrial Internet of Things, teollinen internet.
<b>MQTT</b>	Message Queing Telemetry Transport, esineiden internetissä käytetty viestintäprotokolla.
<b>HTTP</b>	HyperText Transport Protocol, tietoliikenneprotokolla.
<b>TLS</b>	Transport Layer Security, Tietoliikenteen salausprotokolla.
<b>CoAP</b>	Constrained Application Protocol, sovelluskerroksen tiedonsiirto-protokolla.
<b>OPC UA</b>	OPC Unified Architecture, OPC Foundationin luoma teollisuuden tietoliikenneprotokolla.
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol, kuljetuskerroksen protokolla.
<b>PaaS</b>	Platform as a service, palvelumalli, jossa tarjotaan alusta palveluna.
<b>SaaS</b>	Software as a service, palvelumalli, jossa tarjotaan sovellus palveluna.
<b>DNS</b>	Domain Name System, internetin nimipalvelujärjestelmä.
<b>M2M</b>	Machine-To-Machine, koneiden välinen viestintä.
<b>Yleisrasite</b>	Over-head, tiedonsiirto-protokollan tiedonsiirron vaatima data, jolla ei ole osuutta lähetettävään viestiin.
<b>BI-työkalut</b>	Business Intelligence, työkaluja tai sovelluksia, joilla voidaan esimerkiksi hallinnoida, visualisoida tai raportoida liikeyrityksestä syntyvää dataa.

<b>Docker</b>	Sovellus, jolla voidaan pakata sovelluksia ja niiden riippuvuuksia säiliöihin.
<b>Säiliöinti</b>	Container, Esimerkiksi Dockerilla toteutettu sovelluksen ja sen riippuvuuksien paketointi omaksi ympäristöksi.
<b>Kojelauta</b>	Dashboard, IoT-alustoissa oleva työkalu datan visualisoinnille ja sen esittämiselle.



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön taustaa

Teollinen internet on ollut esillä viimeisen vuosikymmenen ja se on saanut koko ajan lisää huomiota. Teollinen internet on muuttamassa yritysmaailmaa ja tuonut painetta niin järjestelmien suunnittelijoille kuin käyttäjille kehittää ja oppia uutta sekä laajentaa osaamisaluettaan. Opinnäytetyön toimeksiantaja Wirokit Oy on selvittämässä yhteistyössä Caplan Oy:n kanssa mahdollisuuksia laajentaa yritystään teollisen internetin alueelle erilaisiin tuote- ja palvelukehityshankkeisiin pk-teollisuuteen. Tämä on tuonut tarvetta selvittää tarjolla olevien alustojen, järjestelmien ja ratkaisujen teknisiä ja kaupallisia ominaisuuksia sekä niiden soveltuvuutta yrityksen liiketoimintatarpeisiin. Opinnäytetyössä on ollut mukana myös insinööritoimisto Caplan Oy, jonka projektien avulla pystyttiin arvioimaan pk-teollisuuden automaattoratkaisujen tarpeita IoT-alustaratkaisuissa.

## 1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa erilaisia IoT-alustavaihtoehtoja sekä selvittää keinoja alustojen vertailuun keskenään, löytää pk-teollisuuden vaatimukset IoT-alustalle ja tutkia alustojen ominaisuuksien sekä toiminnallisuuksien soveltuvuutta pk-teollisuuden automaattoratkaisuihin. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Wirokit Oy:lle pk-teollisuuden IoT-ratkaisuihin soveltuvia pilvialustoja.

## 1.3 Työn rakenne

Ensimmäisessä luvussa kerrotaan työn taustasta ja tavoitteista sekä opinnäytetyön rakenteesta ja esitellään työn toimeksiantaja.

Työn toisessa luvussa kerrotaan teoriaa teollisesta internetistä, sen termeistä ja yleisimmin käytössä olevista protokollista sekä selvennetään pk-teollisuuden merkitystä.

Kolmannessa luvussa käsitellään erilaisia IoT-alustoja ja vertailun toteutusta sekä kartoitetaan alustojen oleellisia seikkoja.

Luvussa 4 vertaillaan alustojen hinnoittelua, avataan alustojen hinnoittelujen malleja, tehdään yhteenveto kustannusten vertailusta sekä pohditaan mahdollisia kustannuksia, joita ei voitu huomioida vertailussa.

Luvussa 5 tutkitaan alustojen ominaisuuksia pk-teollisuuden näkökulmasta sekä muodostetaan vertailutaulukko alustojen teknisistä ominaisuuksista.

Luvussa 6 tutkitaan ThingsBoard-alustan vaatimuksia itse ylläpidettynä sekä alustan ylläpitämisen hinnoittelua ja mahdollisuuksia eri pilvipalveluissa.

Luvussa 7 kerrotaan työn etenemisestä sekä käydään läpi tämän työn tulokset.

Viimeisessä luvussa käydään läpi työn yhteenveto ja pohditaan tuloksien hyödyntämistä.

#### **1.4 Wirokit Oy**

Wirokit Oy on Seinäjoella sijaitseva tietoliikenneverkkojen järjestelmiin ja niiden testaamiseen ja kehittämiseen keskittynyt suomalainen osakeyhtiö (Wirokit Oy 2020). Wirokit Oy on henkilöstökooltaan 15 hengen kokoinen yritys, joka on perustettu vuonna 2018 ja liikevaihto vuoden 2019 tilikautena oli 1 328 000 euroa (Kauppalehti 1.12.2019).

## 2 TEOLLINEN INTERNET

### 2.1 Esineiden- ja teollisuuden internet

Sensorien ja antureiden kustannukset ovat alentuneet ja langattomien verkkojen teknologia on kehittynyt merkittävästi. Tämä on mahdollistanut, että suuri määrä laitteiden keräämää tietoa voidaan koota pilveen. Elektroniikan ja sähköisten laitteiden yhdistäminen internetiin on tuonut mukanaan uusia mahdollisuuksia kuten älykkäitä kaupunkeja tai kerättyyn dataan perustuvaa ennakoivaa ylläpitoa tehtaaseen. Tästä ilmiöstä puhutaan myös nimellä esineiden internet (IoT). (Collin & Saarelainen 2016, 29–35.)

Esineiden internet on yksi merkittävimmistä kehittyvistä teknologioista. Lyhyesti esineiden internet tuo fyysisen maailman digitaaliseen muotoon. IoT on jo iso osa nykypäivän arkea esimerkiksi älykellojen ja älypuhelimien muodossa. Esineiden internetin tuotteet sekä digitaaliset palvelut mahdollistavat tuottavuuden lisääntymisen sekä uusien yritysten ja työpaikkojen syntymisen. (Geng 2017, 4–6.)

Esineiden internetin alakategoriana voidaan nähdä teollinen internet. Teollinen internet on teollisessa käytössä oleva esineiden internet. Teollisesta internetistä käytetään myös termiä IIoT (Industrial Internet of Things). Lisäksi teollisen internetin yhteydessä kuulee myös puhuttavan termistä Industrial 4.0, joka viittaa teollisen internetin aikakauteen. Teollisella internetillä tarkoitetaan laitteiden, tuotantoprosessin ja niiden tuottaman datan liittämistä internetiin. Teollinen internet ei välttämättä sisälly pelkästään tuotantolaitoksiin ja tehtaisiin, vaan teolliseen internetiin voi sisältyä myös esimerkiksi logistiikan seuranta tai datan kerääminen valmiista tuotteista. Vaikka laitteiston ja tuotannon etävalvontaa on ollut olemassa jo kauan teollisen intranetin muodossa, teollisessa internetissä keskeisempänä osana on kyse datan keräämisestä keskitettyyn palveluun, sen analysoimisesta sekä datan hyödyntämisestä. (Collin & Saarelainen 2016, 29–35.)

Teollisen internetin tuomia rakennuspalikoita teollisuuteen ovat koneiden välinen viestintä eli M2M-viestintä, Big Data -analysointi tai koneoppimisen hyödyntäminen (Buyya & Dastjerdi 2016, 5–6). Teollisen internetin hyödyt on otettu käyttöön jo monilla isoilla

teollisuuden aloilla, kuten energiateollisuudessa, valmistavassa teollisuudessa, kaasu ja öljyteollisuudessa sekä metallin jalostuksessa (Cirani ym. 2019, 6).

## 2.2 IoT-alustat

IoT-alusta on usein pilvessä toimiva palvelu, joka mahdollistaa esineiden internetin kenttälaitteiden kuten antureiden yhteyden internetiin, laitteiden hallinnan ja datavirran käsittelyyn. Muita keskeisiä ominaisuuksia IoT-alustoille ovat tietoturvan hallinta, tunnistautuminen ja käyttäjätasojen hallinta, raportointi sekä datan analysointi. Lisäksi etenkin teollisuuden sovellutuksissa IoT-alustan tärkeitä ominaisuuksia ovat datan perusteella tapahtuvat toimet, visualisointi ja käyttöliittymä loppukäyttäjälle. (Collin & Saarelainen 2016, 227–232.)

Esineiden internetin alustoille ei kuitenkaan ole vakiintunut mitään yksittäistä käsitettä eikä sille ole määritelty standardia, vaan eri palveluntarjoajat ovat muodostaneet oman näkemyksensä. Alustojen erot vaihtelevat pääosin sen mukaan, mihin tarkoitukseen alusta on suunniteltu. Osa alustoista on suuntautunut esimerkiksi teollisuuden tarpeisiin ja toiset kuluttajien IoT-tuotteiden hallintaan. Osa yrittää luoda yleistä kokonaisuutta, joka sopisi kaikkiin ratkaisuihin. Alustat voidaan jaotella myös avoimen lähdekoodin ja suljettuihin ratkaisuihin. (Collin & Saarelainen 2016, 228–229.)

Kuvassa 1 on esimerkki IoT-alustan kahdeksasta keskeisimmästä ominaisuudesta järjestettynä alustalta vaadittavien ominaisuuksien tärkeysjärjestykseen. Eri sovellutuksissa voi kuitenkin olla erilaiset vaatimukset alustan tarpeille.

3. Tietokanta	8. Ulkoiset työkalut	
	6. Analytiikka	7. Muut työkalut
	5. Datan visualisointi	
	4. Prosessointi ja toimintojen hallinta	
	2. Laittehallinta	
	1. Liitettävyys ja normalisointi	

Kuva 1. IoT -alustan keskeisimmät kahdeksan ominaisuutta (Pohjautuen [iot-analytics.com](http://iot-analytics.com) 2016).

## 2.3 Datan hyödyntäminen

Ratkaisujen ja toimintojen teko kerätyn datan perusteella on yksi teollisen internetin tunnusmerkeistä. Analytiikan avulla yritys pystyy tekemään päätöksiä paremmin ja nopeammin. Yksinkertaisimmillaan voidaan ohjelmoida toimintoja suoraan perustuen kerättyyn dataan, esimerkiksi lämpötila-anturin saavuttaessa tietyn raja-arvon, voidaan lähettää hälytys vaikkapa käyttäjän puhelimeen tai sähköpostiin. Tämä kuitenkin vaatii manuaalista työtä ja ymmärrystä prosessista ja datasta. Seuraava taso on datan analytiikka, joka pystyy monimutkaisempiin sääntöihin datan perusteella. Datan analytiikkaa voidaan ajatella matemaattisina algoritmeina, joilla pyritään automatisoimaan datan tulkinta. Nykyisin koneoppiminen on tuonut mahdollisuuden ennustaa tietokantoihin varastoidun datan avulla tulevaisuuden tapahtumia historiallisen datan perusteella. Koneoppimisen tuottaman analytiikan avulla voidaan esimerkiksi ennustaa koneiden tai osien käyttöikää tai niiden hajoamista. (Collin & Saarelainen 2016, 209–211.)

Visualisointi on myös tärkeä osa esineiden internetiä ja datan hyödyntämistä. Ihmiselle on huomattavasti helpompi ymmärtää analytiikan tuloksia ja dataa, kun se on oikein visualisoitu. Visualisointi voi olla osa IoT-alustan käyttöliittymää, tai se voidaan tehdä esimerkiksi hyödyntämällä BI-työkaluja, joissa on valmiiksi hyvät datan visualisointimahdollisuudet liiketoimintakäyttöön, ja joita yrityksillä saattaa jo ennestään olla käytössä. Digitaalinen kaksonen on myös yksi mahdollinen esineiden internetin visualisointitapa. Digitaalisen kaksonen idea on luoda fyysisestä laitteesta 3D-malli, jota päivitetään oikean mallin mukaisesti sensorien avulla. Tämä mahdollistaa esimerkiksi koneen kulumisen tutkimisen visuaalisin keinoin 3D-mallista. (Collin & Saarelainen 2016, 214.)

## 2.4 Tietoturva

Esineiden internetissä sekä teollisessa internetissä on samat tietoturvaa koskevat säännöt kuin muussakin tietoturvassa. IoT-alustaa toteutettaessa tulee pohtia tietoturvaa koskevia kysymyksiä, kuten onko kaksisuuntainen yhteys laitteiden välillä tarpeellinen, vai riittääkö pelkkä datan siirto verkkoon. Kaksisuuntainen yhteys voidaan toteuttaa myös vain tarpeen

vaatiessa. Vaikka eletään teollisen internetin aikakaudella, niin tulee edelleen pohtia, onko kaikkia järjestelmiä syytä avata verkkoon. (Collin & Saarelainen 2016, 245–246.)

Järjestelmää suunniteltaessa tärkeää on tiedostaa mahdolliset uhat, joille järjestelmä on alttiina. Järjestelmän laitteet, yhteydet, protokollat tai tietokannat tulee arvioida tietoturvan kannalta. IIoT-ratkaisua kehittäessä päällimmäiset kysymykset ovat: mitä riskejä IoT-järjestelmä tuo nykyiseen järjestelmään, kuinka sensitiivinen data suojataan ja miten data on eritelty eri asiakkaiden ja käyttäjien välillä. (Nath, Stackowiak, & Romano 2017, 208.)

Tietoturvan uhista suuri osa voidaan välttää käyttämällä pelkästään luotettavien toimittajien laitteita ja sovelluksia sekä käyttämällä turvallisia kommunikaatioprotokollia ja salattuja yhteyksiä. Lisäksi käyttäjätasot ja salasana ovat tärkeä osa tietoturvaa sekä tietosuojaa, joka tarkoittaa, että dataan pääsee käsiksi ainoastaan henkilöt, joille se on sallittu. Edellä mainituilla tietoturvatoimenpiteillä pyritään saamaan aikaiseksi datan mahdollisen peukaloinnin esto siirron aikana ja datan todentaminen alkuperäiseksi sekä datan lähettäjän verifiointi ja datan vastaanottajan väärentämisen esto. (Cirani ym. 2019, 192–193.)

Nykyisessä IP-arkkitehtuurissa datan kuljetus voidaan suojata TLS-protokollan (Transport Layer Security) avulla (Cirani, ym. 2019, 199).

## **2.5 Yleisimmät protokollat teollisen internetin käytössä**

### **2.5.1 MQTT**

MQTT-protokollasta on kehittynyt yksi tämän hetken käytetyimmistä protokollista IoT-sovellutuksien yhteydessä (Mishra & Kertesz 2020, 1–2). MQTT on alun perin IBM:n kehittämä avoin M2M (machine-to-machine) -viestintäprotokolla, jonka myöhemmin vuonna 2013 OASIS standardoi versiossa MQTT 3.1.1. MQTT liikennöi verkossa TCP-protokollalla ja toimii yksinkertaisella tilaaja/julkaisija -periaatteella. (Watts 2016, 5.)

MQTT-viestintä on luokiteltu kolmeen QoS (Quality of service) -luokkaan viestinnän laatutason mukaan nollassa kahteen. Alhaisimmassa nollassa viestin perillemenoa ei varmisteta, tasossa yksi viestin perille meneminen varmistetaan, mutta viestillä on

mahdollisuus esiintyä useasti. Viimeisessä tasossa viestin perillemeno varmistetaan ja huolehditaan, että se tapahtuu vain kerran. (Watts 2016, 6.)

MQTT-protokollan heikkoutena on sen salauksen puuttuminen, mutta tämä ongelma on kierrettävissä. Yksi vaihtoehto on käyttää MQTT-protokollaa VPN-tunnelissa. Toinen mahdollisuus on käyttää TCP-protokollan TLS/SSL-salausta, jonka yli MQTT toimii. (Collin & Saarelainen 2016, 187–188.)

Vähemmän yleinen MQTT-SN on jatkoa MQTT-protokollalle ja on suunniteltu sulautetuille järjestelmille, jotka käyttävät muuta kuin TCP-protokollaa kommunikaatiossa. MQTT-SN-protokollaa ei olla vielä suuresti otettu käyttöön. (Watts 2016, 6.)

## 2.5.2 HTTP / HTTPS

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) on tunnetuin sovelluskerroksen protokolla. HTTP on tekstipohjainen request/response-protokolla, joka toimii asiakas ja palvelin -mallilla TCP-protokollan yli. (Cirani ym. 2019, 21–22.)

HTTP-protokollan ongelmana IoT-järjestelmien tiedonsiirrossa on suuri yleisrasitteen määrä. Tämä voi koitua ongelmaksi IoT-sovellutuksissa, joissa useita laitteita lähettää tiheällä tahdilla suuren määrän pienikokoisia viestejä, jolloin suuri yleisrasite kuluttaa turhaan niin tietoliikennettä kuin energiaa pienivirtaisissa IoT-laitteissa. (Cirani ym. 2019, 21–22.)

HTTPS on TLS/SSL-salattu versio HTTP-protokollasta. Nykyisin HTTPS toimii lähes kaikkien verkkosivujen internetprotokollana, vaikka verkkosivuilla ei liikkuisi sensitiivistä dataa. (Cloudflare, [viitattu: 19.5.2021].)

## 2.5.3 CoAP

CoAP (Constrained Application Protocol) on sovelluskerroksen tiedonsiirtoprotokolla, joka perustuu HTTP RESTful-arkkitehtuuriin. MQTT-protokollasta eroten, CoAP käyttää asiakas ja palvelin -mallia. (Watts 2016, 7.)

CoAP-pääte on asiakas, joka lähettää pyyntöjä palvelimelle, jolloin palvelin lähettää vastaukset. Etuna CoAP-protokollassa on sisäänrakennettu DTLS-tietoturva. (Collin & Saarelainen 2016, 187.)

CoAP eroaa HTTP-protokollasta käyttämällä UDP:tä TCP:n sijaan kuljetuskerroksen protokollana, näin päästään eroon yhteyksien ylläpitämisen ja muodostamisen taakasta. CoAP käyttää binääristä formaattia eroten HTTP-protokollan tekstipohjaisesta formaatista vähentäen yleisrasitetta. (Cirani ym. 2019, 76–77.)

#### **2.5.4 OPC UA**

OPC UA on lähtökohtaisesti protokolla ja myös arkkitehtuuri M2M-viestintään. Se käyttää binaarista ja erillistä SOAP-protokollaa kuljetuskerrokseen ja web-palveluille. (Collin & Saarelainen 2016, 189.)

OPC UA (Unified Architecture) on teollisuusautomaatiokäyttöön suunniteltu protokolla ja mahdollistaa ”plug-and-play” M2M-kommunikaation tehtaiden sisällä (Cirani ym. 2019, 36–37).

OPC UA on tietoturvasoltaan moderni ja se keskustelee ainoastaan laitekohtaisesti sertifioitujen laitteiden kanssa (Collin & Saarelainen 2016, 246).

### **2.6 Pk-teollisuus**

Pk-teollisuus eli pienen ja keskisuuren luokan teollisuuden määrittelyä on yritykset, joiden työntekijöiden määrä on vähemmän kuin 250, ja jonka liikevaihto on enintään 50 miljoonaa euroa vuodessa tai tase 43 miljoonaa euroa. Pk-yrityksen määrittelyyn kuuluu myös, että yrityksen tulee olla riippumaton. Riippumattomuus tarkoittaa sellaista yritystä, jonka osakkeiden omistuksesta yli 25 prosenttia ei ole sellaisilla yrityksillä, jotka eivät sovi pk-yrityksen määritelmään. (Tilastokeskus, [viitattu 22.5.2021].)



### **3 TEOLLISEN INTERNETIN ALUSTOJEN ESITTELY JA VERTAILUN TOTEUTUS**

#### **3.1 Vertailun toteutus**

Alustojen vertailu toteutettiin määrittelemällä keskeisimmät seikat pk-teollisuuden vaatimista IoT-alustan ominaisuuksista. Ennen alustojen vertailua tutustuttiin saatavilla olevien IoT-alustojen ominaisuuksiin, jotta saataisiin kokonaiskuva vertailtavissa olevista ominaisuuksista. Ongelmaksi muodostui kaupallisten alustojen hankala kustannustietojen sekä muiden ominaisuustietojen saatavuus sekä IoT-alustan määritelmän hajanaisuus. Vertailuun pyrittiin valitsemaan IoT-alustat, jotka sopisivat laajasti teollisuuden tarpeisiin. Vertailua tehtiin siis jonkin verran jo työn ulkopuolella, soveltuvia alustoja etsittäessä. Alustojen kustannusten ja kustannusten ennustettavuuden vertailu osoittautui liian monimutkaiseksi, jotta se olisi voitu liittää osaksi vertailutaulukkoa, joten se toteutettiin erillisenä osionaan. Hintojen vertailu toteutettiin tutustumalla erikseen jokaisen alustan hinnoittelumalliin ja laskemalla niitä Excel-tilukolla datamäärän perusteella.

Alustojen teknisten ominaisuuksien vertailu oli aluksi tarkoitus toteuttaa vertailutaulukolla, joka sisältäisi pisteytysjärjestelmän. Tämä kuitenkin osoittautui hankalaksi toteuttaa johtuen alustojen suuresta vaihtelevuudesta ja pisteytyksen määrittelyn hankaluudesta. Alustojen vertailussa alustojen ominaisuuksia vertailtiin lähinnä oman käyttökokemuksen pohjalta, alustan käyttöliittymän, sääntöjen asettamisen ja datan analysointimahdollisuuksien osalta eikä varsinaista vertailu- tai pisteytysmenetelmää käytetty. Teknisistä ominaisuuksista päädyttiin rakentamaan vertailutaulukko, joka sisältää pelkästään alustojen teknisiä ominaisuuksia, koska tämä todettiin selkeämmäksi tavaksi.

#### **3.2 Alustojen tutkittavien ominaisuuksien määrittely**

Alustan vaatimukset muodostettiin yhteistyössä Wirokit Oy:n ja Caplan Oy:n kanssa, joiden valmiiden yrityshaastattelujen ja pk-teollisuuden automaatioprojektien avulla sekä itse pohtien selvitettiin teollisuuden IoT-alustaa koskevat keskeisimmät ominaisuudet. Ominaisuudet, joiden pohjalta IoT-alustoja lähdettiin tutkimaan, ovat:

1. kustannukset
2. käyttöliittymä
3. käyttäjätasot
4. säännöt, hälytykset
5. tekniset ominaisuudet

### **3.3 Alustojen valinta selvitykseen**

Etsittäessä pk-teollisuuden tarpeisiin sopivaa teollisen internetin pilvialustaa kustannukset muodostuvat yhdeksi isoimmista alustoja rajaavista tekijöistä. Koska hinnoittelu ja sen ennustettavuus oli yksi vertailtavista ominaisuuksista, alustat, joiden hinnoittelusta ei löytynyt tietoa, sekä sellaiset alustat, joiden kustannukset olivat selvästi liian korkeat, jätettiin pois vertailuista. Avoimen lähdekoodin alustoista suuri osa oli rajoittunut tiettyyn osa-alueeseen, kuten kotiautomaatioon, kaupunkiautomaatioon tai säädatan sovellutuksiin jäivät teollisuuden tarpeiden ulkopuolelle, jolloin ne karsittiin pois tästä vertailusta.

Vertailuun päätyivät ThingsBoard, Microsoft Azuren IoT-palvelut, joista erillisenä Azure IoT Central, AWS IoT Core, Google Cloud IoT ja Kaa IoT. ThingsBoardin ylläpitomahdollisuuksia eri pilvipalveluissa päädyttiin tutkimaan erikseen.

### **3.4 Teollisen internetin IoT-alustoja**

Tässä osiossa esitellään Google Cloudin, Microsoft Azuren, Amazon AWS:n, ThingsBoardin ja Kaa IoT -alustan IoT -alustaratkaisuja.

#### **3.4.1 ThingsBoard**

ThingsBoard on avoimen lähdekoodin IoT-alusta, joka tarjoaa hyvin valmista ”out-of-the-box” IoT-alustaratkaisua. Thingsboardilla on tarjolla ilmainen community-versio sekä

maksullinen professional-versio. Community-versio sisältää Apache 2.0 -lisenssin ja sitä on mahdollista hyödyntää myös kaupallisessa käytössä. Professional-versio on mahdollista ostaa valmiina pilvipalveluna, mutta mahdollisuutena on myös ostaa se "self-hosted"-lisenssillä, jota on mahdollista ylläpitää omalla palvelimella. (The Thingsboard authors 2021c.)

ThingsBoardilla on myös tarjolla maksullinen ThingsBoard Trendz Analytics -analytiikkasovellus, joka on erillinen sovellus ThingsBoard IoT -alustasta ja vaatii erillisen lisenssin. ThingsBoard Trendz voidaan yhdistää myös avoimen lähdekoodin ThingsBoard Community edition -versioon. (The ThingsBoard authors, [viitattu 18.5.2021].)

### **3.4.2 Microsoft Azure IoT**

IoT on vain osa Microsoft Azuren pilvipalvelukokonaisuutta. Azuren IoT-pilvialusta koostuu erillisistä komponenteista, joista voidaan valita omaan käyttöön tarpeelliset. Komponenteista keskeisimpänä Azure IoT Hub. IoT Hub toimii välikappaleena internetiin yhdistettävien esineiden ja internetin kanssa. Muita IoT-sovelluksia ovat esimerkiksi analysointityökalu IoT edge, sääntöjä ja toimintoja varten Azure Functions ja Azure Digital Twins, jolla voidaan luoda laitteista digitaalinen kaksonen. (Microsoft 5.3.2021.)

Azurella on myös tarjolla SaaS-pilvipalveluna (Software as a Service) toimiva Azure IoT Central. SaaS-pilvipalvelussa myydään valmiita sovellusta alustan sijaan. Azure IoT Central sisältää valmiiksi kojelaudan datan visualisointia varten ja mahdollisuuden yksinkertaisiin sääntöihin ja hälytyksiin datan perusteella. Azure IoT Hub antaa mahdollisuuden rakentaa täysin oman kustomoidun alustan, kun taas Azure IoT Central on valmiimpi ratkaisu, jonka etuna on ylläpito- ja kehittämiskustannusten säästäminen, sekä nopea ja yksinkertainen käyttöönotto. (Microsoft 15.1.2020.)

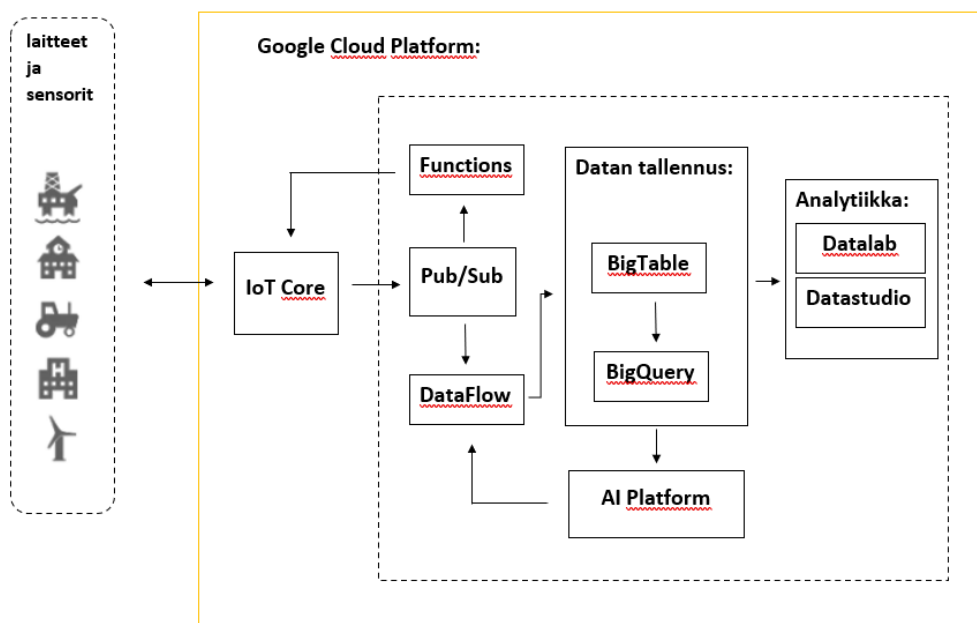
### **3.4.3 Amazon AWS IoT**

AWS (Amazon Web Services) on Microsoft Azuren kaltainen kokonaisuus, joka tarjoaa laajan kokonaisuuden erilaisia pilvipalveluita, ja myös IoT-puoli on jaoteltu erillisiin komponentteihin. Pääkomponenttina toimii AWS IoT Core, joka on saman tyyppinen Azure

IoT Hubin kanssa, ja on laitteiden ja pilven välikappale. AWS IoT Core mahdollistaa myös sääntöjen rakentamisen. Niiden avulla voidaan kommunikoida AWS:n muiden palveluiden kanssa. Muita keskeisiä komponentteja ovat AWS IoT Device Management, AWS IoT Analytics, AWS IoT Events ja AWS IoT SiteWise. (Amazon Web Services, [viitattu 25.5.2021].)

### 3.4.4 Google Cloud IoT

Google Cloud IoT on Azure IoT:n ja AWS IoT:n kaltainen pilvialustapalvelu, joka perustuu erillisiin komponentteihin. Keskeisimpänä Google Cloud IoT -komponenttina toimii IoT Core, joka mahdollistaa laitteiden yhteyden pilveen, ja niiden hallinnan muutamasta laitteesta miljooniin. Kuvassa 2 on havainnollistettu Google IoT -arkkitehtuuria ja IoT Coren tarkoitusta alustassa. Googlen pilvipalvelu IoT-alustana on muita hajanaisempi. Siinä pelkästään IoT-kategorian alle sijoittuu IoT Core ja Edge TPU ja muut palvelut ovat koottava muista pilvipalvelun komponenteista, jotka eivät suoraan ole IoT-kategorian alla. (Google Cloud, [viitattu 17.5.2021].)



Kuva 2. Google Cloud Platform -arkkitehtuuri (Soveltaen Google Cloud, [viitattu 19.5.2021]).

### 3.4.5 Kaa IoT Platform

Kaa IoT Platform on alun perin vuonna 2014 kehitetty avoimeen lähdekoodiin perustuva IoT-alusta, joka siirtyi suljettuun ratkaisuun vuonna 2016, ja avoimen lähdekoodiin perustuvan version kehitys lopetettiin. Suljettua ratkaisua kutsutaan nimellä Kaa IoT Enterprise. Kaa IoT Platform on valmiina pakettina myytävä IoT-alusta, joka sisältää keskeisimmät IoT-alustan komponentit, kuten käyttäjien hallinnan, datan visualisoinnin kojelaudassa ja sääntöjen toteuttamisen datalle ja datan analysoinnin. (KaaloT Technologies, [viitattu: 19.05.2021].)

Kaa IoT on rakennettu mikropalveluarkkitehtuurina, jolloin alustan jokainen mikropalvelun komponentti toimii omana palvelunaan. Tämä mahdollistaa alustalta hyvän skaalautuvuuden. (KaaloT Technologies, [viitattu 15.5.2021].)

## 4 ALUSTOJEN KUSTANNUSTEN VERTAILU

Valittaessa IoT-alustaa pk-teollisuuteen yhdeksi keskeisimmästä rajoittavasta tekijöistä muodostui alustan kustannukset. Hinnoittelun vertailun ensisijaisena tarkoituksena ei kuitenkaan ole löytää kaikista halvinta vaihtoehtoa, vaan selvittää hinnoittelun ennustettavuutta ja löytää mahdolliset hintojen suuret vaihtelut tai alustat, joiden kustannukset kasvavat yksinkertaisesti liian korkeiksi.

### 4.1 Azure IoT Hub

Azure IoT Hub on jaoteltu basic- ja standard-luokkiin, joissa molemmissa on kolme eri hinnoittelutasoa, jotka ovat viestien määrään perustuvia. Viestien koot ovat molemmissa luokissa 4 KB ja tätä isommat viestit lasketaan useammaksi 4 KB:n inkrementteissä. Kattavampi standard-luokka antaa joitain lisäominaisuuksia kuten, viestinnän pilvestä laitteelle. Basic-luokka on noin kahdeksasta eurosta neljään sataan euroon kuukaudessa Hub-yksikköä kohden ja standard-luokka 20 eurosta 2000 euroon kuukaudessa Hub-yksikköä kohden. Hintoihin vaikuttaa myös palvelimen sijainti, tällä voi olla noin kymmenen prosentin vaikutus hintoihin. Palvelimen sijainti on mahdollista määrittellä itse. Microsoft muistuttaa, että hinnat ovat pelkästään arvioita ja voivat vaihdella päivämäärän, valuutan tai Microsoftin kanssa tehdyn sopimuksen mukaan. (Microsoft 20.4.2021.)

Rakentaessa IoT-alustaa Azuren pilvipalveluun tulee huomioida tarvittavat muut Azure-alustan komponentit erikseen.

### 4.2 Azure IoT Central

IoT Central on osa Azuren IoT-tuoteperhettä, mutta on otettu erilliseen tarkasteluun, koska sitä voidaan käyttää omana erillisenä valmiina ratkaisuna. Hinnoittelu on viestien määrään perustuva ja melko selkeästi ennustettavissa, jos datan määrä on tiedossa, mutta on itsessään melko pelkistetty kokonaisuus ja tarvitsee monimutkaisempaa datan käsittelyyn Azuren erillisiä palveluita.

Azure IoT Central hinnoitellaan laitemäärän mukaan. Hinnoittelu on jaoteltu kolmeen luokkaan, jotka on jaoteltu viestien määrän perusteella laitetta kohti. Hinnat alkavat tier1-luokassa enintään 400 viestiä kuukaudessa lähettävästä laitteesta 0,07 euroa laitetta kohti, tier2- luokassa enintään 3000 viestiä kuukaudessa lähettävästä laitteesta 0,34 euroa laitetta kohti ja tier3- luokassa enintään 30000 viestiä kuukaudessa lähettävästä laitteesta maksaen 0,59 euroa laite. Ylimääräisten viestien hinnat vaihtelevat luokan mukaan, tuhat ylimääräistä viestiä tier1-luokassa maksaa 0,06 euroa ja tier2 sekä tier3-luokassa 0,013 euroa. Luokka tulee määritellä itse oman käytön mukaan. (Microsoft 24.4.2021.)

### **4.3 Amazon AWS IoT Core**

AWS IoT Core:n kustannukseen vaikuttavia tekijöitä ovat yhteyksien pituus, laitteiden määrä, viestien määrä ja koko. Lisäksi kustannukseen vaikuttaa laitteiden sääntöjen ja toimintojen määrä. Viestit ovat hinnoiteltu noin 0,8 euroa miljoonaa viestiä kohden. Viestit ovat 5 KB:n inkrementteinä. AWS IoT Coressa maksetaan myös laitteiden pilvipalveluun yhdistettynä olevasta ajasta. AWS IoT Core on ainoastaan AWS IoT -kokonaisuuden keskuskomponentti, joka sisältää laitteiden yhteydenpidon ja hallinnan sekä mahdollistaa sääntöjen rakentamisen ja yhteyden muihin AWS-pilvipalvelun komponentteihin. AWS IoT:n muut erilliset komponentit kuten AWS IoT SiteWise tai Analytics sisältävät erillisen hinnoittelumallin. (Amazon Web Services 2021.)

### **4.4 Kaa IoT**

Kaa IoT Platform on tarjolla kolmena eri vaihtoehtoa, pilvipalveluna Kaa IoT:n ylläpitämänä, KaaloT ylläpitämänä tai itse ylläpidettynä. Kaa IoT:ssa laitteita kutsutaan "end-point"-nimellä. Pilviversio hinta alkaa 15 dollarista sisältäen 15 laitetta, Kaa IoT:n oman palvelun ylläpitämänä 499 dollarista sisältäen 250 laitetta. Omalla palvelimella ylläpidetty versio 99 dollarista sisältäen 25 laitetta. Eri versioissa on joitain vaihtelevia ominaisuuksia, esim. pilviversio ei sisällä "white-labeling" -ominaisuutta, joka mahdollistaa alustan kustomoinnin oman yrityksen näköiseksi ilman Kaa IoT -logoja. (KaaloT Technologies, [viitattu 25.5.2021].)

## 4.5 ThingsBoard

Community-versio on ilmainen ja kustannuksia tulee pelkästään alustan ylläpidosta, joita tarkastellaan tarkemmin tämän opinnäytetyön loppuosassa. Professional-editionista on ThingsBoardin omassa pilvessä ylläpidetty versio tai "self-hosted" -lisenssi, joka tarkoittaa omalla palvelimella toimivaa ThingsBoard-alustaa. ThingsBoard Cloud maksaa kymmenestä eurosta neljänsataan euroon, ja omalla palvelimella ylläpidettävä maksaa kymmenestä eurosta kahteensataan euroon. Hinnat vaihtelevat alustan datapisteiden sekä yhdistettyjen laitteiden mukaan. Datapisteet ovat viestin parametrejä, esimerkiksi viesti, joka ilmoittaisi lämpötilan ja kosteuden, sisältäisi kaksi datapistettä. (ThingsBoard authors, [viitattu 25.5.2021].)

## 4.6 Google Cloud IoT

Google Cloud IoT-Core hinnoitellaan datamäärän perusteella. Pienin mahdollinen viestikoko on 1024 MB ja tätä pienemmät viestit hinnoitellaan minimikoon mukaan. Datan hinnoittelu vaihtelee hieman datan käytön perusteella. 250 MB:iin asti palvelu on ilmaista, jonka jälkeen hinta on 0,0045 dollaria megatavua kohden. 250GB:n jälkeen hinta laskee 0,0020 dollariin ja 5 TB:n jälkeen 0,00045 dollariin. (Google Cloud IoT, [viitattu 3.6.2021].)

## 4.7 Alustojen muut kustannukset

IoT-alustaa käyttöön ottaessa saattaa ilmaantua paljon muitakin kuluja, joita ei tässä opinnäytetyössä olla otettu huomioon. Alustan kustannuksia arvioitaessa pilvialustojen tukipalvelu on yksi sellainen. Esimerkkinä tästä on Amazon AWS, jossa Basic-luokan tukipalvelun saa ilmaiseksi, mutta jos on tarvetta esimerkiksi Developer-luokan tukipalvelulle, kasvavat kustannukset 30 eurolla kuukaudessa (Amazon Web Services, [viitattu 1.6.2021]). Kalliimmilla palveluilla saa nopeampia vastausaikoja ongelmatilanteissa, nämä saattavat olla pienemmän luokan sovelluksessa jo merkittävä kustannus. Vastaavia maksullisia tukipalveluita on myös Azuren ja Googlen pilvipalveluissa. Tallennustilan kustannukset jäivät myös tämän työn ulkopuolelle.

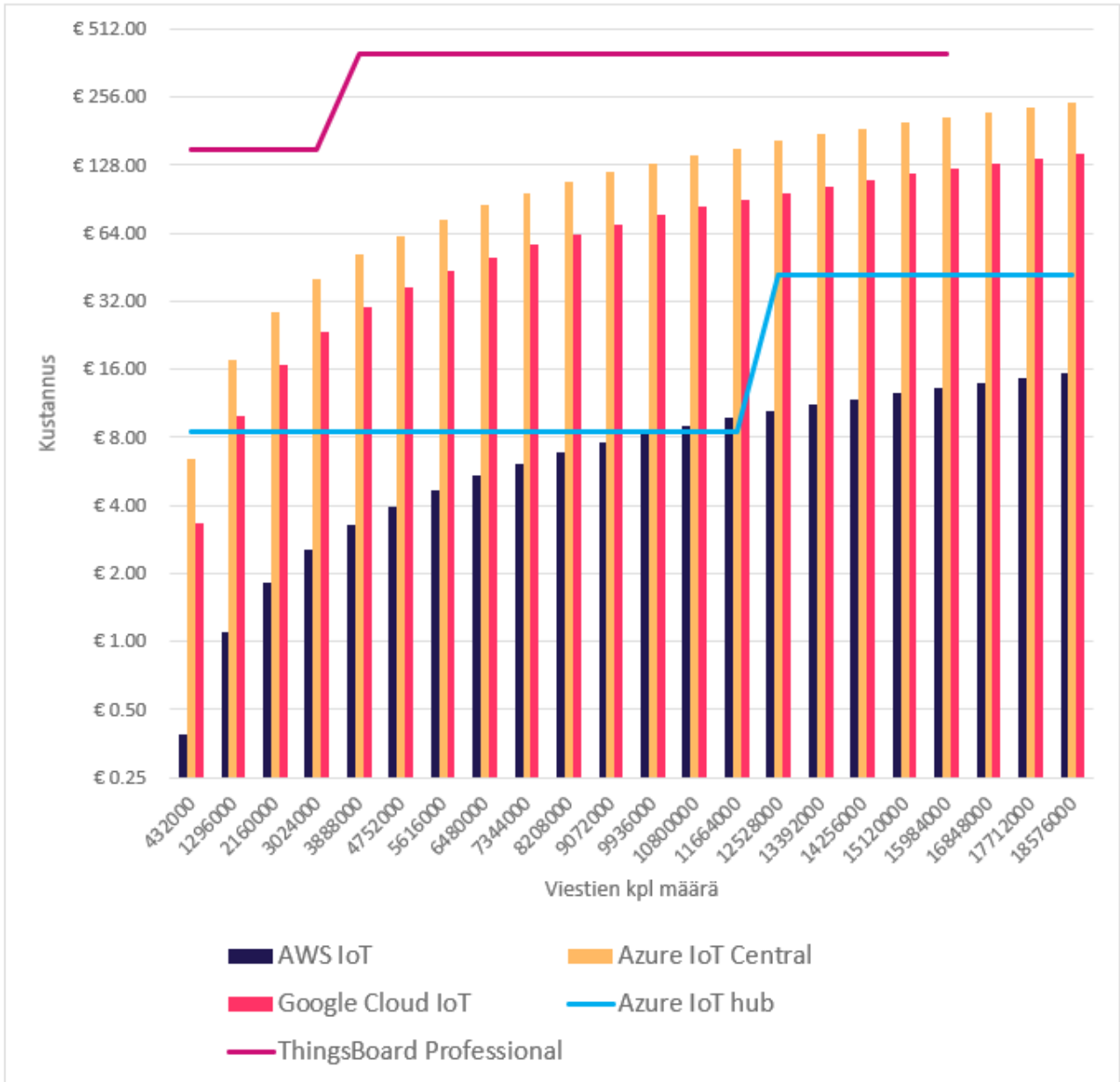


## 4.8 Yhteenveto kustannuksista

Thingsboard ja Kaa IoT ovat valmiina IoT-alustaratkaisuna huomattavasti selkeämpiä niin hinnoittelultaan sekä kokonaisuudeltaan. Azure IoT Centralin hinnoittelu on myös yksinkertainen ja ennustettava, kunhan datan määrä on tiedossa. Sovelluksen kustannuksilta halvimmaksi tuli avoimen lähdekoodin ilmainen ThingsBoard Community edition, jonka ylläpidon kustannuksia tutkitaan tämän työn myöhemmässä osassa. Vaikka Google IoT Core, Azure IoT Hub tai AWS IoT olivat hinnoittelussaan halvimmasta päästä, niitä ei tule verrata keskenään valmiiden alustaratkaisuiden kanssa, koska ne vaativat myös muita pilvipalvelun komponentteja, jotka tuovat lisäkustannuksia. Muut komponentit jätettiin kuitenkin pois hinnoittelumallin monimutkaisuuden ja vertailun hankaluuden vuoksi vertailusta ja tutkittiin pelkästään keskeisimpiä komponentteja.

AWS:n ja Googlen hinnoittelut olivat vertailun hankalimmat määrittää ja niiden ennustettavuus oli epäselvin, koska ne sisälsivät suuren määrän eri muuttujia hinnoittelussa, vaikka hinnoittelumallit olivat muuten selkeästi saatavissa.

Kuvassa 3 on arviota eri IoT-alustojen hinnoittelusta perustuen viestien määrään alustojen nettisivujen hinnoittelumallien mukaan. Kaa IoT -palvelussa oli saatavilla ainoastaan laitteisiin perustuva hinnoittelu, jota ei ollut mahdollista sisällyttää vertailuun. ThingsBoard Professional-version hinnoittelut loppuvat vertailussa kesken. Arviot ovat pelkästään suuntaa antava ja virhettä voi tulla esimerkiksi eri alustojen eriävistä tavoista määrittellä viesti, viestin maksimikoko tai palvelimen sijainti. ThingsBoardin hinnoittelussa hinta määrittyy datapisteiden mukaan, jolloin lasketaan viestien kaikki attribuutit, joita voi olla esimerkiksi lämpötila, kosteus yms. Vertailussa arvioitiin pienimmän luokan automaatio-sovelluksen sisältävän noin 30 muuttujaa. Vertailussa laitemäärä pidettiin vakiona ja viestien määrä alkaen 1 viestiä minuutissa laitetta kohti. Hinnat ovat kuukausihintoja. X-akselilla on kuukausittainen viestien määrä ja y-akselilla alustan arvioidut kuukausittaiset kustannukset. Hinnoissa on huomioitu myös alustojen ilmaiseksi tarjoama datan määrä.



Kuva 3. IoT-alustojen kustannusten vertailu. Huomaa logaritminen hinnan muutos.

## 5 ALUSTOJEN OMINASUUKSIEN VERTAILU

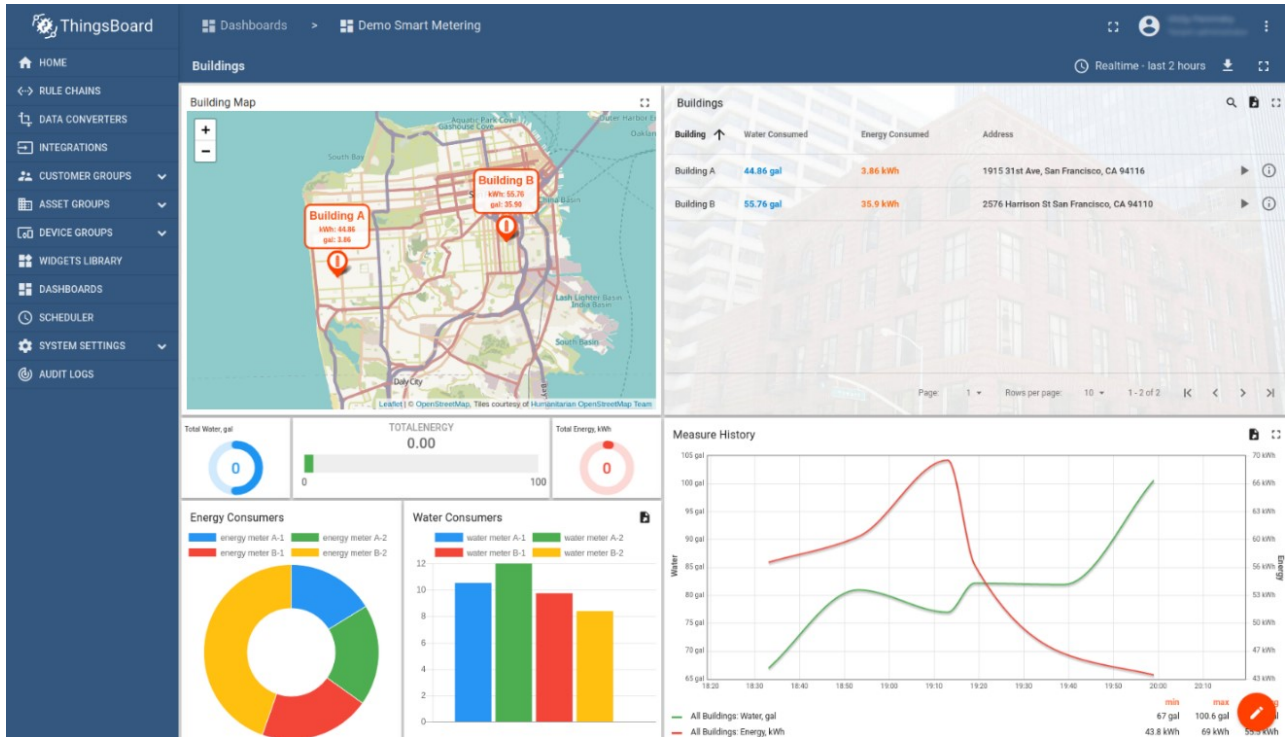
Tässä osiossa tutkitaan IoT-alustojen ominaisuuksia käyttöliittymän ja datan visualisoinnin, käyttäjätasojen, sääntöjen ja hälytyksien sekä teknisten ominaisuuksien osalta. Alustojen ominaisuuksia tarkastellaan enemmän alustakohtaisesti niiden keskinäisen vertailun sijasta. Teknisistä ominaisuuksista laadittiin taulukko, jossa tutkitaan alustojen mahdollisia tiedonsiirtotapoja, alustan ylläpitomahdollisuuksia sekä palvelumallia. Vertailun loppupäätelmiä on avattu enemmän työn lopputuloksissa.

### 5.1 Käyttöliittymä ja visualisointi

Käyttöliittymän tulee olla helposti ymmärrettävissä ja nopeasti käyttöönotettavissa myös käyttäjälle, joka ei välttämättä ole tietotekniikan asiantuntija. Visualisointityökaluissa kiinnitettiin huomiota lähinnä näiden monipuolisuuteen.

#### 5.1.1 ThingsBoard

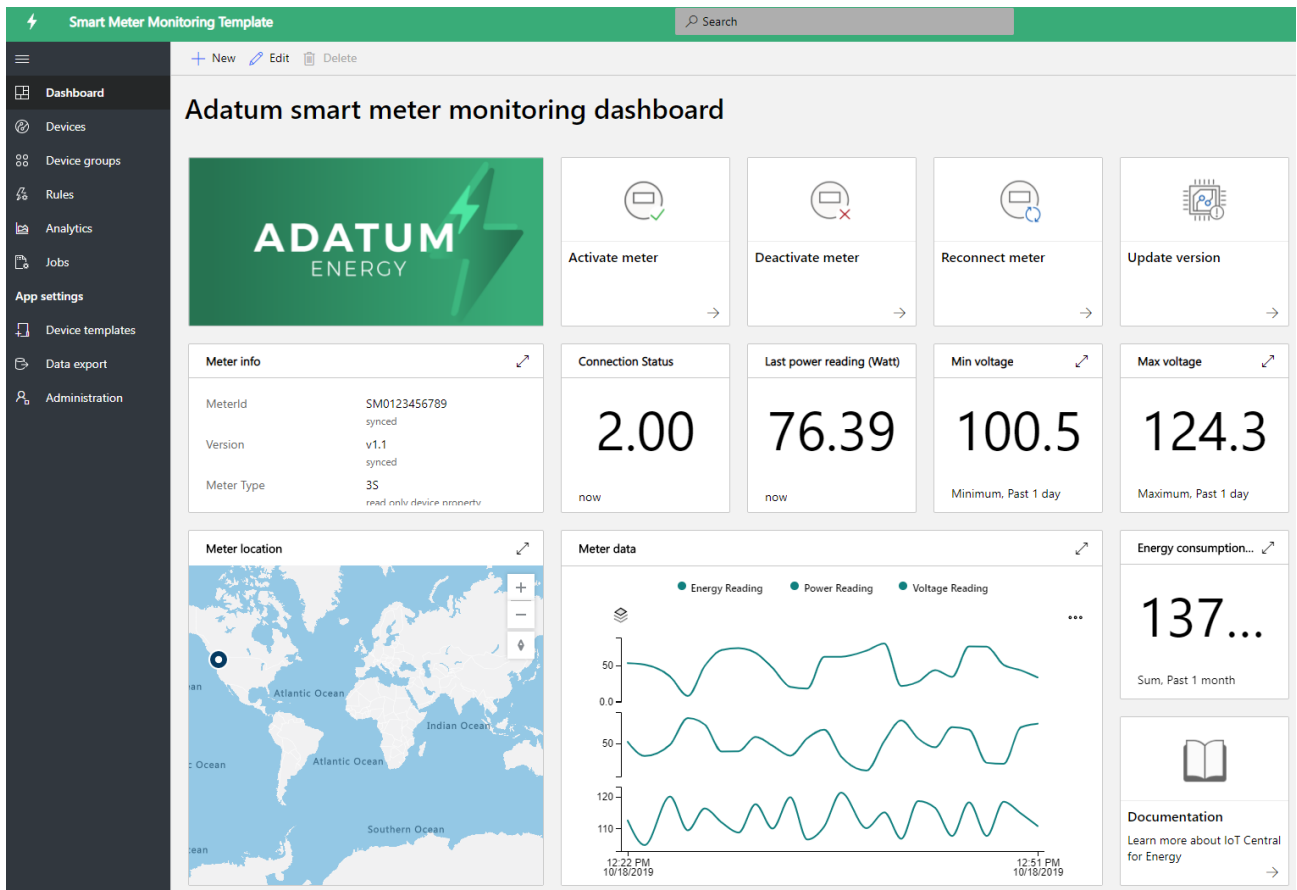
ThingsBoard tarjoaa monipuoliset visualisointimahdollisuudet ja sisältää valmiin ja helposti muokattavan web-pohjaisen käyttöliittymän sekä kustomoitavan kojelaudan. ThingsBoard-kojelautaan on mahdollista lisätä myös itse kustomoituja kojelautakomponentteja. ThingsBoardin käyttöliittymä mahdollistaa myös käyttäjien hallinnan ja sääntöjen luomisen. Professional-versiossa on mahdollisuus kustomoida käyttöliittymä oman yrityksen värityksellä ja logoilla. Kuvassa 4 on esimerkki ThingsBoard Community Edition -käyttöliittymästä sekä -kojelaudasta, jossa voidaan visualisoida dataa tai esimerkiksi karttasijainteja.



Kuva 4. Esimerkki ThingsBoard käyttöliittymästä (The ThingsBoard authors 19.5.2021).

### 5.1.2 Azure IoT Central

Azure IoT Central sisältää valmiin web-käyttöliittymän, joka on mahdollista visualisoida oman yrityksen logolla ja värimaailmalla. Käyttöliittymä on helposti käyttöönotettava ja sisältää käyttäjätasojen hallinnan ja kustomoitavan kojelaudan. Kojelaudan visualisointimahdollisuudet ovat melko suppeat komponenttivalikoimaltaan ja rajoittuvat joko raakadataan, keskiarvoon tai minimi/maksimiarvoon. Datan käsittely ja analysointimahdollisuudet Azure IoT Centralissa ovat myös vähäiset. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki Azure IoT Centralin Web-pohjaisesta käyttöliittymästä sekä alustan kojelaudasta.



Kuva 5. Esimerkki Azure IoT Centralin käyttöliittymästä (Microsoft 12.11.2020).

### 5.1.3 Kaa IoT Platform

Kaa IoT Platform sisältää Kaa Web DashBoard -mikropalvelun, joka on Web-pohjainen käyttöliittymä. Web-käyttöliittymä tarjoaa kojelaudan datan visualisointiin, laitteiden hallinnan, päätepisteiden konfiguroinnin hallinnan ja Kaa IoT -alustan käyttäjien hallinnoinnin. Kaa IoT käyttää datan analytiikkaan sekä hälytyksiin Open Distro for Elasticsearch -sovellusta ja Kibanaa, jotka ovat kolmannen osapuolen avoimen lähdekoodin sovelluksia. Kibana on visualisointityökalu Open Distro Elasticsearch -sovellukselle. Näiden käyttö monimutkaistaa Kaa IoT -alustaa, sillä Kaa IoT sisältää käytännössä kaksi käyttöliittymää sisäkkäin. Käyttäjien hallinta on toteutettu erillisellä KeyCloak-järjestelmällä, joka myös on kolmannen osapuolen sovellus ja sisältää oman käyttöliittymänsä. (KaaIoT Technologies, [viitattu 31.5.2021].)

#### **5.1.4 Azure IoT**

Azure IoT -palvelussa IoT Centralia lukuun ottamatta löytyy Azure IoT Time Series Insight -työkalu, jolla on mahdollista analysoida ja visualisoida IoT-analytiikkadataa (Microsoft, [viitattu 24.5.2021]). Dataa on myös mahdollisuus visualisoida Microsoftin Power BI-työkalulla, mutta tämä on Azure IoT -palveluiden ulkopuolella (Microsoft, [viitattu 25.5.2021]). Valmista käyttöliittymää ei ole, jolla voitaisiin hallita kaikkia teollisuuden IoT-alustan tarpeita.

#### **5.1.5 Amazon AWS IoT**

AWS IoT:ssa on tarjolla AWS IoT SiteWise, joka on erillinen komponentti AWS IoT Coren ohelle. AWS IoT SiteWise on palvelu, joka mahdollistaa AWS IoT -datan keräämisen, analysoinnin ja visualisoinnin (Amazon Web Services, [viitattu 19.5.2021]). Valmista web-käyttöliittymäkokonaisuutta IoT-ratkaisuun, jolla voitaisiin hallita kaikki IoT-alustan tarpeet, kuten käyttäjien, sääntöjen tai visuaalisten esitysten hallinta, ei ole.

Datan visualisointi voidaan toteuttaa AWS-pilvipalvelussa myös esimerkiksi Amazonin QuickSight BI -työkalulla.

#### **5.1.6 Google Cloud IoT**

Googlen pilvipalveluissa visualisointi voidaan toteuttaa Google Cloud Datalab -nimisellä sovelluksella, joka sisältää lisäksi työkalut datan analysoimiseen ja käsittelyyn (Google Cloud [viitattu 24.5.2021]). Lisäksi Google Cloud sisältää DataStudio-nimisen sovelluksen, jolla voidaan toteuttaa monipuolisesti datan visualisointeja ja raportointeja (Google Cloud, [viitattu 25.5.2021]). Googella ei ole suoraa ratkaisua käyttöliittymälle teollisuuden IoT-ratkaisulle, ja Google Cloud -pilvipalvelun käyttäminen alustana on melko monimutkainen.

## 5.2 Käyttäjätasot

ThingsBoard ja Azure IoT Central ovat valmiina pakettina toteutettuja palveluita ja sisältävät käyttäjätasojärjestelmän, jossa on pääkäyttäjä, joka pystyy luomaan eri organisaatioita ja käyttäjätasoja.

Kaa IoT -alustaan on integroitu KeyCloak-niminen kolmannen osapuolen avoimen lähdekoodin sovellus käyttäjähallintaa varten ja se sisältää oman käyttöliittymän. (KaaloT Technologies, [viitattu 31.5.2021].)

AWS-palvelu sisältää Identity and Access Management -nimisen palvelun, jolla voidaan hallinnoida koko pilvipalvelun käyttäjiä ja niiden pääsyä eri komponentteihin (Amazon Web Services, [viitattu 2.6.2021]). Järjestelmä, joka palvelisi useamman yrityksen alustaa, on hankalampaa toteuttaa. Microsoft Azure ja Google Cloud sisältävät vastaavan käyttäjänhallinnan pilvialustalle.

## 5.3 Säännöt ja hälytykset

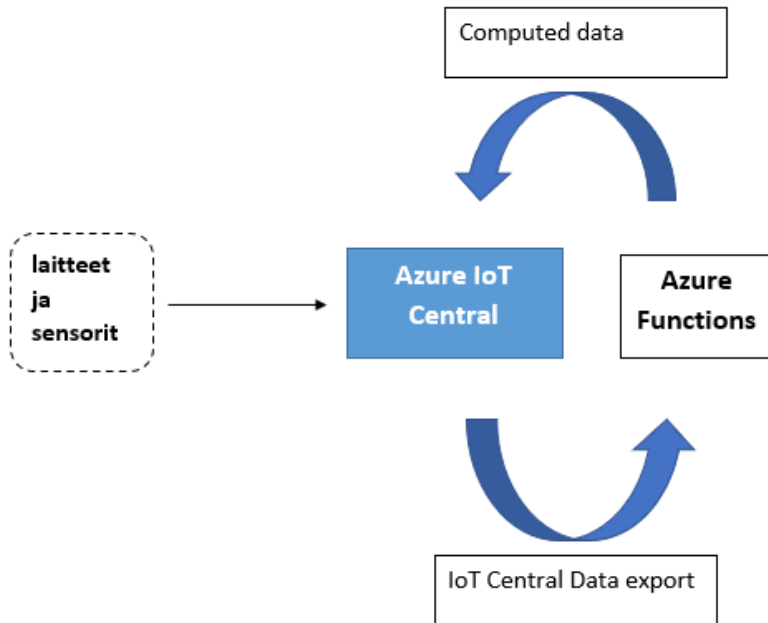
### 1. Thingsboard

ThingsBoard sisältää suuren määrän viestin suodattamiseen, rikastamiseen ja käsittelyyn liittyviä sääntökomponentteja sekä mahdollisuuksia viestin perusteella tapahtuviin hälytyksiin. Säännöt on toteutettu javascriptilla ja on myös mahdollista luoda oma sääntö tai käsittely datalle. ThingsBoardissa viesti voidaan lähettää edelleen Amazonin, Microsoft Azuren ja Googlen pilvipalveluihin tai MQTT tai REST API:lla muuhun ulkoiseen palveluun. Hälytykset onnistuvat esimerkiksi sähköpostilla tai tekstiviestillä, mutta tarvitsevat erillisen palveluntarjoajan toimiakseen.

### 2. Azure IoT Central

IoT Centralin oma sääntövalikoima rajoittuu raja-arvoylityksiin. Hälytykset on mahdollista toteuttaa sähköpostilla, tekstiviestinä tai Webhook-rajapinnalla kolmannen osapuolen sovellukseen. Monimutkaisempia sääntöjä varten joutuu käyttämään Azuren muita palveluita Azure IoT Centralin ohella. Kuvassa 5 on

esimerkki, kuinka Azure IoT Central toimii Azure IoT function -sovelluksen kanssa. Dataa viedään ulos Central-sovelluksesta ja käsitelty data tuodaan takaisin. (Microsoft 15.1.2020.)



Kuva 6. IoT Central mahdollistaa myös Azuren ulkoisten IoT-komponenttien käytön (Microsoft 9.4.2021).

### 3. Kaa IoT

Kaa IoT lupaa mahdollisuuden konfiguroida hälytykset esimerkiksi sähköpostin, tekstiviestin tai Slack-viestintäsovellukseen. Kaa IoT käyttää kolmannen osapuolen Open Distro for Elasticsearch -nimistä palvelua, joka toimii Kaa IoT -alustan sisällä. Sovellusta käytetään Kaa IoT -alustassa esimerkiksi datan analyysityökaluna ja hälytysten luomisessa. (KaaloT Technologies, [viitattu 31.5.2021].)

### 4. Google Cloud IoT

Google Cloud IoT ei sisällä yksinkertaiseen teollisuuteen sopivaa sääntö- tai hälytyskomponenttia, mutta esimerkiksi Google Cloud Functions -komponentilla



voidaan rakentaa datan prosessointia ja analysointia ja käyttää hälytyksiin tai datan suodattamiseen. Google Cloud sisältää myös DataLab-sovelluksen, jolla voidaan analysoida dataa.

## 5. AWS IoT

AWS sisältää AWS SNS -palvelun applikaation ja käyttäjän väliseen viestintään esimerkiksi tekstiviestillä tai sähköpostilla. AWS IoT:ssa on mahdollisuus konfiguroida sääntöjä, jotka ohjaavat datan AWS-pilvipalvelun muihin komponentteihin. Tämän avulla voidaan luoda esimerkiksi hälytyksiä Amazon SNS -palvelun kautta. Menetelmä on kuitenkin melko monimutkainen ja vaatii ohjelmointia.

## 6. Azure IoT

Azurella on Azure Functions ja Azure Logic Apps, joiden avulla pystytään luomaan funktioita ja sääntöjä. Yksinkertaisten sääntöjen luominen vaatii kuitenkin paljon työtä verrattuna valmiisiin IoT-alustaratkaisuihin, koska nämä pitää ohjelmoida itse ja käyttää monia komponentteja.

### 5.4 Teknisten ominaisuuksien vertailu

Teknisten ominaisuuksien vertailu toteutettiin vertailutaulukolla, jossa vertaillaan alustan ja laitteiden välisen yhteyden protokollia, alustan ylläpitomahdollisuuksia valmiissa pilviratkaisussa tai itse ylläpitäen sekä alustojen palvelumalleja. Kuvassa 7 on eriteltyinä tässä työssä mukana olleiden IoT-alustojen ominaisuuksia. Parhaimmat yhteysmahdollisuudet olivat Azure IoT-alustassa sekä ThingsBoardissa.

Vertailussa huomioitiin ainoastaan alustoissa vakiona olevat ominaisuudet, mutta esimerkiksi ThingsBoardissa on mahdollisuus konfiguroida myös esimerkiksi OPC-UA-yhteys erillisellä ThingsBoard Gateway -sovelluksella. ThingsBoard Professional edition -versiossa myös on mahdollisuus integroida yhteys suurten IoT-alustojen kuten Azuren, AWS ja IBM Watsonin kanssa.

		Azure IoT	Amazon AWS IoT	Thingsboard Community/Professional edition	Google Cloud IoT	Kaa IoT
<b>Yhteydet</b>	MQTT	x	x	x	x	x
	HTTP	x	x	x	x	x
	CoAP	0	0	x	0	0
	AMQP	x	0	0	0	0
<b>Ylläpito</b>	pilvialusta	x	x	x	x	x
	Ylläpito omalla palvelimella	0	0	x	0	x
<b>Palvelumalli</b>	PaaS	x	x	x	x	x
	SaaS	x	0	x	0	0

Kuva 7. Alustojen teknisiä ominaisuuksia.

## 6 THINGSBOARD-ALUSTAN YLLÄPITO PILVIPALVELUSSA

ThingsBoard-alustaa ylläpidettäessä keskeisimmät komponentit ovat:

1. Virtuaalikone
2. Tietokanta
3. Kuormituksen tasaaminen
4. Viestijonopalvelu

Virtuaalikoneena ThingsBoard tukee useaa käyttöjärjestelmää kuten Ubuntu, Windows tai CentOS. Vaihtoehtona on myös ylläpitää ThingsBoardia Docker-säiliössä mikropalveluina (The ThingsBoard Authors 2021b).

Yrityskäyttöön mikropalveluarkkitehtuuri on varteenotettava ratkaisu, kun tarvitaan hyvin skaalautuvaa järjestelmää.

Docker on avoimen lähdekoodin säiliöintijärjestelmä. Säiliössä voidaan ylläpitää sovellusta ja se pitää sisällään kaikki mitä sovelluksen ylläpito vaatii. Säiliöt ovat täysin eristettyjä toisistaan sekä isäntälaitteesta. Säiliöintiä voidaan verrata virtuaalikoneeseen ilman tarvetta itsenäiseen käyttöjärjestelmään. (Raj, Chelladurai & Singh 2015, 2–3.)

Tietokantana voidaan käyttää PostgreSQL-tietokantaa tai NoSQL-pohjaista Cassandra-tietokantaa. Mahdollisuutena on myös käyttää hybridimallia, jossa käytetään molempia, PostgreSQL- ja Cassandra-tietokantaa. (The ThingsBoard Authors, [viitattu 30.5.2021].)

Thingsboard suosittelee kuormituksen tasaamiseen käyttämään HAproxya. HAproxya voidaan käyttää myös TLS-salauksen toteutukseen. (ThingsBoard Authors, [Viitattu 30.5.2021]). HAProxy on avoimen lähdekoodin ilmainen kuormituskentasaaja TCP- ja HTTP-pohjaisiin sovelluksiin. (HAproxy, [viitattu 30.5.2021].)

Viestijonopalvelu voidaan myös valita eri vaihtoehdosta, mutta suositeltavana standardivaihtoehtona on avoimen lähdekoodin Apache Kafka. Jos ylläpitää ThingsBoardia pilvessä, niin monilla Isoilla pilvialustoilla kuten Googlella, Amazonilla ja Azurella on tarjolla myös omia viestijonopalveluita, joita voi hyödyntää ThingsBoardissa. (The ThingsBoard Authors, [viitattu 30.5.2021].)

## 6.1 Monoliittinen ja mikropalveluarkkitehtuuri

Monoliittinen ja mikropalveluarkkitehtuuri ovat kaksi eri sovelluksen toteuttamisen tapaa. Monoliittisessa arkkitehtuurissa sovellus on toteutettuna yhtenä pakettina, kun taas mikropalveluarkkitehtuurissa sovellus on luotu erillisistä omista komponenteistaan eikä niitä ole paketoitu tiivistä yhteen. (Sharma 2016, 3–6.)

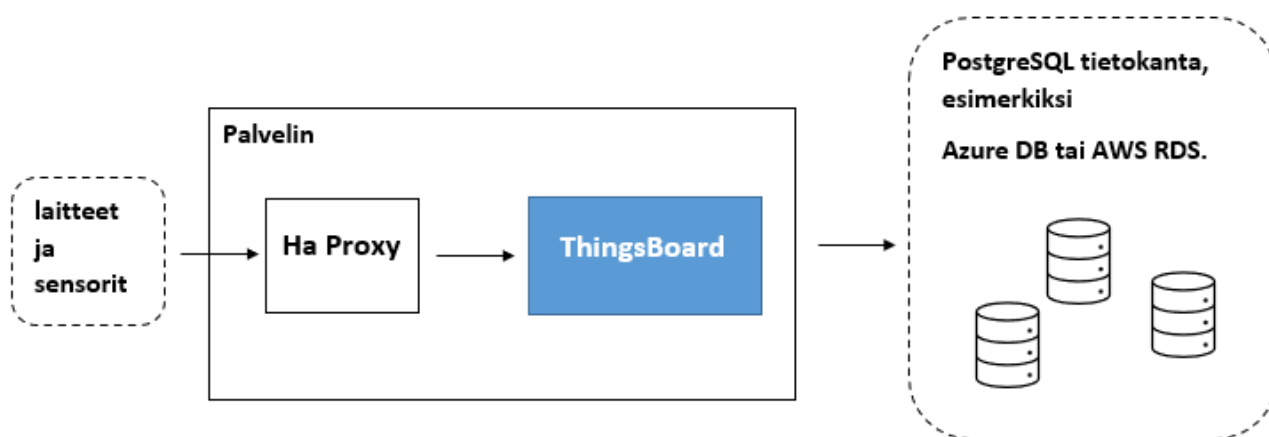
ThingsBoardin monoliittisessä ratkaisussa kaikki komponentit käyttävät yksittäistä Java-virtuaalikonetta ja yhteisiä käyttöjärjestelmän resursseja. ThingsBoard voidaan toteuttaa monoliittisena tai mikropalveluarkkitehtuurina. Monoliittisen ratkaisun etuna on ThingsBoard-prosessin pieni muistin käyttö, alustan yksinkertaisuus, jolloin ylläpito ja käyttöönotto vaatii vähemmän osaamista sekä vaivattomampi järjestelmän ylläpito. Suurin osa ThingsBoard-asennuksista on toteutettu monoliittisena ratkaisuna. (The ThingsBoard Authors, [viitattu: 24.5.2021].)

Jos taas alustalta vaaditaan suurta skaalautuvuutta ja suuria datansiirtomääriä ja odotettavissa voi olla mahdollisia käytön piikkejä, mikropalveluarkkitehtuuri voi olla parempi ratkaisu. Tämä on hyödyksi myös useamman asiakkaan järjestelmässä. (The ThingsBoard Authors, [Viitattu 25.5.2021].)

Kun mikropalvelumallissa tiettyyn mikropalvelun komponenttiin kohdistuu paljon kuormitusta, voidaan yksittäisten komponenttien määrää lisätä tasaamaan kuormitusta (The ThingsBoard Authors, [viitattu 15.5.2021]).

## 6.2 Yhden ja usean palvelimen ratkaisu

Thingsboard on mahdollista asentaa yhden palvelimen ratkaisuna. Tietokantaa on mahdollista ylläpitää samalla palvelimella ThingsBoardin kanssa, suositeltavaa kuitenkin on muutoin kuin testikäytössä pitää tietokantaa erillisellä palvelimella. (The ThingsBoard authors, [viitattu 15.5.2021].) Kuvassa 8 havainnollistetaan ThingsBoardin ylläpitämistä yhdellä palvelimella ja erillisellä tietokannalla.



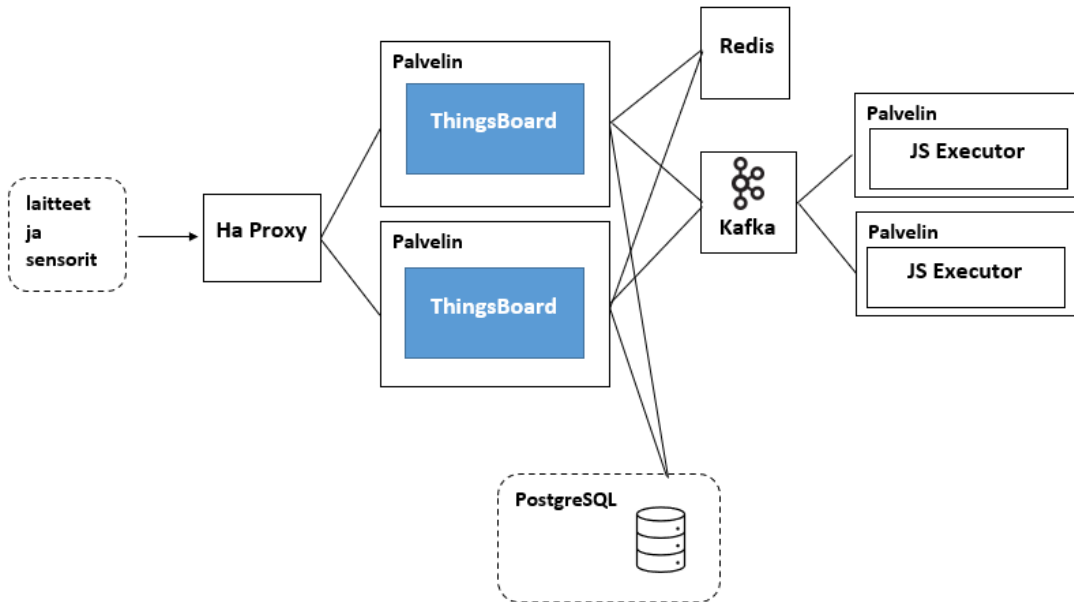
Kuva 8. Thingsboard yhden serverin ja erillisen tietokannan ratkaisu. (Soveltaen The thingsBoard Authors, [viitattu 15.5.2021]).

Minimivaatimuksena ThingsBoard suosittelee yhden palvelimen ratkaisussa PostgreSQL-tietokantaa käytettäessä vähintään 1 GB keskusmuistia ja Cassandra-tietokantaa käytettäessä minimissään 8 GB keskusmuistia (The ThingsBoard Authors 2021a).

ThingsBoard on melko kevyt sovellus, jonka käyttöönotto on yksinkertaista ja sitä voidaan kokeilla vaikkapa omalla kannettavalla tietokoneella. ThingsBoardin esimerkkitapauksessa käytettäessä AWS:n halvinta t2.micro-virtuaalikoneita, pystyi viestejä lähettämään sekunnissa maksimissaan noin 450 kappaletta. (The ThingsBoard Authors. [viitattu 25.4.2021].)

Kuvassa 7 on esimerkki, jossa ThingsBoardia ylläpidetään usealla palvelimella. Kuormituksen tasaaja tasapainottaa käytön molemmille koneille ja koneet jakavat yhteisen

tietokannan. Javascript-moottorit on myös jaettu useammalle palvelimelle. ThingsBoard käyttää Redis-sovellusta jaettuun välimuistiin. Redis on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jota voidaan käyttää esim. välimuistina tai tietokantana. (The ThingsBoard authors, [viitattu 15.5.2021].)



Kuva 9. Thingsboardin klusteriasennusratkaisu (Soveltaen The ThingsBoard authors, [viitattu 15.5.2021]).

### 6.3 Hinnoittelu

Seuraavassa taulukossa on Thingsboard Community -version ylläpitämisen vaatimia kustannusarvioita eri pilvipalveluissa. Huomioon on otettu ainoastaan 1 GB:n minimi keskusmuistin määrä käytettäessä PostgreSQL-tietokantaa. Ratkaisut eroavat hieman toisistaan, mutta työhön yritettiin saada suunnilleen 2 CPU-ydintä sekä 4 GB keskusmuistia. Toteutusvaihtoehtoja ei ole todellisuudessa kokeiltu eikä niiden toimivuudesta ole taetta muutoin kuin ThingsBoardin omassa testissä käytetty AWS-virtuaalikone. Klusterityyppisen kokoonpanon kustannukset sivuutetaan tässä opinnäytetyössä laitteiston määrittelyn monimutkaisuuden vuoksi.

Vertailussa jätettiin huomioimatta tallennustilan kustannukset ja web-käyttöliittymän ylläpitokustannukset kuten DNS-palvelut. Laitteistot eroavat hieman toisistaan eikä niitä voida suoraan verrata keskenään, vaan ne antavat suuntaa alustan minimikustannuksille kuukaudessa. Alustoissa on tarjolla alennuksia, jos ostaa palveluita pitemmälle aikavälille, mutta nämä jätettiin huomiotta tässä työssä. Hintaan vaikuttaa myös palvelimen sijainti.

Kuvassa 10 on eritelty ThingsBoardin kustannuksia eri pilvialustoissa, joista Digital Ocean oli vaihtoehtoista halvin. Kustannukset ovat keskiarvoltaan noin 50 euroa kuukaudessa.

		Microsoft Azure	Amazon AWS	Google Cloud Platform	Digital ocean
Virtuaalikone	Tyyppi:	Container instance, Linux OS	T2. medium, 4GiB ram, 2vCPU.	E2, 8GB ram, 2vCPU	4gb ram 2CPU 80GB SSD
	Hinta:	3.15€ per GB 28.7€ per vCPU	27\$/kk	\$48.9	20€
Tietokanta	Tyyppi:	1 core 2GiB	Db.t3.micro	Cloud SQL PostgreSQL	1gb, 1cpu, 10gb disk Managed DB engine
	Hinta:	22.40€/kk	15.10/kk	30\$ per CPU/5.10GB	15€
	Tallennustilan hinta:	0.093€/GB/kk	General SSD 0.12/GB/kk	Hdd 0.09\$ SSD 0.170\$	0.1\$/GB
	Yhteensä/kk: (Ilman tallennustilaa)	54.25€ (1gb ram+1vCPU)	42.1\$/34.50€	84.2\$/69€	35€

Kuva 10. ThingsBoard Community edition -ylläpitokustannuksia eri pilvipalveluissa.



## 7 TULOKSET

Tämän työn tavoitteena oli vertailla IoT-alustoja pk-teollisuuden käyttöön Wirokit Oy:lle. Työhön kuului pk-teollisuuden vaatimusten määrittely IoT-alustalle, alustojen vertailu sekä ThingsBoard-alustan ylläpidon tutkiminen.

Työ aloitettiin perehtymällä IoT-käsitteeseen teollisuudessa ja rajaamalla teollisuuteen sopivat alustat. Alustoja tuntui olevan alussa jopa liikaa. Kuitenkin koska yksi vertailun perusteista oli alustan hinnoittelu ja sen ennustettavuus, rajautui alustoista sen perusteella suuri osa pois pelkästään, koska hinnoittelua ei ollut saatavilla. Avoimen lähdekoodin alustoista suuri osa oli rakennettu palvelemaan käyttötarkoitusta varten, joten eivät soveltuneet yleiseen teollisuuden käyttöön ja rajattiin pois vertailusta. Yllättäen oltiin tilanteessa, että mahdollisia alustavaihtoehtoja tuntui olevan vain muutama.

Azuren, Googlen ja AWS:n IoT-ratkaisut koostuivat Azuren IoT Centralia lukuun ottamatta yksittäisistä pilvialustan komponenteista ja syvemmin alustoihin tutustuesssa kävi ilmi, että IoT-toteutuksen rakentaminen näihin pilvialustoihin on huomattavasti monimutkaisempaa ja työläämpää kuin valmiina ratkaisuna myytävä IoT-alusta. Näiden kolmen alustan hinnoittelun arvioiminen osoittautui myös hankalaksi, koska kaikkia tarvittavia komponentteja oli vaikea määrittellä ja jokainen sisälsi omanlaisensa hinnoittelun. Hankaluutta lisäsi myös alustojen hinnoittelujen eroavaisuudet.

Hinnoittelua päädyttiin arvioimaan taulukolla, joka perustui datan määrään. AWS:n, Googlen ja Azuren IoT-alustojen hinnoittelu päädyttiin arvioimaan pelkästään niiden keskuskomponenttien perusteella, vaikka tämä kertookin hinnoittelusta ainoastaan murto-osan, sillä kustannusten parametrin menivät liian monimutkaisiksi.

ThingsBoardin Community-version hinnoittelu oli melko ennustettavissa sisältäen ainoastaan alustan ja tietokannan ylläpidon. Myös Professional-version hinnoittelu oli melko suoraviivaista. Kaa IoT:n hinnoittelu oli samantyylinen ThingsBoard Professional -version kanssa. Myös Azure IoT Central oli melko hyvin ennustettavissa, jos ei tarvitse Azuren muita komponentteja.

Käyttöliittymä oli käyttäjäystävällisin Azure IoT Central- ja ThingsBoard-alustoissa. Seuraavana tulee Kaa IoT, jonka käyttöliittymä sisälsi kolmannen osapuolen palveluita, jotka hankaloittavat hieman käyttöä. ThingsBoard sisälsi kattavimman valikoiman visuaalisia ja säätökomponentteja verrattuna Azure IoT Centraliin ja Kaa IoT -palveluun.

Lopputulokseksi kokonaisuutena soveltuvin IoT-alusta pk-teollisuuden käyttöön tämän työn määriteltyjen ominaisuuksien ja vertailuissa olevien alustojen perusteella on ThingsBoard. Jos haluaa rajattoman määrän laitteita ja viestejä eikä alustan ylläpitäminen omalla palvelimella ei ole ongelma, eikä tarvitse Professional-version lisäominaisuuksia, ThingsBoard Community Edition on mahdollinen ratkaisu. Muussa tapauksessa Professional-versio on paras ratkaisu. ThingsBoard Community edition -version ylläpitämiseen arvioidut kulut olivat suunnilleen 50 euroa kuukaudessa laitteistolla, joka oli hieman yli minimivaatimusten. ThingsBoard Trendz -analytiikkasovellus jätettiin tämän työn ulkopuolelle. Wirokit Oy aloitti opinnäytetyön kirjoituksen aikana ThingsBoard Community edition -version testaamisen, josta oli hyötyä myös tämän työn kirjoittamisessa.

Yritys pystyy hyödyntämään opinnäytetyötä suurten IoT-alustojen kokonaisuuden ja arkkitehtuurin ymmärtämiseen, edullisen IoT-ratkaisun löytämiseen teollisuuteen, ThingsBoard-alustan, sekä yleisesti IoT-alustojen ylläpitoon omalla palvelimella.

## 8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tarkoituksena oli vertailla IoT-alustoja pk-teollisuuden käyttöön. Työssä määriteltiin pk-teollisuuden vaatimukset IoT-alustalle, tutkittiin mahdollisia IoT-alustoja teollisuuden käyttöön sekä tutkittiin ThingsBoard-alustan ylläpitoa pilvipalvelimella.

Alustojen kustannukset olivat yksi eniten esillä olevista seikoista alustojen ominaisuuksista pk-teollisuuteen. Tällä oli kuitenkin ehkä jopa liian merkittävä vaikutus etenkin työn alussa alustojen tutkimiseen ja rajaamiseen, jolloin iso osa IoT-alustoista jouduttiin jättämään työn ulkopuolelle, koska hinnoittelua ei ollut saatavilla tai kustannukset vaikuttivat liian korkeilta. Työhön liittyi paljon alustojen valinta- ja rajaamistyötä, joka tehtiin opinnäytetyön ulkopuolella.

IoT-alustaratkaisuista, joista olisi löytynyt hinnoittelutiedot sekä tekniset ominaisuudet, löytyi lopuksi melko suppea tarjonta pienempien yritysten teolliseen tarpeeseen, vaikka aluksi alustoja tuntui olevan jopa liikaa. Suuret pilvialustat, kuten Azure IoT, AWS IoT ja Google Cloud IoT, oli helppo ottaa mukaan vertailuun, koska hinnoittelu oli helposti saatavilla ja ne sisälsivät runsaan dokumentoinnin. Alustat tulivat myös vastaan lähes jokaisessa aiheeseen liittyvässä tutkimuksessa tai vertailussa. Nämä kolme alustaa osoittautuivat kuitenkin työtä tehdessä melko erilaiseksi mitä aluksi oli käsitys, ja niillä oli hankala toteuttaa alustaa, jota voitaisiin verrata valmiin ratkaisun alustoihin kuten ThingsBoardiin ja Kaa IoT -palveluun.

Hinnoittelun vertailu vei suuren osan työn ajasta ja paljastui hankalaksi toteutettavaksi. Alustojen hinnoittelumallit erosivat suuresti toisistaan ja vaikka isojen Azuren, Googlen ja AWS:n IoT-ratkaisujen hinnoittelut olivat helposti saatavilla, ne muodostuivat erilaisista komponenteista, joilla oli erilliset hinnoittelut. Hinnoitteluun vaikuttavien parametrien määrä kasvoi liian suureksi, että hinnoittelun tarkastelua olisi voitu toteuttaa järkevästi, kun etsittiin alustaa yleiseen pk-teollisuuden käyttöön.

Vaikka hinnoittelun vertailun apuna oli saatavilla suuntaa antava automaattoratkaisu, josta datan, viestien ja laitteiden määrää pystyttiin arvioimaan, niin tämä toimi pelkästään suunnan näyttäjänä ja etsiessä alustaa yleisellä tasolla, joka palvelisi useampaa projektia, datan ja laitteiden määrää jouduttiin lopulta suurelta osin arvioimaan.

IoT-alustojen vertailu oli myös hankalaa johtuen IoT-alustan määritelmän hajanaisuudesta ja alustojen eroavista käyttötarkoituksista ja toiminnoista. Usealla IoT-alustan tarjoajalla verkkosivut oli tehty markkinointimielessä ja todenmukaisen kuvan sai vasta tutustumalla itse alustaan. Tämä ei kuitenkaan ollut aina mahdollista, vaan joissain tapauksissa demo- tai kokeiluersiota ei ollut saatavilla tai se oli mahdollista saada vain ottamalla yhteyttä myyntihenkilöstöön.

Alkuperäisessä suunnitelmassa alustoja oli tarkoitus vertailla Pughin matriisi -nimisellä pisteytystaulukolla, mutta pelkkä alustan ominaisuuksista kertova taulukko osoittautui selkeämmäksi tähän työhön. Aikaa jäi lopuksi vähän yksittäiseen alustaan perehtymiseen.

Yksi alustojen vähemmälle tutkimiselle jäänyt ominaisuus oli raporttien luonti datasta, joka myöhemmin osoittautui melko keskeiseksi IoT-alustan ominaisuudeksi. Työ sisälsi lisäksi suuren määrän tietotekniikan sovelluksia, palveluita ja termistöä, joka tuli uutena ja vaati perehtymistä.

Työtä tehdessä ymmärsi hyödyllisyyden etukäteen tehdystä selkeästä suunnitelmasta, tutkimuksen strategiasta ja riittävästä alustojen vaatimusmäärittelystä. Valitettavasti tämän tajusi vasta kantapään kautta työtä tehdessä. Työn alue oli laaja ja mahdollisia suuntia työlle oli monia, joten tämä aiheutti välillä työn suunnan puuttumista. Viikoittaiset palaverit opinnäytetyön toimeksiantaja Wirokit Oy:n kanssa kuitenkin auttoivat työn valmistumisessa.

## LÄHTEET

- Amazon Web Services. 2021. AWS pricing calculator. [Verkkosivu]. Amazon.com, Inc. [Viitattu 26.4.2021]. Saatavana: <https://calculator.aws/#/createCalculator/IoTCore>
- Amazon Web Services. Ei päiväystä. AWS IoT SiteWise. [Verkkosivu]. Amazon.com, Inc. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavana: <https://aws.amazon.com/iot-sitewise/>
- Amazon Web Services. Ei päiväystä. AWS IoT SiteWise. [Verkkosivu]. Amazon.com, Inc. [Viitattu 2.6.2021]. Saatavana: <https://aws.amazon.com/iam/>
- Amazon Web Services. Ei päiväystä. AWS IoT. [Verkkosivu]. Amazon.com, Inc. [Viitattu 25.5.2021]. Saatavana: <https://aws.amazon.com/iot/>
- Amazon Web Services. Ei päiväystä. AWS Support Plan Pricing. [Verkkosivu]. Amazon.com, Inc. Amazon.com, Inc. [Viitattu 1.6.2021]. Saatavana: <https://aws.amazon.com/premiumsupport/pricing/>
- Buyya, R. & Dastjerdi, A. V. 2016. Internet of things: Principles and paradigms. 1st edition. Amsterdam, Netherlands: Morgan Kaufmann.
- Cirani, S., Ferrari, G., Picone, M. & Veltri, L. 2019. Internet of things: Architectures, protocols and standards. First edition. Hoboken, NJ: Wiley.
- Cloudflare. Ei päiväystä. What is HTTPS? [Verkkosivu]. Cloudflare, Inc. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavana: <https://www.cloudflare.com/learning/ssl/what-is-https/>
- Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen Internet. Helsinki: Talentum.
- Geng, H. 2017. The internet of things & data analytics handbook. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Google Cloud. Ei päiväystä. Cloud IoT Core. [Verkkosivu]. Google LLC. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavana: <https://cloud.google.com/iot-core>
- Google Cloud. Ei päiväystä. Connect and visualize your data in Data Studio. [Verkkosivu]. Google LLC. [Viitattu 25.5.2021]. Saatavana: <https://developers.google.com/datastudio>
- Google Cloud. Ei päiväystä. Google Cloud IoT Core documentation. [Verkkosivu]. Google LLC. [Viitattu 17.5.2021]. Saatavana: <https://cloud.google.com/iot/docs>
- Google Cloud. Ei päiväystä. Technical overview of Internet of Things. [Verkkosivu]. Google LLC. [Viitattu 24.5.2021]. Saatavana: <https://cloud.google.com/architecture/iot-overview>

- Google Cloud. Ei päiväystä. Technical overview of Internet of Things. [Verkkosivu]. Google LLC. [Viitattu 3.6.2021]. Saatavana: <https://cloud.google.com/iot/pricing>
- HAProxy. Ei päiväystä. HAProxy, The Reliable, High Performance TCP/HTTP Load Balancer. [Verkkosivu]. HAProxy. [Viitattu 30.5.2021]. Saatavana: <http://www.haproxy.org/>
- IoT Analytics. 26.1.2016. 5 things to know about the IoT Platform ecosystem. [Verkkosivu]. IoT Analytics GmbH. [Viitattu 1.6.2021]. Saatavana: <https://iot-analytics.com/5-things-know-about-iot-platform/>
- KaaloT Technologies. Ei päiväystä. Architecture overview. [Verkkosivu]. KaaloT Technologies LLC. [Viitattu 15.5.2021]. Saatavana: <https://docs.kaaiot.io/KAA/docs/current/Architecture-overview/>
- KaaloT Technologies. Ei päiväystä. Kaa Enterprise IoT platform subscription plans. [Verkkosivu]. KaaloT Technologies LLC. [Viitattu 25.5.2021]. Saatavana: <https://www.kaaproject.org/pricing>
- KaaloT Technologies. Ei päiväystä. Kaa IoT Platform - Enterprise and Open Source Development History. [Verkkosivu]. KaaloT Technologies LLC. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavana: <https://www.kaaproject.org/kaa-open-source>
- KaaloT Technologies. Ei päiväystä. Kaa IoT Platform Features for Enterprise IoT Projects. [Verkkosivu]. KaaloT Technologies LLC. [Viitattu 31.5.2021]. Saatavana: <https://www.kaaproject.org/overview>
- Kauppalehti. 1.12.2019. Wirokit Oy. [Verkkosivu]. Alma Media Oyj. [Viitattu 1.6.2021] <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/wirokit+oy/29116787>
- Microsoft. 12.11.2020. What are the IoT Central energy solutions? [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavana: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-central/energy/overview-iot-central-energy>
- Microsoft. 15.1.2020. What Azure technologies and services can you use to create IoT solutions? [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 4.5.2021]. Saatavana: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-fundamentals/iot-services-and-technologies>
- Microsoft. 5.3.2021. What is Azure IoT hub? [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 19.05.2021]. Saatavana: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/about-iot-hub>
- Microsoft. 9.4.2021. Transform data for IoT Central. [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 1.6.2021]. Saatavana: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-central/core/howto-transform-data>

- Microsoft. Ei päiväystä. Azure IoT Central pricing. [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 24.4.2021]. Saatavana: <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/iot-central/>
- Microsoft. Ei päiväystä. Azure IoT Hub pricing. [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 24.4.2021]. Saatavana: <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/iot-hub/>
- Microsoft. Ei päiväystä. Azure Time Series Insights. [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 24.5.2021]. Saatavana: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/time-series-insights/>
- Microsoft. Ei päiväystä. Visualize real-time sensor data from Azure IoT Hub using Power BI. [Verkkosivu]. Microsoft Corp. [Viitattu 25.5.2021]. Saatavana: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-hub-live-data-visualization-in-power-bi>
- Mishra, B. & Kertesz, A. 2020. The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey. IEEE Access, 8, pp. 201071-201086.
- Nath, S., Stackowiak, R. & Romano, C. 2017. Architecting the industrial internet: The architect's guide to designing industrial internet solutions. 1st edition. Birmingham, England: Packt Publishing.
- Raj, P., Chelladurai, J. S. & Singh, V. 2015. Learning Docker: Optimize the power of Docker to run your applications quickly and easily. 1st edition. England: Packt Publishing.
- Sharma, S. 2016. Mastering microservices with Java: Master the art of implementing microservices in your production environment with ease. 1st edition. Birmingham: Packt Publishing.
- The ThingsBoard Authors. 2021a. Installing ThingsBoard CE on Ubuntu Server. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 20.4.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/user-guide/install/ubuntu/>
- The ThingsBoard Authors. 2021b. ThingsBoard installation options. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 1.6.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/user-guide/install/installation-options/>
- The ThingsBoard Authors. 2021c. What is ThingsBoard? [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 24.4.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>
- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. ThingsBoard architecture. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 24.5.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/reference/monolithic/>

- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. ThingsBoard IoT Platform deployment scenarios. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 15.5.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/reference/iot-platform-deployment-scenarios/>
- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. ThingsBoard Microservices architecture. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 30.5.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/reference/msa/>
- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. ThingsBoard Monolithic architecture. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 25.5.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/reference/>
- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. ThingsBoard PE Demo Getting Started. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/reference/pe-demo-getting-started/>
- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. ThingsBoard Performance on different AWS instances. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 25.4.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/reference/performance-aws-instances/>
- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. ThingsBoard Pricing. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 25.5.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/pricing/>
- The ThingsBoard Authors. Ei päiväystä. Trendz Analytics. [Verkkosivu]. The ThingsBoard Authors. [Viitattu 18.5.2021]. Saatavana: <https://thingsboard.io/docs/trendz/>
- Tilastokeskus. Ei päiväystä. Pienet ja keskisuuret yritykset. [Verkkosivu]. Tilastokeskus. [Viitattu 22.5.2021]. Saatavana: [https://www.stat.fi/meta/kas/pienet\\_ja\\_keski.html](https://www.stat.fi/meta/kas/pienet_ja_keski.html)
- Watts, S. 2016. The Internet of things (IoT): Applications, technology, and privacy issues. New York: Nova Publishers.
- Wirokit Oy. 2020. We rock IT. [Verkkosivu]. Wirokit Oy. [Viitattu 1.6.2021]. Saatavana: <http://www.wirokit.com/>