

IoT-alustojen vertailu: Case HAMK Smart



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeen ammattikorkeakoulukeskus, tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Kevät, 2020

Juuso Saari

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma
Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Tekijä	Juuso Saari	Vuosi 2020
Työn nimi	IoT-alustojen vertailu: Case HAMK Smart	
Työn ohjaaja/t	Erkki Laine	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli verrata Thinger.io, Thethings.io ja Altair SmartWorksin luomia IoT-alustoja. Tutkimuksessa käytetyt kriteerit alustojen testaamiseen olivat liitettävyyden, käyttöliittymän, laitehallinnan, tietokannan ja prosessoinnin ja toimintojen hallinnan. Opinnäytetyön teoriaosuus käsittelee esineiden internetin eri osa-alueita johdonmukaisesti. Teoriaosuuden tietopohja rakennettiin monista eri tietolähteistä. Lähdekriittisyyttä harjoitettiin etsimällä mahdollisimman uusia lähteitä ja vertailemalla lähteiden asiasisältöä keskenään.

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Hämeen ammattikorkeakoulun HAMK Smart -tutkimusyksikkö. Tutkimusyksikkö työskentelee alueen elinkeinoelämän kanssa ja pyrkii parantamaan julkisten ja yksityisten yritysten kilpailukykyä.

Opinnäytetyön vertailun lopputuloksena oli, että Altair SmartWorks on alustan ominaisuuksiltaan parhain. Vertailuissa saatujen tulosten avulla voi todeta, että alustoilla on huomattaviakin eroja tietyillä osa-alueilla ja se myös näkyy saaduissa tutkimustuloksissa. Alustan valintaan vaikutti myös hinnoittelu, josta löytyi selviä eroavaisuuksia alustojen välillä. Vertailun lopputuloksista muodostettiin vertailumatriisi havainnollistamaan alustojen eroja.

Avainsanat Esineiden internet, Teknologiaapino, Pilvipalvelumalli

Sivut 34 sivua, joista liitteitä 1 sivua

Degree Programme in Business Information Technology
Hämeenlinna University Centre

Author	Juuso Saari	Year 2020
Subject	Comparison of IoT platforms: Case HAMK Smart	
Supervisors	Erkki Laine	

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by the research unit HAMK Smart research unit located in Hämeenlinna University Centre. The function of this research unit is to support the local economy. HAMK Smart were planning to deploy an IoT platform but they needed test results between these three platforms which became the topic of this thesis.

The purpose of this thesis was to compare Thinger.io, Thethings.io and Altair SmartWorks IoT platforms and to demonstrate the results with a comparison matrix. There were five different criteria for the platforms including connectivity, user interface, device management, databases and processing and actions management.

The theoretical part of the thesis was built around Internet of Things and different technologies surrounding it. The knowledge base was ensured to be up to date by collecting information from various sources and comparing the subject matters with each other. Sources used were also selected by the year of release so that the information used was as recent as possible.

The result of this thesis was that Altair SmartWorks provides the best overall IoT platform. There were some significant differences between the three platforms, and it shows in the research results. Also, pricing was a factor when the research was carried out.

Keywords Internet of Things, Technology Stack, Cloud computing

Pages 34 pages including appendices 1 pages

SANASTO

Kyberfyysinen järjestelmä	Järjestelmä, joka on vuorovaikutuksessa lähellä olevan fyysisen maailman kanssa.
On Premises	Asiakkaan omissa tiloissa toimiva palvelu, joka on hänen vastuullaan.
HTTP	Transfer Protocol, hypertekstin siirtoprotokolla, joka on käytössä selaimissa ja WWW-palvelimissa.
URI	Universal Resource Identifier, merkkijono, joka on tietyn resurssin tunniste esimerkiksi sivu tai dokumentti.
WPAN	Wireless Personal Network Area, likiverkko, joka mahdollistaa datan välityksen laitteiden kesken.
REST	Representational State Transfer, HTTP-protokollaan perustuva arkkitehtuurimalli.
CoAP	Constrained Application Protocol, kevyt viestintäprotokolla, joka on suunniteltu rajoitettuja laitteita varten.
MQTT	MQ Telemetry Transport, kevyt viestintäprotokolla, joka on suunniteltu rajoitettuja laitteita varten.
IoT node	Laitteet, jotka ovat liitettynä IoT-ympäristöön ja tuottavat dataa esimerkiksi sensorit ja aktuaattorit.
Cloud computing	Pilvilaskenta, joka sisältää pilvipalvelumuotoja kuten IaaS, SaaS ja PaaS.
CSMA	Carrier Sense Multiple Access, tietoliikenteen siirtotien varausmenetelmä.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ESINEIDEN INTERNET.....	6
2.1	Käsitteitä IoT-maailmassa	6
3	ESINEIDEN INTERNETIN MAHDOLLISTAVA INFRASTRUKTUURI	9
3.1	Teknologiapino.....	9
3.2	Tietokannat ja arkkitehtuurit	10
3.3	Sensorit ja aktuaattorit	12
3.4	Tietoliikenne.....	12
3.4.1	Verkkotyypit	12
3.4.2	Tiedonsiirron protokollat.....	14
3.5	Data-analytiikka.....	15
3.6	Pilvipalvelumallit	16
3.7	Pilvipalvelujen toteutusmallit	18
3.8	Pilvipalvelujen hyödyt ja haasteet	18
4	TIETOTURVA	21
4.1	Tietokoneforensiikka.....	22
4.2	Lohkoketju.....	23
5	IOT-ALUSTOJEN OSA-ALUEET	24
6	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	27
7	ALUSTOJEN VERTAILU.....	29
7.1	Thinger.io	29
7.2	Thethings.io.....	30
7.3	Altair SmartWorks	31
8	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	35

Liitteet

Liite 1 Vertailumatriisi

1 JOHDANTO

Esineiden internet, lyhyesti IoT on tällä hetkellä hyvin ajankohtainen asia, sillä maailma on täynnä älykkäitä laitteita, jotka ovat yhdistettynä toisiinsa internetin kautta. Esineiden internetin runkona toimii teknologiapino, joka kuvastaa infrastruktuuria, jonka päälle esineiden internet on rakennettu. Infrastruktuuriin kuuluu esimerkiksi verkkotyyppejä, tiedonsiirtoprotokollia ja arkkitehtuureja, jotka ovat riippuvaisia toisistaan. Esineiden internet on maailmanlaajuinen ilmiö ja se mahdollistaa uudenlaisien palvelujen luonnin, kuten IoT-alustat, jotka keräävät ja visualisoivat älykkäistä laitteista saadun datan.

Tutkimuksen toimeksiantajana toimii HAMK Smart-tutkimusyksikkö. Heidän toiveenansa oli saada lähtökartoitus kolmen eri IoT-alustan ominaisuuksista ja toiminnallisuuksista. Lopputuloksista muodostetaan vertailumatriisi, joka havainnollistaa alustojen eroavaisuudet eri toiminnoissa.

Tutkimuksen teoriaosuus koostuu monista eri vaiheista, ensimmäisenä perehdytään esineiden internetin infrastruktuuriin, joka käydään läpi teknologiapinon mukaisesti. Teksti sisältää myös näkökulmia siitä, kuinka tietoturva tulisi ottaa haltuun IoT-ratkaisuissa ja kuinka hankalaa on pitää IoT-ympäristöt turvallisena. Teoriaosuuden lopussa pyritään antamaan pohjaa sille mistä osa-alueista IoT-alustat oikeastaan koostuvat.

Tutkimuksen käytännön osuudessa testataan kolmen eri alustan ominaisuuksia ja toiminnallisuuksia. Vertailussa käytetään viittä eri kriteeritä, jotka ovat liitettävyys, käyttöliittymä, laitehallinta, tietokanta ja prosessin ja toimintojen hallinta. Lopuksi tuloksista muodostetaan vertailumatriisi ja ominaisuuksien laajuudet arvostellaan asteikkolla 1-5.

Tutkimuksen aihe valikoitui omien kiinnostuskohteiden myötä. Asiaa myös helpotti se, että HAMK Smartilta sai tarvittavan ohjeistuksen ja Arduino-kehitysalustan käytännön osuutta varten. Aihe vastasi haastavuudeltaan omaa osaamistani ja asiaa myös helpotti oma tietämys aiheesta entuudestaan. Opinnäytetyö onnistui suunnitellusti ja määritetyn aikataulun puitteissa.

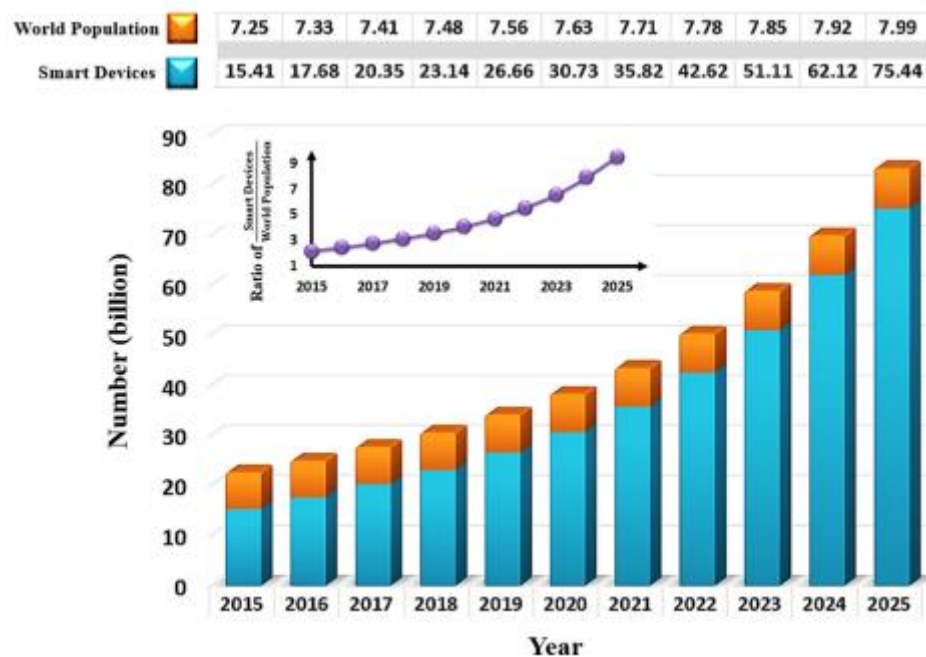
- Mikä on teknologiapino ja mitä se kuvastaa?
- Mikä alustoista sopii parhaiten HAMK Smartin toimintaympäristöön?

2 ESINEIDEN INTERNET

Esineiden internet eli Internet of Things tai lyhyesti IoT viittaa niihin kaikkiin laitteisiin, jotka ovat jollain tavalla kytkettynä verkkoon ja siten keräävät ja jakavat dataa. (Mohamed, 2019, s.1-2)

Voisi luulla, että Internet of Things on hyvinkin uusi asia, mutta se on ollut olemassa jo muutaman vuosikymmenen. Käsite esineiden internet tuli laajemmin esille vuonna 1999, kun Kevin Ashton piti aiheesta esityksen Procter & Gamble tapahtumassa. Kuvasta 1 näkyy IoT-laitteiden ennustettu kehitys seuraavien vuosien aikana. (Mohamed, 2019, s.1-2)

IoT on iso osa nykyelämää ja samalla se on myös koko ajan kasvava ala. On ennustettu, että seuraavan vuosikymmenen alussa yli 50 miljardia laitetta on kytkettynä verkkoon. Tähän mahtuu monenlaisia eri osa-alueita kuten esim. kommunikointi välineet, sensorit, anturit ja sulautetut järjestelmät, mitkä ovat yleisiä automaation parissa. (Mohamed, 2019, s.1-2)



Kuva 1. IoT-laitteiden kasvusuhdanne (Alavi, Jiao, Buttler & Lajnef, 2018)

2.1 Käsitteitä IoT-maailmassa

Teollisella internetillä älykkäistä laitteista ja erilaisista sulautetuista järjestelmistä saatavalla tiedolla ja datalla pyritään tuomaan lisäarvoa yritysten liiketoimintaan. Fyysiset laitteet liitetään verkkoon sensoreiden tai antureiden avulla, jotka reagoivat eri tapahtumiin ja näin viestivät tapahtumat datan muodossa. On monia asioita, jotka tulevat takaamaan sen, että teollinen internet tulee pysymään ajankohtaisena, kuten teknologian nopea ja taukoamaton kehitys, tietoverkkojen uudistuminen ja tekniikan

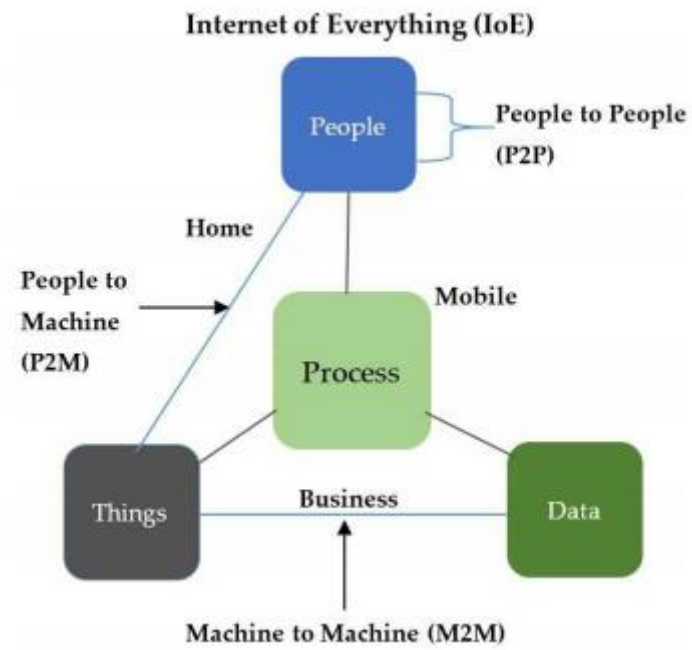
lisääntyminen ja monipuolistuminen. (Känsäkoski, Peltokangas, Saviranta, Tasala & Toivanen, 2018, s.4)

Laitteiden välinen viestintä tulee sanoista Machine to Machine Communication, lyhyesti M2M tarkoittaa kahden langallisen tai langattoman laitteen välistä kommunikointia, joka ei välttämättä tarvitse ihmisen läsnäoloa. Juuri siksi M2M teknologiaa käytetään etälaitteiden hallinnassa ja seurannassa. Tämän ansiosta kustannustehokkuus lisääntyy, kun laitteita automatisoidaan. (Li Da Xu, Eric L. Xu & Ling Li, 2018, s.134)

Industry 4.0:lla kuvataan teknologian neljättä vallankumousta, jolla pyritään siirtymään sulautetuista järjestelmistä kyberfyysisiin järjestelmiin. Virtuaalinen maailma sulautuu yhteen fyysinen maailman kanssa ja näin voidaan saada aikaan uudenlaisia innovointeja kuten älytehdas, jolla tarkoitetaan tehtaita ilman ihmisen tarvetta olla läsnä. Industry 4.0 aikakaudella laitteet keskustelevat keskenään tai ihmisen kanssa internetin välityksellä. (Li Da Xu ym., 2018, s.1).

Massa data tulee englannin kielen sanoista Big data. Kun puhutaan Big Datasta, sillä tarkoitetaan suurta määrää dataa, jota ei voida suodattaa perinteisillä prosessointitavoilla. Suuri määrä dataa sisältää väistämättömästi arvokasta tietoa, joka ei ole löydettävissä ensisilmäyksellä. Dataa voidaan käyttää selvittämään uusia trendejä ja kaavoja ihmisten elämässä. (Grable & Lyons, 2018, s.1)

Kaiken internet eli Internet of Everything, lyhyesti IoE on ilmiö, joka yhdistää ihmiset, fyysiset esineet, prosessit ja datan. IoE kuvaa maailmaa, jossa miljardi eri laitteet mittaavat ja arvioivat ympäristöään. Kaiken internetin avulla pyritään tuomaan lisäarvoa yritysmaailmaan sekä yksityishenkilöiden arkeen. Kuva 2 käy läpi prosessin, jota IoE:llä pyritään kuvastamaan. (Miraz, Maaruf, Excell & Picking (2018)



Kuva 2. Kaiken Internet havainnollistettuna (Miraz ym., 2018)

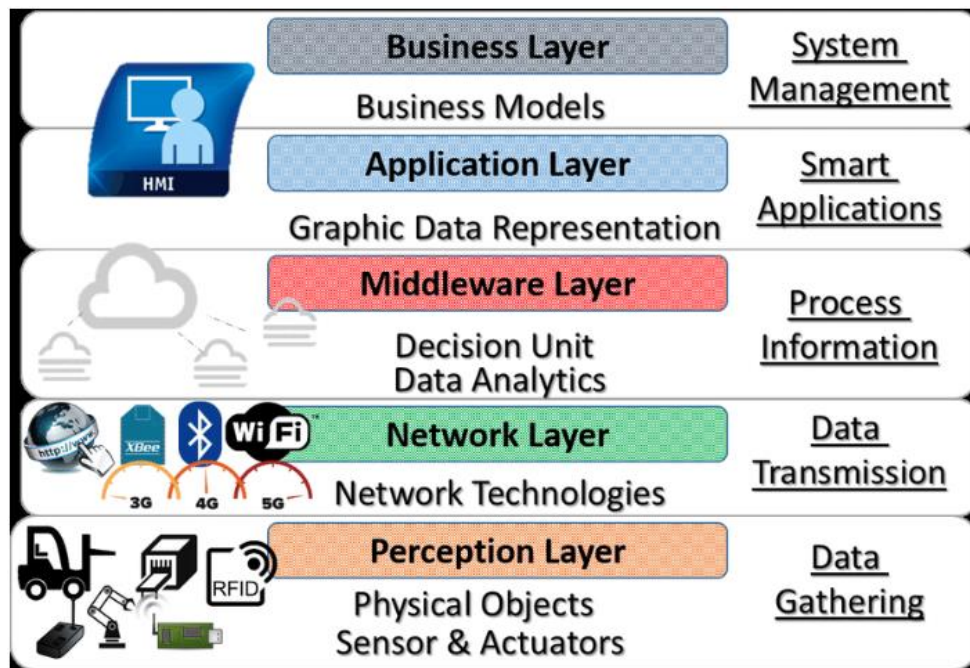
3 ESINEIDEN INTERNETIN MAHDOLLISTAVA INFRASTRUKTUURI

IoT-ympäristön luominen ei onnistu ainoastaan käyttämällä yhtä teknologiaa vaan se koostuu useista eri teknologioista, jotka täydentävät toisiaan. IoT-konseptissa kaikki, mikä on mahdollista automatisoida, automatisoidaan. IoT-teknologia on suunniteltu suorittamaan useita päätoimintoja kuten kerätä, siirtää, prosessoida ja tallentaa dataa. (Mohamed, 2019, s.4)

3.1 Teknologiapino

Tällä hetkellä esineiden internetin potentiaalin avaamiseen vaaditaan uudenlaisen teknologisen infrastruktuurin luomista. Infrastruktuurin eri osat alueet ovat teknisesti valmiita tuotantokäyttöön, mutta valmiista pakettia ei ole olemassa, joten organisaatio joutuu itse löytämään tarpeelliset osat liiketoiminnan tueksi. (Collin & Saarelainen 2016, s.141)

Yksi yleisimmistä malleista kuvata esineiden internetin mukana tuleva infrastruktuuri on teknologiapino, joka esitellään kuvassa 3. Sen lähtökohdista on havainnollistava, mistä teknisistä kokonaisuuksista esineiden internet koostuu. (Collin & Saarelainen 2016, s.141)



Kuva 3. IoT-arkkitehtuurin eri tasot (Antão, Pinto, Reis & Gonçalves, 2018)

Perception Layer eli havaintokerros koostuu erilaisista fyysisistä laitteista kuten antureista, älypuhelimista ja videokameroista, joita käytetään IoT-maailmassa sijaintien tunnistamiseen ja tiedon keräämiseen

lähiympäristöstä. Havaintokerros tuottaa usein suuren määrän dataa, joka on koottava ja analysoitava, jotta sitä voidaan käyttää reaaliajassa tapahtuviin ilmiöihin. (Lee, 2019, s.6)

Antureilta saatu data kulkee verkkokerroksen eli *Network Layerin* läpi ja päätyy prosessoitavaksi välitysohjelmakerrokselle. Verkkokerros sisältää infrastruktuurin, joka tukee langattomia ja kiinteitä yhteyksiä laitteiden välillä. Verkkokerros käyttää viestintätekniikoita kuten WiFi, Bluetooth ja ZigBee. Verkkojen käyttöönotto, hallinta ja aikatauluttaminen ovat välttämättömiä verkkokerrokselle. (Lee, 2019, s.7)

Middleware Layer eli käsittelykerros tallentaa, analysoi ja käsittelee verkkokerrokselta tulevaa dataa. Käsittelykerros sisältää sellaisia alustoja kuten tietokannan hallinnan, data-analytiikan ja pilvipalvelut. IoT-laitteista saadun suuren datamäärän takia monet IoT-sovellukset vaativat massiivista tallennustilaa, suuria prosessointinopeuksia reaaliaikaisen päätöksenteon mahdollistamiseksi ja nopean laajakaistaverkon datan, audion ja kuvan suoratoistamiseksi. (Lee, 2019, s.7)

Application Layer eli sovelluskerros koostuu joukosta ongelmakohtaisista sovelluksista tai ratkaisuksista, jotka ovat vuorovaikutuksessa käyttäjien kanssa, jakavat ja ratkaisevat ongelmia muiden sovellusten kanssa. Sovelluskerros vastaa myös datan ja tiedon yhtenäistämisestä ja esittämisestä ne käyttäjille käyttäjäystävällisessä muodossa. Sovellusten kehittämisen helpottamiseksi useita sovellusprotokollia käytetään hyväksi, kuten CoAP tai MQTT. Sovelluskerros helpottaa lukemattomien määrän yritystoimintaa hyödyttävien IoT-aplikaatioiden kehittämistä ja auttaa johtajia ymmärtämään, minkä tyyppisiä yrityssovelluksia on tarjolla. (Lee, 2019, s.7)

Yritysten internet-arkkitehtuurin ylin kerros on *Business Layer* eli yritystoimintakerros, joka vastaa yrityksen internet-palvelujen toiminnasta. Yritystoimintakerroksessa pyritään suunnittelemaan, toteuttamaan ja kehittämään asiakkaiden käyttämiä IoT-palveluita. IoT-palveluilla tarkoitetaan toimintoja, joiden avulla luodaan lisäarvoa käyttäjille ja asiakkaille sovellusten tai ratkaisujen avulla. Yritystoimintakerros tarjoaa suunnan neljälle alatasen kerrokselle. (Lee, 2019, s.8)

3.2 Tietokannat ja arkkitehtuurit

Tässä osiossa käsitellään tietokantamalleja ja arkkitehtuureja, jotka ovat hyvin yleisiä IoT-maailmassa. Tietokannat sekä IoT-arkkitehtuurit ovat siirtymä vaiheessa vanhoista teknologioista uusiin johtuen datan kasvun suuresta määrästä.

SQL on kankea tietokantamalli sillä se edellyttää, että data varastoidaan tietokannan ennalta määrätyn mallin mukaan, data tallennetaan tietokannassa oleviin sarakkeisiin ja riveihin. SQL-kannoissa on ongelmia nopeuden ja skaalautuvuuden kanssa. (Collin & Saarelainen, 2016)

Datamassat kasvavat jatkuvasti, joten väistämättä SQL-kanta hidastuu jopa käyttökelvottomaksi IoT-ympäristöissä. SQL-kantojen eduksi voidaan laskea sen suuri tunnettavuus ohjelmisto- ja tuotekehittäjien parissa. SQL-kannoille on myös vuosien aikana kehitetty suuri määrä kehityksessä apuna käytettäviä työkaluja. (Collin & Saarelainen, 2016)

NoSQL-tietokanta eli ei-rakenteellinen on joustava ja hyvin skaalautuva. Tietokantaan voi viedä sekalaista dataa ilman pakkoa luokitella ja pilkkoa dataa sopivan kokoiseksi eri sarakkeille ja riveille. Samaan NoSQL-tietokantaan voi viedä erilaista tietoa, joka voi olla rakenteellista tai sekalaista tietoa eri lähteistä. NoSQL-tietokannat eivät ole täysin ilman rakennetta sillä datassa on tietty rakenne, jonka perusteella se voidaan hakea tietokannasta. Datan rakennetta ei tarvitse kuitenkaan tarkentaa etukäteen, mikä helpottaa muutosten tekemistä. (Collin & Saarelainen, 2016)

NoSQL-tietokannoilla on myös huonot puolensa, kuten tiedon eheys varmistaminen, mutta riski on eri tavoin hallittavissa. Hakujen suorittaminen on myös hankalampaa ja hitaampaa kuin vastaavasti SQL-tietokannoissa. NoSQL-tietokannan päälle voi kuitenkin rakentaa SQL-rajapinnan, joka tuo mukanaan tehokkaat hakutoiminnot ja samalla se tuo ratkaisun ongelmaan. (Collin & Saarelainen, 2016)

Nykyisin käytössä oleva IoT-arkkitehtuuri on rakennettu keskitetyn mallin mukaan, jota kutsutaan palvelin-asiakasmalliksi. Keskitetyssä mallissa kaikki laitteet eivät kommunikoi keskenään vaan ne kommunikoivat keskitetylle yhdyskäytävälle. (Atlam, Alenezi, Alassafi & Wills, 2018, s.41-42)

IoT-laitteiden suuren kasvun myötä viestinnän määrä tulee osoittumaan liian suureksi tehtäväksi palvelin- tai asiakasmallille. Tulevaisuudessa keskitetty malli ei pysty mahdollistamaan IoT-maailman kasvua. (Atlam ym., 2018, s.42)

On mahdollista, että kehittynyt IoT vaatii keskitetyn järjestelmän laajentamista hajautettuun muotoon. Taustalla on edelleen keskitetty järjestelmä, mutta dataa tuottavat päätelaitteet voivat kommunikoida keskenään ilman keskitetyn järjestelmän ohjausta. (Collin & Saarelainen, 2016)

Hajautetussa arkkitehtuurimallissa tiedot ja ohjelmistot on jaettu monille eri sivuille ja ne ovat yhdistetty verkon kautta, joka mahdollistaa viestinnän, prosessien lähettämisen ja niiden aktivoinnin sivustolta toiselle. Hajautetut tietokannat jaetaan kahteen eri tyyppiin; homogeenisiin ja heterogeenisiin. Tyyppi määräytyy sen mukaan, onko palvelimet, asiakastietokoneet ja kaikki ohjelmistot identtisiä hajautetussa tietokantajärjestelmässä. (Tupper, 2011)

Hajautettu arkkitehtuuri mahdollistaa vertaisverkon käytön, hajautetun auditoinnin ja datan jakamisen. Hajautetun arkkitehtuurin muihin etuihin

kuuluu viiveen minimointi tietoliikenteen ja datan prosessoinnin parissa, resurssien tehokkaamman käytön mahdollistaminen, kun prosessoidaan dataa lähellä sen synty- ja kulutuspaikkaa. (Collin & Saarelainen, 2016)

3.3 Sensorit ja aktuaattorit

Jokainen IoT-laite vaatii yhden tai useamman sensorin voidakseen kerätä dataa lähiympäristöstä. Sensorit ovat keskeinen osa älykkäitä laitteita. Yksi esineiden internetin tärkeimmistä näkökulmista on asiayhteystietoisuus, joka ei olisi mahdollista ilman sensortekniikkaa. Sensorit ovat pääasiassa pieniä, kustannus- ja energiatehokkaita, juuri tämän takia ne sopivat hyvin IoT-maailmaan. Yksi syy esineiden internetin suureen kasvusuhdanteeseen on se, että anturijärjestelmien kokoa ja kustannuksia on saatu pienennettyä huomattavasti puolijohteiden valmistuksen ja mikromateriaalien edistymisen myötä. (Pallavi & Smruti, 2017; Perry, 2018, s.40)

Sensorit kuuluvat IoT-maailman keskeisiin komponentteihin. Sensorit aistivat fyysiset ominaisuudet tai ilmiöt, jotka tapahtuvat niiden läheisyydessä ja lähettävät erilaisia parametrejä käyttötarkoituksen mukaan kuten esim. Lämpötilan, paineen tai kosteuden. Sensorit jaetaan toimintojensa mukaan joko analogisiin, digitaalisiin tai datatyyppin mukaisiin tyypeihin. Sensorit voivat olla joko passiivisia, jolloin sensori ei vaadi ulkoista virtasignaalia tai aktiivisia, jotka saavat heräte- tai tehosignaalin. (Mohammed, 2019, s.21-22)

Aktuaattorit ovat yksi keskeisimmistä komponenteista IoT-maailmassa. Ne suorittavat toimintoja sensoreilta saamansa datan mukaan. Aktuaattorit vaativat ohjaussignaalin ja virtalähteen. On olemassa kolme erityyppistä aktuaattoria; mekaaninen, sähköinen ja ilmanpaineella toimiva. Aktuaattori muuntaa sähköisen signaalin mekaaniseksi signaaliksi tai joksikin muuksi hyödylliseksi energiamuodoksi. Joitakin esimerkkejä, jotka sisältävät aktuaattoreja ovat kaiuttimet, lämmittimet, jäädytys-elementit ja näyttöt. Aktuaattorit voivat olla sähköisiä, hydraulisia tai pneumaattisia toimilaitteita toimintatarkoituksen mukaan. (Mohammed, 2019, s.28)

3.4 Tietoliikenne

Tässä kappaleessa käydään läpi eri verkkoteknologioita ja eri tiedonsiirron protokollia. Verkkoteknologiat on jaettu niiden kantaman mukaan lyhimästä pisimpään. Tiedonsiirron protokollat on valikoitu niiden IoT-ympäristöön sopivuuden takia.

3.4.1 Verkkotyypit

Personal Area Network eli likiverkko on pienin ja perustason verkkotyyppi. Likiverkko voi koostua monesta eri laitteesta kuten langattomasta modeemista, tietokoneesta tai puhelimisista. Tämän tyyppiset verkot ovat

tyypillisesti yleisiä pienissä toimistoissa tai asunnoissa, ja niistä hallitsee yksi henkilö tai organisaatio yhdestä laitteesta. (Belden, 2016)

Bluetooth Low Energy eli BLE on yksi tärkeimmistä langattomista IoT-teknologioista. BLE on suunniteltu lyhyen kantaman, matala kaistanleveyden ja pienen latenssin IoT-sovelluksia varten. BLE-teknologian hyötyihin kuuluu hyvin pieni virrankulutus, lyhyt asennusaika ja se tukee tähtiverkkotopologiaa, jossa on rajattomia määriä solmuja. (Sadowski & Spachos, 2018, s.3)

Bluetooth Low Energyn avulla laitteet voivat pysyä päällä kuukausia tai jopa vuosia hyvin pienten paristojen avulla. Tämän takia BLE soveltuu hyvin rajoitettujen laitteiden pariin, jotka vaativat pitkän akunkeston. Bluetooth Low Energy lähettää dataa pienissä sarjoissa ja niiden ei ole pakko tapahtua usein. (Gupta, 2016, s.6)

ZigBeen etuna on sen yksinkertaisuus, pieni virrankulutus ja turvalliset verkkoyhteysominaisuudet. ZigBeen perustana toimii IEEE 802.15.4 standardi, joka määrittelee langattomien henkilökohtaisten verkkojen toimintatapiteen. Laitteet, jotka käyttävät IEEE 802.15.4 standardia pystyvät hallitsemaan datan kulkua ja estämään datan katoamisen käyttämällä CSMA-varausmenetelmää. (Sadowski & Spachos, s.30152)

ZigBeellä on myös suurempi kantoalue kuin Bluetoothin Low Energy teknologialla, koska se käyttää solmuverkkoa määränpään saavuttamiseen. Zigbeetä käytetään usein sensoreiden parissa juuri sen hyvän virrankulutuksen ansiosta. (Sadowski & Spachos, 2018, s.30152)

Local Area Network eli lähiverkko on yleisin ja yksinkertaisin verkkotyyppi. Lähiverkot yhdistävät ryhmän koneita ja matalajännitteisiä laitteita yhteen, jotka ovat lyhyen matkan päässä toisistaan, yleensä yhden tai muutamien rakennuksen välillä toisistaan. (Belden, 2016)

WiFi on yksi käytetyimmistä langattomista teknologioista. Wifi-teknologiaa käytetään pääasiassa langattomissa lähiverkoissa (WLAN). Monet IoT-laitteet käyttävät WiFiä juuri sen laajan saatavuuden takia. WiFi tarjoaa myös kattavan tietoturvan ja yksityisyyden takaavia standardeja. Yhdeksi WiFi:n ongelmaksi voi muodostua sen suuri käyttäjämäärä ja tämän myötä tulevat häiriöongelmat. (Sadowski & Spachos, 2018, s.30151)

WiFi:n eduista yksi on sen 802.11ah-standardi, joka on kehitetty IoT- ja M2M laitteita varten. Se tuo mukanaan yli kilometrin kantaman, hyvän läpäisykyvyn ja vähäisen virrankulutuksen. (Collin & Saarelainen, 2016)

Wide Area Network eli laajaverkko pystyy yhdistämään laitteita pidempien fyysisten etäisyyksien välillä. Tämä mahdollistaa IoT-laitteiden olemisen etäyhteydessä verkon välityksellä, vaikka ne olisivatkin toisistaan kaukana. (Belden, 2016)

Sigfox on pitkänmatkan tiedonsiirtoprotokolla, joka käyttää kapeakaistaista tiedonsiirtoa. Se käyttää radiotaajuuksien (ISM-kaista) ilmaisia osia tiedonsiirtoon. 4G-verkkojen sijasta Sigfox keskittyy käyttämään erittäin pitkiä aaltoja, tämän avulla etäisyys voi nousta 1000 km:iin. Sigfox pystyy lähettämään vain 12 tavua viestiä kohtia, ja laite on rajoitettu 140 viestiin päivässä. Sigfoxia käytetään sukellusvenesovelluksissa, ohjaukoodien ja hätäkoodien lähettämässä, etäasemien seurantaan ja lääketieteellisiin sovelluksiin. (Pallavi & Smruti, 2017)

LoRaWAN:lla on samankaltaisia ominaisuuksia kuin Sigfox:lla. Se on suunnattu laajakaistaverkko-sovelluksiin ja pienitehoiseksi protokollaksi. Sen tiedonsiirtonopeus voi vaihdella 0,3-50 kbps välillä ja sitä voidaan käyttää kaupunki- tai lähiympäristössä. Se on suunniteltu toimimaan standardina pitkän kantaman Internet-protokollille. (Pallavi & Smruti, 2017)

3.4.2 Tiedonsiirron protokollat

MQTT on yksinkertainen ja kevyt viestintäprotokolla, joka on suunniteltu laitteille, joilla on pieni kaistanleveys, korkea viive tai epävakaa verkko. MQTT-protokolla pyrkii minimoimaan kaistanleveyden ja laiteresurssien vaatimuksia, samalla lisäämään luotettavuutta ja parantamaan tiedonsiirron onnistumista. Näiden periaatteiden takia MQTT on ideaali protokolla IoT-maailmaan, jossa kaistanleveys on yksi tärkeimmistä asioista. MQTT protokollan hyödyt ovat seuraavat: (Perry, 2018, s.305)

- Helppo käyttöönotto
- Kevyt ja tehokas kaistankäyttäjä
- Kyky toimia monen eri järjestelmän kanssa
- Luotettavuus
- Skaalautuvuus

CoAP on viestintäprotokolla, joka on optimoitu resurssillisesti rajoitettuja verkkoja ja laitteita varten. CoAP perustuu REST-arkkitehtuuriin, jossa resurssit ovat palvelimien ohjaamia abstraktioita, jotka saadaan esille haku-prosessin avulla ja tunnistetaan käyttäen URI-merkkijonoa (Universal Resource Identifier). (Colitti, Steenhaut & De Caro, 2017, s.2)

CoAP koostuu HTTP-protokollan ominaisuuksista, jotka on suunniteltu ottaen huomioon rajoitettujen laitteiden vaatimukset, kuten matala prosessointikyky ja virrankulutukseen liittyvät rajoitukset. CoAP-protokollan mukana on myös lisätty erilaisia mekanismeja ja toimintoja, jotta se olisi soveltuva protokolla IoT ja M2M-laitteita varten. Kuva 4 kuvastaa CoAP- ja HTTP-protokollien hyötyeroja. (Colitti ym., 2017, s.2)

	Bytes per transaction	Power	Battery lifetime
CoAP	154	0.744 mW	151 days
HTTP	1451	1.333 mW	84 days

Kuva 4. CoAP- ja HTTP-protokollien hyötyerot (Colitti ym., 2017, s.3)

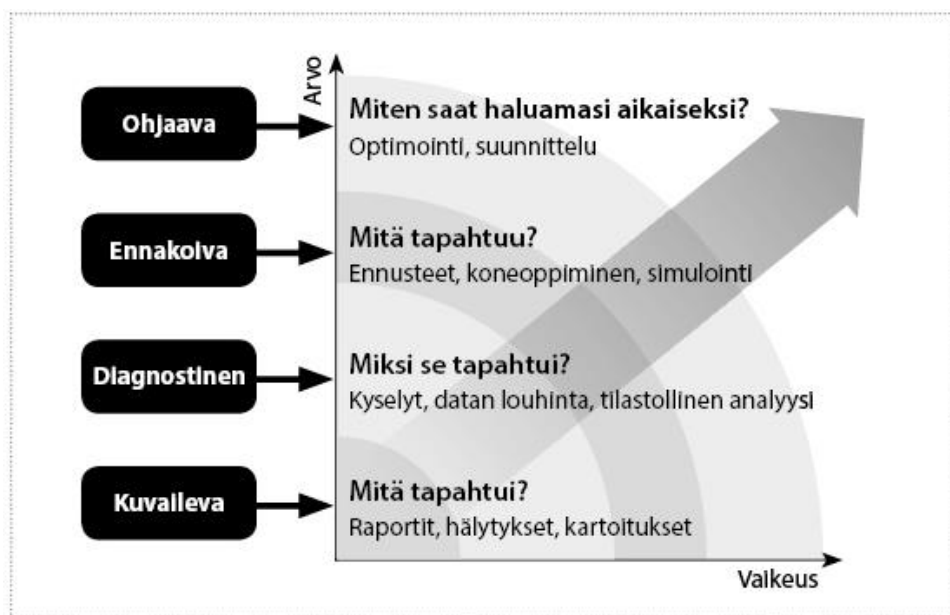
AMQP on avoimen standardin sovellusprotokollan väliohjelmisto, joka mahdollistaa palvelimien välisen viestinnän. Se on täysin riippumaton sekä alustasta että kielestä, jota kummatkin pääpalvelimet käyttävät. AMQP-protokollan avulla voi säätää datan toimitusvaihtoehtoja, jolla tarkoitetaan, kuinka usein data liikkuu laitteiden välillä. (McAteer, Malik, Baig & Hannay, 2017, s.71)

AMQP-protokollan vahvuuksiin kuuluu yksinkertaisuus, tietoturva ja yhteen toimivuus. Protokolla mahdollistaa valtavan määrän pienikokoisten viestien lähettämisen nopeassa tahdissa. (Collin & Saarelainen 2016)

3.5 Data-analytiikka

Data-analytiikan avulla pyritään etsimään informaatiota, joka tuo lisäarvoa liiketoiminnan eri osa-alueisiin, kuten ennustaa tulevia trendejä tai löytää ihmisten rutiineja ja samalla parantaa toiminnan tehokkuutta ja laatua. On tärkeä tietää etukäteen mitä haluaa dataalta, jotta siitä voidaan juuri jalostaa liiketoimintahyötyä, kuten vaikka uusia palveluita. Tämän takia on kriittistä tuntea datan konteksti tarkasti, kuten datan tuotantoympäristö, yrityksen ja sen asiakkaiden liiketoimintaympäristö, kilpailutilanteeseen vaikuttavat tekijät ja yrityksen toimintasuunnitelma. Kuva 5 kuvastaa data-analytiikan eri tasoja ja mitä kuhunkin tasoon kuuluu (Collin & Saarelainen, 2016)

Yhdistettyjen laitteiden ja tietoliikenteen määrän kasvaessa IoT-ympäristöissä, tarvitaan uusia kalibrointi- ja analyttisiä tekniikoita. IoT-järjestelmät tarvitsevat yhteisen analyttisen alustan ison datan tukemiseksi. Eri-laiset tiedon louhintamenetelmät kuten tekoäly, koneoppiminen ja muut älykkäät päätöksentekoa algoritmit mahdollistavat laskentaprosessimallien löytämistä suurista dataseteistä. Näitä tekniikoita voidaan käyttää raakadatan järjestämiseen ja siitä käyttökelpoisen tiedon keräämiseen. (Čolaković & Hadžialić, 2018, s.29)



Kuva 5. Data-analytiikan eri tasot (Collin & Saarelainen, 2016)

3.6 Pilvipalvelumallit

Tässä luvussa käydään läpi eri pilvipalvelumalleja, jotka ovat hyvin keskeisessä osassa ihmisen elämää. Eri palvelumallit sisältävät eri palveluita aina yhdestä sovelluksesta kokonaisuin toiminnanohjausjärjestelmiin. Kuva 6 kertoo missä menee palveluntarjoajan ja asiakkaan vastualueet.

Infrastruktuuri palveluna, lyhyesti IaaS on pilvipalvelumuoto, jossa palveluntarjoaja antaa asiakkaalle tarvittavat työkalut pilvipalvelun rakentamiseen. Tyypillisesti tähän kuuluu tietokoneet, joko virtuaalisesti tai fyysisesti, datalle vaadittava säilytystila ja pääsy verkkopalveluihin. (AWS, 2020)

IaaS-palvelumuoto tuo mukanaan useita hyötyjä kuten mahdollisuuden saada tarvittavat palvelut minuuteissa, maksat siitä mitä käytät ja mahdollisuuden skaalata resursseja juuri niitä tarvitsemiin paikkoihin. IaaS-palvelumuodossa asiakkaan vastuulle jää applikaatiot, tietoturva, tietokannat ja käyttöjärjestelmät. (IBM, 2019)

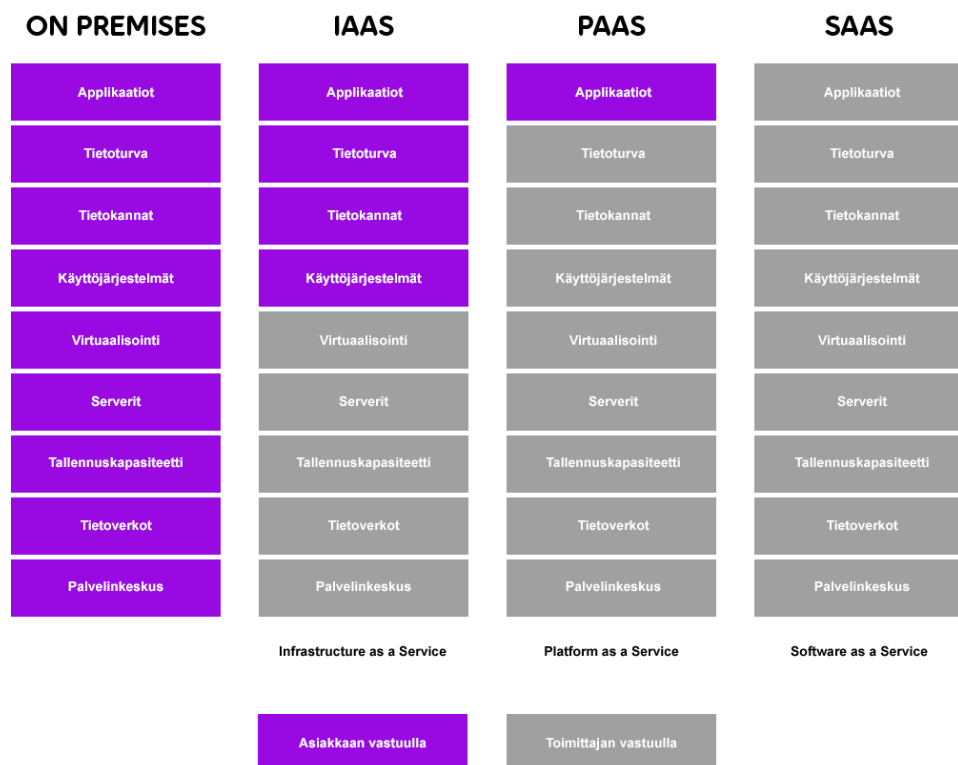
Alusta palveluna tulee englanninkielisistä sanoista Platform as a Service, lyhyesti PaaS. PaaS on pilvipalvelumuoto, joka tarjoaa asiakkaalle valmiin alustan ja siihen tarvittavat laitteistot, ohjelmistot ja infrastruktuurin sovellusten kehittämiseen, ajamiseen ja hallintaan. PaaS-palvelumuodossa palveluntarjoaja isännöi palvelimia, verkkoja, tallennustilaa, käyttöjärjestelmäsovelluksia ja tietokantoja. (IBM, 2019)

PaaS-palvelumuoto antaa asiakkaalleen monenlaisia hyötyjä ilman riskiä ja pakkoa joutua investoimaan niiden käyttämistä tarvittavaan infrastruktuuriin. PaaS tarjoaa asiakkaalleen tyypillisesti pääsyn laajempaan valikoimaan sovelluskehityspinoa, pääsyn eri käyttöjärjestelmiin, väliohjelmiin ja

tietokantoihin. PaaS-palvelumuodon avulla voit myös skaalata palveluita kysynnän mukaan. PaaS-palvelumuodossa asiakkaan vastuulle jäävät ainoastaan applikaatiot. (IBM, 2019)

Software as a Service, lyhyesti SaaS eli ohjelmisto palveluna on pilvipalvelumuoto. SaaS on palvelumuoto, joka tarjoaa asiakkaalle valmiita tuotteita, joita palveluntarjoaja ylläpitää ja hallinnoi. Palveluntarjoaja antaa asiakkaalle verkkopohjaisen pääsyn yhteen kopioon sovelluksesta. Sovellusten lähdekoodi on sama kaikille asiakkaille ja kun uusia ominaisuuksia julkaistaan ne ovat saatavilla jokaiselle asiakkaalle. (Microsoft Azure, 2020)

SaaS-palvelumuodossa palveluntarjoaja vastaa jokaisesta palvelun osasta. Palvelut vaihtelevat aina Office-sovelluksen käytöstä kokonaisuun ERP-toiminnanohjausjärjestelmiin. Käyttäjät voivat käyttää suurinta osaa SaaS-sovelluksista suoraan nettiselaimen kautta ilman tarvetta ladata ja asentaa ohjelmistoja. (Microsoft Azure, 2020)



Kuva 6. Pilvipalvelumuodot ja niiden vastualueet havainnollistettuna (inmicsnebula, 2018)

3.7 Pilvipalvelujen toteutusmallit

Tässä osiossa käsitellään kolmea erilaista tapaa ottaa haltuun pilvipalveluita. Jokainen tapa tarjoaa erilaisia hyötyjä ja mahdollisesti ongelmakohtia täysin riippuen käyttötarpeesta. Mallien välillä on eroja yksityisyyden kanssa ja kuka palvelusta on vastuussa.

Julkinen pilvi on yleisin pilvipalvelutapa. Tässä tapauksessa serverit ja tallennustila ovat kolmannen osapuolen omistuksessa. Palveluntarjoaja myös tarjoaa työkalut ja ohjelmistot organisaation käytettäväksi, ja ne ovat myös palveluntarjoajan vastuulla. Julkisessa pilvipalvelumallissa organisaatiot jakavat keskenään samat työkalut ja ohjelmistot. Palveluiden käyttö ja hallinta tapahtuu nettiselaimen kautta. Julkisen pilvellä yleisimpiä käyttötapoja ovat verkkoteknologiaan perustuva sähköposti, toimisto-ohjelmat internetin kautta, tiedontallennusväline tai testausympäristönä. (Microsoft Azure, 2020)

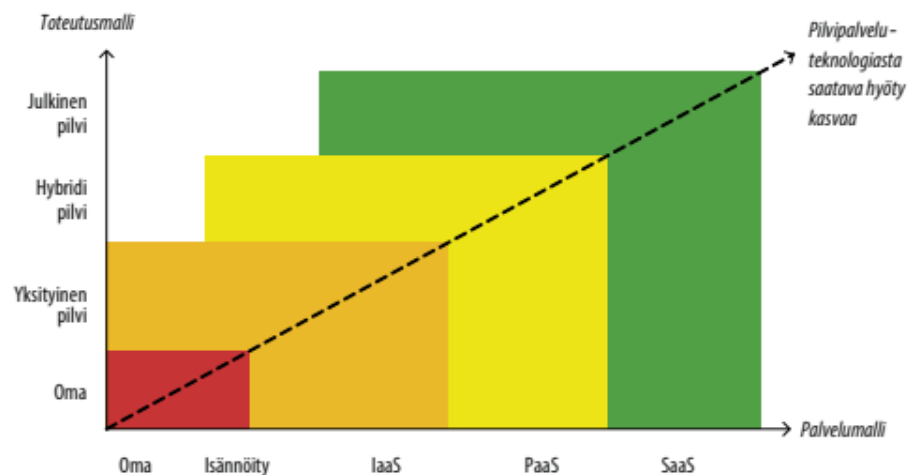
Yksityisellä pilvellä tarkoitetaan palvelua, joka on vain tietyn organisaation käytettävissä. Fyysisesti palvelu voi sijaita organisaation omissa tiloissa tai sitä voidaan ylläpitää kolmannen osapuolen toimesta. Yksityisessä pilvipalvelumuodossa palvelut ja infrastruktuuri ovat yksityisen verkon alaisuudessa, tämän ansiosta organisaation on helpompi muokata palveluaan omiin käyttötarpeisiinsa. Yksityinen pilvipalvelu on usein käytössä valtion virastoilla, rahoituslaitoksilla sekä keskisuurilla ja suuryrityksillä, joiden toimintaan perustuu liiketoimintapainotteisiin palveluihin. (Microsoft Azure, 2020)

Hybridi pilvipalvelumuotoon on liitetty julkisenmallin sekä yksityisenmallin parhaat puolet. Tässä mallimuodossa organisaatio voi käyttää hyödyksi julkista pilveä suuren volyymin käsittelyyn ja alhaisemman tietoturvan tarpeisiin ja yksityistä pilveä silloin kun käsittelyssä on arkaluontoisempaa tietoa. (Microsoft Azure, 2020)

3.8 Pilvipalvelujen hyödyt ja haasteet

Pilvipalvelujen avulla kustannustehokkuutta saadaan nostettua korkealla automatisointiasteella, sekä asiakkaalta ei odoteta palveluiden ylläpitämiseen ja tuottamiseen liittyviä taitoja. Nykyajan pilvipalveluteknologia mahdollistaa myös palvelun skaalautumiskyvyn, jolloin asiakas voi lisätä ja laskea palvelun tuotantotehoa tarpeen mukaan. (Valtiovarainministeriö, 2018, s.15-16)

Palveluntarjoajalla on usein tietämystä ja resursseja tarjota luotettavampaa tietoturvaa kuin asiakkaan itse pystyy toteuttamaan. Pilvipalvelut mahdollistavat myös sen, että organisaatio voi halutessaan käyttää samaa infrastruktuuria monen asiakkaan palvelemiseen. Kuva 7 kertoo asiakkaan näkökulmasta pilvipalveluteknologiasta saatavia eri hyötytasoja. (Valtiovarainministeriö, 2018, s.15-16)

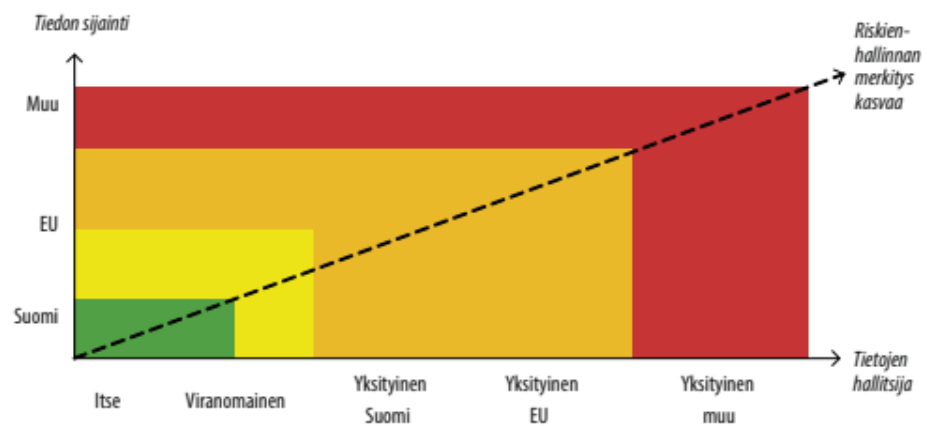


Kuva 7. Pilvipalveluista saatavien hyötyjen erot eri toteutus- ja palvelumalleilla kuvattuna. (Valtionvarainministeriö, 2018, s.15)

Organisaation tulee ottaa huomioon toiminnan jatkuvuus, tarkoittaen sitä, että palvelut ovat saatavilla niille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Tästä esimerkkinä voisi olla tilanne, jossa tiedon tulee pysyä Suomen alueen sisällä ja palvelun hallinta toteutua Suomesta käsin. (Valtiovarainministeriö, 2018, s.19-20)

Tietoturvan kannalta pitää suunnitella tiedon ja sen käsittelyyn tarvittavien palveluiden sijainti. Tämä mahdollistaa tiedon luottamuksellisuuden, saatavuuden ja eheyden, lisäksi tällöin tiedon hävittäminen ja sen todentaminen on omassa käsissä. Jos tieto ja sen mukana tulevat palvelut sijaitsevat organisaation ulkopuolella on otettava huomioon lainsäädäntö, tietoliikenteen saatavuus ja tiedon luottamuksellisuus. Kuva 8 havainnollistaa tiedon sijainnin ja hallitsijan merkitystä sekä riskinhallintaa. (Valtiovarainministeriö, 2018, s.20)

On myös mietittävä, miten vastuu jaetaan palveluntarjoajan ja asiakkaan välille, esimerkiksi kuka omistaa mitään tietoa ja kuka vastaa mahdollisista tietovuodoista tai tiedon kokonaan katoamisesta. Sopimuksen loppuessa palveluntarjoajan kanssa, mitä tapahtuu tämän jälkeen palvelussa varastoidulle tiedolle? (Valtiovarainministeriö, 2018, s.20)



Kuva 8. Tiedon sijainnin ja hallinnan merkitys riskinhallinnassa (Valtiovaraministeriö, 2018, s.17)

4 TIETOTURVA

Turvallisuuskysymykset, kuten yksityisyys, kulunvalvonta, turvallinen viestintä ja tietojen turvallinen varastointi, ovat muodostumassa suureksi haasteeksi IoT-ympäristössä. IoT-laitteiden ja palveluiden nopea kasvu luo käyttöönnotossa monia haavoittuvia ja epävarmoja solmuja. Lisäksi tavanomaisesta käyttäjälähtöisestä turvallisuusarkkitehtuurista ei ole juurikaan hyötyä oliopohjaisissa IoT-verkoissa. (Conti, Dehghantanha, Franke & Watson, 2017, s.544)

Conti ym. (2017, s.545) esittävät, että IoT valtaa pian jokaisen elämämme osa-alueen aina oman kodin lämpötilan hallitsemisesta auton hallitsemiseen. Heidän mukaansa voi olla pian mahdollista, että ihmiset haastavat toisiaan oikeuteen älykkäiden laitteiden väärinkäytöstä, itsestään ohjattavien autojen aiheuttamista onnettomuuksista tai tietohyökkäyksen murrettujen sensoreiden takia. (Conti ym., 2017, s.545)

Eri IoT-alueilla todentaminen mahdollistaa erilaisten IoT-laitteiden integroinnin, joita käytetään eri yhteyksissä. Todennusprosessiin sisältyy datan siirtoon liittyvien reititysparien ja tietolähteen reitin todentaminen. (Conti ym., 2017, s.545)

Tehokas salausavainten käyttöönotto ja avainhallinta on haaste IoT-laitteiden todennuksessa. Minkä tahansa salausavaimen luominen tai avainten vaihdon ei tulisi aiheuttaa huomattavaa yleisrasitetta IoT-solmuille. Varmenteen myöntäjän puuttuessa tarvitaan muita mekanismeja salausavainten validointiin ja eheyden varmistamiseen avaimen siirrosta. (Conti ym., 2017, s.545)

Valtuutus tarkoittaa käyttöoikeuksien määrittämistä eri resursseille, kun taas pääsynvalvontamekanismien tulisi taata vain valtuutettujen henkilöiden pääsyn niille tarkoitettuihin resursseihin. (Conti ym., 2017, s.545)

Jokainen IoT-solmu voi tukea vain rajoitettuja mekanismeja pääsyn varmentamiseen, joka voi erota muista kytketyistä objekteista, jotka ovat samassa solmussa. Siksi räätälöityjen käyttöönotto- ja hallintamekanismien luominen tietyille solmuille on haaste heterogeenisessä IoT-verkossa. (Conti ym., 2017, s.545)

Autonomisten esineiden käyttöönotto IoT-ympäristöissä, jotka keräävät ihmisten yksityisiä tietoja, luovat uuden tason uhkia yksilöiden yksityisyyttä kohtaan. Toisin kuin perinteiset skenaariot, joissa käyttäjät suorittavat joitain toimintoja, kuten hakusanalla etsiminen tai perustietojen syöttäminen, IoT-solmut keräävät ihmisten yksityisiä tietoja ilman, että he edes huomaavat. (Conti ym., 2017, s.545)

Nykyiset mekanismit tarjoavat käyttäjäkeskeisen, sisältöön suuntautuneen ja kontekstisuuntaisen yksityisyyden. IoT-verkot ovat kuitenkin suunniteltu sisältämään itsenäisiä solmuja, jotka keräävät tietoa ja vaativat oliokeskeisiä tietosuojamalleja. (Conti ym., 2017, s.545)

Lisäksi suurin osa yksityisyyden suojaa koskevista säännöistä velvoittaa pitämään käyttäjät ajan tasalla siitä, kuinka heidän yksityisiä tietojansa hallitaan ja hallinnoidaan. Joillakin solmuilla voi olla passiivisesti pääsy käyttäjiltä kerättyihin tietoihin, joka on valtava haaste heterogeenisissä IoT-verkoissa. (Conti ym., 2017, s.545)

Arkkitehtuurin rakentaminen, joka pystyy vastaamaan edellä mainittuihin turvallisuushaasteisiin IoT-ympäristössä ei ole yksinkertaista. IoT-arkkitehtuurien ei tulisi pelkästään koskea vain aiemmin mainittuja turvallisuuskykyjä, mutta käsitellä haasteita, jotka ilmentyvät, kun IoT-laitteita otetaan käyttöön SDN-verkkoteknologian ja pilvi infrastruktuurien avulla. (Conti ym., 2017, s.545)

Suurin osa pilviympäristöjen tietoturvaongelmista väistämättömästi periytyvät taustalla oleviin IoT-sensoreihin. Lisäksi monimutkaisuus, joka tulee turvallisesti oliokeskeisten IoT-verkkojen yhdistämisen datakeskeisiin pilvi-infrastruktuureihin tuo mukanaan monia ennenaikemättömiä turvallisuushaasteita. Myös haitallisen liikenteen havaitseminen ja sen ohjaaminen pois omasta verkosta on erittäin haastava tehtävä nykyisille tunkeutumisen havaitsemiseen suunnitelluille ehkäisyjärjestelmille. (Conti ym., 2017, s.545)

4.1 Tietokoneforensiikka

IoT-järjestelmien läsnäolon havaitseminen on melko haastavaa, koska nämä laitteet on suunniteltu toimimaan passiivisesti ja itsenäisesti. Useimmissa tapauksissa, kun IoT-laite on tunnistettu, ei ole olemassa dokumentoitua menetelmää tai luotettavaa työkalua kerätä laitteesta jäännöstodisteita. On hyvin rajallisia menetelmiä, joilla saadaan IoT-laitteesta rikostekninen kuva eettiset näkökohdat huomioimatta. Reaaliaikainen ja autonominen vuorovaikutus solmujen välillä tekee rikospaikan laajuuden ja rajojen hahmottamisesta erittäin vaikeaa ja se on tälläkin hetkellä valtava haaste IoT-ympäristössä. (Conti ym., 2017, s.545)

Suurin osa IoT-solmuista ei tallenna metatietoa, mukaan lukien ajallista tietoa, mikä tekee todisteiden alkuperästä haasteen tutkijoille. Ajallisten tietojen kuten muokatun, käytetyn ja luodun ajan, puuttuessa, korrelaatio eri IoT-laitteista kerätyn tiedon välillä on melkein mahdotonta. Teknisten haasteiden lisäksi yksityisyys on tärkeä ottaa huomioon analysoitaessa ja korreloidessaan kerättyjä tietoja etenkin, koska suurin osa internetin sensoreista kerää henkilökohtaista tietoa. (Conti ym., 2017, s.545)

4.2 Lohkoketju

Blockchain eli suomeksi lohkoketju on hajautettu muuttumaton todistettavissa oleva pääkirja. Tyypillinen ryhmäketju koostuu sarjasta tapahtumia, jotka on laitettu yhteen lohkoon. Nämä lohkot ovat yhdistetty siten, että jos jokin tapahtuma muuttuu yhdessä lohkoissa, se on päivitettävä kaikissa seuraavissa lohkoissa. Koska pääkirjaa ylläpidetään monien eri vertaisryhmien avulla, on tapahtumia vaikea muuttaa. Kaikkien vertaisryhmien on hyväksyttävä tai validoitava jokainen tapahtuma, jotta se voidaan lisätä lohkoketjuun. (Sengupta, Ruj & Das Bit, 2019, s.12)

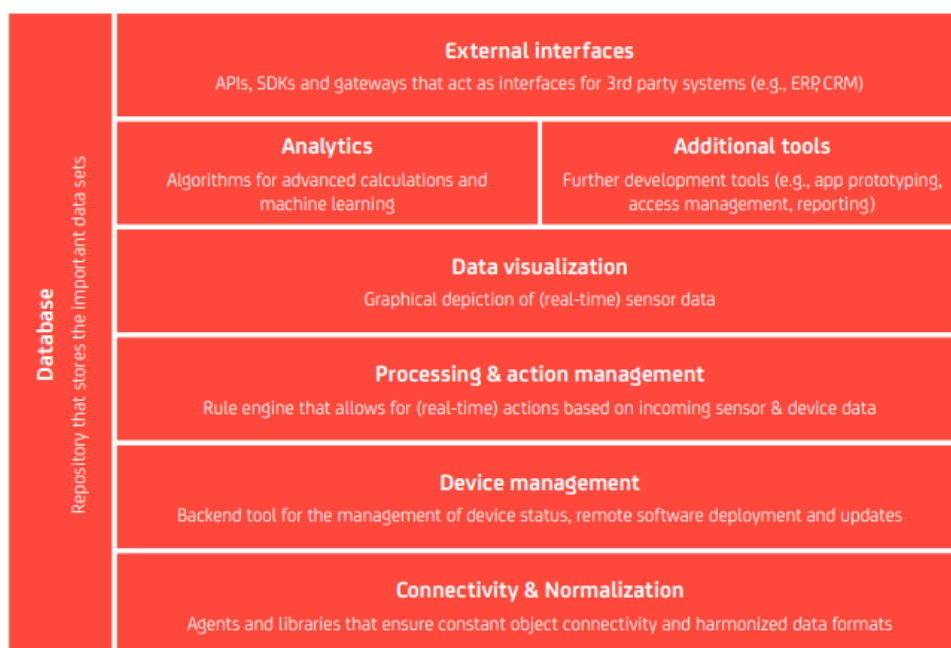
Blockchainia käytettiin alun perin rahoitustaloustoimien kirjaamiseen, jossa kaikki liiketoimet ovat koodattu ja jokainen osallinen sai kopion tapahtumasta. Siten kaikki tapahtumat ovat avoimia, ja kaikki muutokset voidaan jäljittää ja havaita helposti. Blockchainia voidaan myös soveltaa IoT-tietoturvan parantamiseksi. (Mandrita, Junghee, Kim-Kwang, 2017, s.156)

Blockchain mahdollistaa hajautetun tavan tallentaa tietoa. Sitä voidaan käyttää liiketoimien käsittelyn mahdollistamiseksi, joka tuo mukanaan merkittäviä säästöjä IoT-teollisuuden valmistajille. Hajautettu lähestymistapa eliminoisi yksittäisiä vikakohtia, luomalla joustavamman ekosysteemin laitteille. Lohkoketjujen käyttämät salausalgoritmit auttaisivat myös tekemään kuluttajadatasta myös yksityisempää. (Sengupta ym., 2019, s.12)

5 IOT-ALUSTOJEN OSA-ALUEET

IHS määrittelee IoT-alustan pilvipohjaiseksi tai paikallisiksi ohjelmistopaketeiksi ja niihin liittyviksi palveluiksi, jotka mahdollistavat kehittyneiden IoT-palveluiden tukemisen. IoT-alustat auttavat sovelluskehittäjiä virtaviivaistamaan ja automatisoimaan yleisiä ominaisuuksia, jotka muuten vaatisivat lisää aikaa, vaivaa ja kustannuksia. IoT-alustojen avulla yritykset voivat hallita suuria määriä laitteita ja yhteyksiä useiden tekniikoiden ja protokollien kautta. IoT-alustan avulla sovelluskehittäjät voivat yhdistää laitteen ja yhteystiedot yrityskohtaisiin asiakastietoihin ja siten luoda kehittyneempiä IoT-sovelluksia. (IHS Technology, 2016, s.13)

IoT-analytics määrittelee IoT-alustan jaettavaksi kahdeksaan eri osa-alueeseen, jotka näkyvät kuvassa 9. Näihin osa-alueisiin kuuluvat Liitettävyyys ja normalisointi, laitteen hallinta, tietokanta, prosessointi ja toimintojen hallinta, analytiikka, datan visualisointi, muut työkalut ja ulkoiset rajapinnat. (iot-analytics, 2015, s.7)



Kuva 9. IoT-alustan kahdeksan eri osa-alueita (iot-analytics, 2015, s.7)

IoT-alusta alkaa liitettävyyserroksella. Sen tehtävänä on tuoda erilaiset protokollat ja datamuodot yhteen ja muodostaa ohjelmisto yhdeksi rajapinnaksi. Tämä on tarpeen, jotta voidaan varmistaa kaikkien laitteiden vuorovaikutus ja että tiedot luetaan oikein. Laitetietojen pitäminen yhdessä paikassa ja yhdessä muodossa on perusedellytys IoT-laitteiden seurannalle, hallinnalle ja analysoinnille. (iot-analytics, 2015, s.8)

Kehittyneet laitteet tarjoavat ohjelmointirajapinnan, joka sallii standardoidun kommunikoinnin alustalle. Kuitenkin hyvin usein niin sanotut

ohjelmistoagentit on kehitettävä ja asennettava laitteistoon, jotta IoT-alusta pystyy luomaan vakaan yhteyden. (iot-analytics, 2015, s.8)

IoT-alustan laitehallintamoduuli varmistaa, että kytketyt laitteet toimivat oikein ja että ohjelmistot ja sovellukset on päivitetty ja ne ovat toiminnassa. Tässä moduulissa suoritettaviin tehtäviin kuuluu laitteen käyttöön-otto, etämääritys, laiteohjelmiston tai ohjelmistopäivitysten hallinta ja vi-
anmääritykset. Kun miljoonista erilaisista laitteista tulee osa IoT-verkkoa, on automaation kehittäminen välttämätöntä kustannuksien hallitsemiseksi ja käsityön vähentämiseksi. (iot-analytics, 2015, s.8)

Tiedonvarastoiminen on keskeinen osa IoT-alustaa. Laitetietojen hallinta vaatii tietokannoilta valmiuden käsitellä hyvin suurta määrää dataa. Tietokannan tulee myös osata käsitellä monenlaista dataa, sillä IoT-laitteita on paljon erilaisia ja nämä voivat tuottaa dataa, joka voi olla epätarkkaa tai epämääräistä. Datavirtoja on voitava päästä analysoimaan välittömästi ja dataa on voitava tallentaa, vaikka se olisi rakenteellista tai ei-rakenteellista. (iot-analytics, 2015, s.8)

Data, joka on kerätty liitettävyyssmoduulissa ja on tallennettuna tietokantaan, herää eloon tässä IoT-alustan osiossa. Sääntöpohjainen toiminnanlaukaisija mahdollistaa älykkäitä toimintoja, jotka perustuvat tiettyyn anturitietoon. Esimerkkinä älykkäässä kodissa voidaan toiminnanlaukaisija määritellä niin, että kaikki valot sammuvat, kun henkilö poistuu talosta. Tämä perustuu if-this-then-that-sääntöön (IFTTT), eli jos talon omistajan GPS-signaali on tietyn matkan päässä talosta niin tällöin valot sammuvat. (iot-analytics, 2015, s.8)

Monet IoT-laitteiden käyttötapaukset ylittävän toiminnanhallinnan ja vaativat monimutkaisia analysointitapoja, jotta IoT-datavirrasta saataisiin mahdollisimman paljon irti. Esimerkiksi älykkäissä kodeissa analytiikkamoottori voi tarjota algoritmeja, jotka mahdollistavat IoT-alustan päätellä mikä valon ja lämmityksen yhdistelmä sopii kodin omistajalle, milloin minäkin vuorokaudenaikana ja riippuen sääolosuhteista. (iot-analytics, 2015, s.8-9)

Toiselta nimeltään visuaalinen analytiikka muuntaa raakadatan visuaaliseen muotoon esimerkiksi 2D- tai 3D-malleilla. Ihmisen silmän ja aivojen yhdistelmä on edelleen kehittyneempi kuin useimmat analyttiset ja sääntöihin perustuvat moottorit. Siksi datan visualisointi on niin tärkeää, koska se mahdollistaa ihmisen nähdä ja analysoida eri kaavoja ja trendejä. Datan visualisointia varten tarvittava visuaalinen kojelauta löytyy usein IoT-alustalta, jota palveluntarjoaja tarjoaa. (iot-analytics, 2015, s.9)

Hyvin pitkälle kehittyneet IoT-alustat tarjoavat usein muitakin työkaluja IoT-ratkaisujen kehittäjille ja ylläpitäjille. Kehitystyökalujen avulla IoT-sovellusten tuotekehittäjät voivat testata prototyyppiään, joka voi olla esimerkiksi

älypuhelinsovellus, joka visualisoi ja hallitsee kytkettyjen laitteiden ohjaimista. (iot-analytics, 2015, s.9)

Johtamiseen keskittyneet työkalut tukevat päivittäisiä IoT-sovelluksen toimintoja. Esimerkiksi pääsyhallinta -työkalu, joka määrittää kenellä on käyttöoikeuden mihin laitteeseen ja mihinkin tietoihin. Raportointityökalut mahdollistavat datan viennin, tietokyselyiden luonnin ja muita ulostulon tapoja. (iot-analytics, 2015, s.9)

Esineiden Internetiin perustuva liiketoiminta rakennetaan hyvin harvoin itsenäiseksi. Yrityksissä on hyvin tärkeää, että IoT integroituu jo olemassa oleviin järjestelmiin, hallintatyökaluihin ja laajempaan IT-ekosysteemiin. Hyvin suunnitellut ulkoiset rajapinnat tehostavat integrointeja huomattavasti, jolloin kuukausien urakka voikin onnistua muutamissa päivissä. (iot-analytics, 2015, s.9)

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä opinnäytetyö on suoritettu käyttäen kvalitiivista eli laadullista tutkimusmenetelmää. Opinnäytetyön teoriaosuus koostuu esineiden internetin eri osa-alueista ja näin tutkimukselle ja opinnäytetyön lukijoille pyritään rakentamaan tietoperusta käytännönsuutta varten. Käytännön osuus koostuu vertailusta kolmen IoT-alustan välillä ja vertailusta muodostetun tutkimustulosten havainnollistamisella tekstin ja kuvien avulla.

Kvalitiivisessa tutkimuksessa pyritään ymmärtämään kohdetta kokonaisvaltaisesti käyttäen apuna laadullista aineistoa. Laadullista aineistoa tulee olla monipuolisesti ja luotettavista lähteistä. Kvalitiivisessa tutkimuksessa on tärkeää rajata tutkimuksen kohde tai ilmiö. Tutkimuksen alkuvaiheessa pitää selvittää mitkä ovat tutkimuksen päälinjat ja tavoitteet. (Proakatemia, 2018)

Tutkimuksen edetessä on tärkeää, että tutkimuksen jokainen kohta vietään loppuun saakka eikä kirjoiteta eri aihealueita samanaikaisesti, jotta tutkimuksen tulos ei vääristy. Tämä toimintatapa kasvattaa ymmärrystä ja mahdollisesti tuo uusia oivalluksia valitusta aiheesta. (Proakatemia, 2018)

Tutkimuksen lähestyessä loppua tulee sen sisältää jossain muodossa lopupohdinta, mikä tuo julki lopullisen määritelmän tai lopputuloksen. Saatua tuloksia on hyvä verrata tutkimustuloksiin ristiriitojen ja samankaltaisuuksien löytämiseksi. Näiden avulla voit laatia kehitysehdotuksia tai jatkokysymyksiä tutkimukseesi liittyen. (Proakatemia, 2018)

Tutkimuksen teoriaosuutta on pohjustettu keräämällä tietoa monesta eri kirjallisuuden lähteestä ja muista teoreettisista lähteistä. Eri lähteiden valitsemisessa on otettu huomioon kirjoittajien pätevyys ja asiatekstin tietoa on vertailtu samankaltaisiin lähteisiin, jotta voidaan olla varmoja, että teksti perustuu faktatietoon. Julkaisuvuosi on otettu myös huomioon lähteiden valinnassa ja sen avulla on pyritty estämään vanhentuneen tiedon vaikuttamista opinnäytetyöhön.

Tutkimuksen käytännön osuus toteutettiin kirjoittamalla tutkitusta kohteesta tarvittavat tiedon ylös samalla hetkellä, jotta hankittu tieto ei pääsisi unohtumaan ja siten se pysyisi luotettavana. Käytännön osuus aloitettiin vasta teoriaosuuden tultua valmiiksi ja tämän avulla luotiin vahva tietopohja aiheesta.

Vertailumatriisin tarkoitus on havainnollistaa tutkimuksessa havaittuja eroja alustojen välillä. Vertailtavat ominaisuudet ovat liitettävyys, käyttöliittymä, laitehallinta, tietokanta sekä prosessointi ja toimintojenhallinta. Jokainen alusta arvostellaan asteikolla 1-5 ja lopuksi ominaisuuksista saadut pisteet lasketaan yhteen. Asteikon heikon arvosana yksi kuvastaa ominaisuuden olevan suppea tai vaikea käyttöinen. Kolme pistettä annetaan

ominaisuudelle, joka on melko laaja ja sen käytettävyys onnistuu ilman suuria ongelmia. Asteikon parhain arvosana viisi annetaan ominaisuudella, joka on hyvin laaja ja käytettävyys onnistuu luontevasti. Vertailumatriisi löytyy liitteenä opinnäytetyön lopusta.

7 ALUSTOJEN VERTAILU

Tässä osiossa tulen käymään kolme vähemmän tunnettua IoT-alustaa läpi, jotka ovat Thinger.io, Altair SmartWorks.io ja Thethings.io. Liitettävyyden helppoutta tullaan testaamaan liittämällä jokaiselle alustalle Arduino Wemos D1 mini Pro -kehitysalusta. Arduinoa varten tulee koneelle ladata Arduino IDE -kehitysympäristö, joka mahdollistaa Arduino alustan kehittämisen. Muita ominaisuuksia tullaan käymään läpi yleisesti ja testaamalla niitä myös itse. Muihin vertailu ominaisuuksiin kuuluu käyttöliittymä, laitehallinta, tietokanta sekä prosessoinnin ja toimintojen hallinta. Saaduista lopputuloksista luodaan vertailumatriisi havainnollistamaan alustojen ominaisuuksien eroja.

7.1 Thinger.io

Thinger.io on avoimella lähdekoodilla toimiva pilvipohjainen IoT-alusta. Käyttäjän luonti alustalle on täysin ilmaista ja perusominaisuudet saa heti käyttöön, kuten laitehallinnan ja mahdollisuuden luoda kojelautoja laitteen eri käyttötarpeita varten. Käyttäjän on myös mahdollista päivittää tilinsä ja valita pilvipalvelutarjoaja muutamasta eri vaihtoehdoista.

Arduinon liittäminen alustalle on yksinkertaista ja onnistuu muutamalla rivillä koodia. Ennen alustalle liittämistä tulee olla tiedossa Arduinon tarkka malli, sillä Thinger.io nettisivuilla on eri ohjeet liittämistä varten kullekin mallille. Mitä tahansa laitetta ei voi lisätä alustalle vaan sen tulee olla joko Arduino, Lixux-pohjainen laite, Raspberry Pi tai laitteen tulee tukea Sigfox-, HTTP-, MQTT-protokollaa.

Thinger.io on suunniteltu lähinnä yksittäisten henkilöiden IoT-projekteja varten. Tämän huomaa myös alustan käyttöliittymästä, sillä se on hyvin yksinkertainen. Tarvittavat ominaisuudet löytyvät vasemmalla olevasta sivuvalikosta. Alusta myös antaa ohjeistuksen, mitä jokainen alustan osio pitää sisällään. Käyttöliittymää voi muokata hyvin vähän oman näköisekseen, kuten pienentämällä sivuvalikkoa tai lisäämällä oman profiilin sen yläpuolelle. Loppujen lopuksi alustan käyttö on helppoa ja onnistuu sujuvasti.

Laitehallinta onnistuu Devices-välilehden kautta, joka sisältää kojelautanäkymän laitteen tilasta. Kojelauta kertoo laitteen IP-osoitteen, onko laite yhdistettynä thinger.io-alustalle ja kuinka paljon dataa on lähetetty sekä saapunut perille. Kojelaudan kautta voi myös lisätä Device Tokenoja, jotka mahdollistavat kolmannen osapuolen laitteiden tai palveluiden kautta yhdistämisen alustalle. Kojelauta sisältää myös API Explorer-ominaisuuden, jonka avulla voi reaaliajassa seurata ja suorittaa yhdistämäsi laitteen toimintoja. Käyttäjä voi myös luoda uusia kojelautoja ja kustomoida niitä oman laitteen ominaisuuksien mukaan.

Thinger.io -alustalla tietokannat kulkevat nimellä Data Buckets ja ilmaisena käyttäjänä voit lisätä maksimissaan neljä tietokantaa. Tietokantanäkymä on hyvin yksinkertainen ja ei sisällä kovin montaa ominaisuutta. Kun tietokanta on luotu se vie datan tietokannan sisällä olevaan taulukkoon. Käyttäjä voi halutessaan myös viedä dataa ulos tietokannasta CSV-, ARFF-, JSON -muodossa. Ulos vietävän datan voi määrittää otettavaksi vain tietyistä kohtaa tietokantaa tai valita koko tietokanta, sekä dataan voi lisätä aikaleiman. Käyttäjä voi myös poistaa kokonaisia tietokantoja tai vain haluttuihin kohtiin tietokannoista.

Alustalta löytyy prosessointi ja toimintojenhallinta työkalu nimeltään Endpoints, joka mahdollistaa eri toimintojen automatisoinnin, kuten esimerkiksi sähköpostin ja tekstiviestien lähettämisen laitteesi nykyisestä tilanteesta. Alustan tarjonta ei ole tämän ominaisuuden kohdalla hirveän laaja, mutta tulee ottaa huomioon, että alustan käyttö on täysin ilmaista.

7.2 Thethings.io

Thethings.io on pilvipohjainen IoT-alusta, jonka avulla yritykset voivat ottaa käyttöön skaalautuvia ja joustavia IoT-ratkaisuja. (Thethings.io, n.d.). Alusta tarjoaa kolme eri maksullista vaihtoehtoa alustan käyttöä varten ja jokaista niistä voi kokeilla 14 päivän ajan ilmaiseksi. Tätä vertailua varten on valittu Launch-malli, joka on kolmesta vaihtoehdoista halvin 99€/kk. Muut vaihtoedot ovat Advanced-malli, joka on 399€/kk ja Corporate-malli, joka on selvästi kallein 1999€/kk.

Arduinon liittäminen alustalle onnistuu hyvin nopeasti. Thethings.io tarjoaa asteittaisen ohjeen laitteen liittämiseksi alustalle. Ennen laitteen liittämistä alustalle tulee luoda tili, jonka avulla saat haltuusi valtuudet laitteiden liittämistä varten. Alusta tukee HTTP-, WebSocket-, MQTT-, CoAP-, TCP- ja UDP-protokollia.

Alustan käyttöliittymä on edistyneempi kuin Thinger.io vastine, mutta tulee ottaa huomioon, että Thinger.io on täysin ilmainen. Tuttuun tapaan sivuvalikko löytyy vasemmalta ja se sisältää tärkeimmät ominaisuudet. Kojelautaa voi muokata juuri haluamukseen ja siihen voi lisätä luomiaan "Widgettejä", jotka ovat nopeakäyttöisiä pienoisohjelmia. Käyttöliittymän oikeasta alakulmasta löytyy keskustelualusta, jossa voi ottaa yhteyttä asiakaspalveluun ja huonosti sen alapuolella oleva valikko, josta voi kääntää sivuston eri kielelle. Alustan käyttö sujuu kaiken huomioon ottaen vaivattomasti. Ainoana pienenä miinuksena on eri ominaisuuksien ohjeistus, jota voisi olla enemmän.

Laittehallinta tapahtuu Things-välilehdellä, joka antaa reaaliaikaista tietoa API-pyynnöistä ja liitetyn laitteen datan viennistä. Sen kautta näkee myös jokaisen laitteen henkilökohtaiset tiedot ja minkälaista tietoa ne käsittelevät. Laitteelle voi myös luoda tätä kautta uuden kojelaudan, joka kustomoituu automaattisesti laitteen käyttötarkoituksen mukaisesti.

Laitehallinnan ominaisuudet ovat hieman suppeat ottaen huomioon, että käyttäjä maksaa kuitenkin 99 euroa kuukaudessa alustan käytöstä.

Launch-mallissa käyttäjä ei pääse käsiksi tietokantoihin tai sinne mihin data loppujen lopuksi päätyy. Käyttäjä ei voi myöskään viedä ulos dataa alustalta, sillä se on ainoastaan mahdollista kalliimmissa versioissa. Tämä on selvä haittapuoli, koska jopa ilmainen Thinger.io antaa käyttäjälle mahdollisuuden molempiin.

Alustalta löytyy kolme prosessointi ja toimintojenhallintatyökalua. Yksi niistä on Trigger-toiminto, joka mahdollistaa esimerkiksi varoituksen lähettämisen sähköpostilla tai datan muuntamisen toiseen muotoon. Jobs-toiminto on toinen automaatiotyökalu, jonka avulla käyttäjä voi luoda raportteja ja analysointitietoja triggereiden ja funktioiden tuottamien tapahtumien tiedoista. Viimeinen automaatiotyökalu on Functions-toiminto, joita voidaan kutsua Trigger- tai Jobs-toiminnoilla. Functions-toiminnoilla voidaan luoda esimerkiksi Sigfox- ja LoRa-jäsentimiä.

7.3 Altair SmartWorks

Altair SmartWorks on pilvipohjainen IoT-alusta, jonka avulla asiakas voi toteuttaa IoT-projektinsa helppokäyttöisessä, luotettavassa ja skaalautuvassa ympäristössä. Altair SmartWorks on saatavana alusta palveluna muodossa tai on-Premises muodossa. (Altair SmartWorks, n.d.) Alustalle on mahdollista luoda ilmainen käyttäjä rajoitetuilla ominaisuuksilla tai valita yksi maksullisista vaihtoehdoista. Lite-malli on maksullisista vaihtoehdoista halvempi, 0,5€ per laite kuukaudessa ja kalliimpi versio on Corporate-malli, joka kustantaa 2€ per laite kuukaudessa. Tässä vertailussa käytetään ilmaista versiota.

Altair SmartWorks on kolmesta alustasta hankalin liitettävyyden kannalta. Monen yrityksen jälkeen Arduino-kehitysalustan liittäminen alustalle ei onnistunut. Altair SmartWorksin ohjeistus Arduinon liittämiselle oli hieman sekava näin aloittelijalle ja se olisi vaatinut enemmän ohjelmointiosaamista. Alusta tukee HTTP-, MQTT-, Sigfox- ja LoRa-protokollia.

Alustan käyttöliittymä on kolmesta eri alustasta selkeästi mukavin ja sulaavin käyttää. Jälleen kerran vasemmalta löytyy päätoiminnot sisältävä sivuvalikko ja oikeasta ylälaidasta infopaneeli, josta löytyy käyttäjäkohtaiset tiedot. Alkuvaikutelma käyttöliittymästä voi olla hämmentävä, koska se sisältää paljon ominaisuuksia, mutta käyttöliittymää varten luodun tutoriaalilin voi suorittaa niin monta kertaa kuin haluaa. Käyttöliittymä sisältää myös hyödyllisen kotipainikkeen, joka vie käyttäjän etusivulle. Kaiken kaikkiaan käyttöliittymä hyvin suunniteltu ja suurimmalta osin selkeä uudellekin käyttäjälle.

Laitehallinta löytyy Devices-välilehden alta, joka näyttää liitetyn laitteen perustiedot, kuten onko laite yhdistettynä alustalle ja milloin se on luotu.

Laitetta painamalla pääsee syvällisempään näkymään laitteen tiedoista ja sitä kautta voi varmistaa onko tiedot varmasti oikeat. Näkymä sisältää myös linkit laitteen tiedostojen sijaintiin, laitteesta alustalle tulevaan datavirtaan, sekä laitteen että datavirran tämänhetkisestä tilasta. Alusta tarjoaa mahdollisuuden luoda omanlaisia kojelautoja, mutta käyttäjän tulee yhdistää tilinsä Altair SmartSight -palveluun, joka mahdollistaa kojelautojen luomisen.

Tietokantaominaisuudet löytyvät Data-välilehden alta. Täältä käyttäjä pääsee näkemään yksityiskohtaista tietoa laitteesta saadusta datasta. Dataa voi suodattaa näkyviin eri aikajaksoilta tai hakusanoilla ja käyttäjä voi myös määritellä, mitä dataa haluaa viedä ulos alustalta. Tuettuja datavienti-
muotoja ovat CSV, XML ja JSON. Alustan tietokantaominaisuudet ovat selvästi laajimmat eri alustoista, vaikka tämä vertailu toteutettiin käyttämällä alustan ilmaisversiota.

Alusta antaa myös tarvittavat työkalut prosessoinnin ja toimintojenhallinnan mahdollistamiseen. Käyttäjä voi luoda sääntöpohjaisia toimintoja tukemaan omaa IoT-projektia varten. On myös mahdollista luoda Listener-toimintoja, jotka seuraavat laitteesta tulevaa dataa ja raportoivat jos jokin tietty asia tapahtuu. Käyttäjä voi myös luoda Alarm-toimintoja, jotka ilmoittavat käyttäjälle, jos jokin on mennyt väärin sääntöjen tai Listener-toimintojen kanssa. Käyttäjä voi myös luoda liipaisimia, jotka siirtävät datan automaattisesti ulkoisiin järjestelmiin.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön teoriaosuuden tavoitteena oli selvittää mistä esineiden internet koostuu, minkälaisia osa-alueita IoT-alustat sisältävät ja kuinka tietoturva kehittyy esineiden internetin mukana. Aihealueita käsiteltiin yleisesti menemättä asioihin liian syvällisesti. Teoriaosuuden alku on pyritty tekemään lukijaystävälliseksi ja antamaan tietopohjan opinnäytetyön muita osioita varten.

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset olivat ”Mikä on teknologiapino ja mitä se kuvastaa?” ja ”Mikä alustoista sopii parhaiten HAMK Smartin toimintaympäristöön?”. Teknologiapino selitetään kerroksittain opinnäytetyön alkuvaiheessa ja kolmeen alimpaan kerrokseen perehdytään tarkemmin. Käytännön osuuden tutkimuksen perusteella saadaan vastaus mikä alustoista sopii parhaiten HAMK Smartin toimintaympäristöön.

Tutkimuksen toimeksiantajana toimi HAMK Smart -tutkimusyksikkö, joka halusi saada vertailutuloksia Thinger.io, thethings.io ja Altair SmartWorks -alustojen välillä. Aikaisempaa kokemusta toimeksiantajalle ei ollut kyseisistä alustoista. Vertailu toteutettiin itse tutkimalla ja testaamalla liitettävyyttä, käyttöliittymää, laitehallintaa, tietokantoja sekä prosessointia ja toimintojenhallintaa. Vertailusta saatujen tuloksien avulla HAMK Smart suorittaa jatkoselvityksen ja mahdollisesti ottaa alustan käyttöön.

Tutkimustulokseksi saatiin, että Altair Smartworks täyttää kriteerit parhaiten. Alustoilla oli huomattavia eroja eri ominaisuuksien välillä, mutta jokainen alusta suoriutui vertailusta kunnioitettavasti. Thinger.io ja Altair SmartWorks -alustojen testaaminen tapahtui käyttäen ilmaisversiota kyseisistä alustoista. Thethings.io alustasta ei saanut pysyvästi ilmaista versiota, joten tämän alustan osalta ominaisuuksiin vaikutti myös hinnoittelu.

Opinnäytetyön aikana tuli opittua paljon uutta asiaa. Sain paljon tietoa siitä mistä kerroksista esineiden internet koostuu, mistä IoT-alustat koostuvat ja minkälaisia vähemmän tunnettuja alustoja on markkinoilla. Käytännön osuus toi uutta tietoa siitä minkälaisia ominaisuuksia IoT-alustoista tulisi vertailla ja etsiä, jotta löytäisi juuri sen oikean alustan omaa käyttötarkoitusta varten. Aiheen rajaaminen ja suunnittelu olisi voinut onnistua paremmin ja siten jatkossa tulen ottamaan sen huomioon. Tämä myös parantaisi myös ajankäyttöä ja mahdollisuutta varautua jatkossa esiintyviin ongelmiin. Loppujen lopuksi opinnäytetyö onnistui omasta mielestäni hyvin ja se valmistui määritetyssä aikataulussa.

Opinnäytetyön jatkokehityksen kohteina voisi toimia syvällisempi tutkimus alustojen ominaisuuksiin ja mahdollisesti kokeilla alustojen maksullisia versioita, joita tämä tutkimus ei sisältänyt muuta kuin thethings.io-alustan kohdalla. Tutkimuksessa ei myöskään käsitelty alustojen tietoturvasuutta eikä hinnoittelun mukana tulevia eroja alustojen välillä. Teoriaosuuden eri aihealueisiin voisi myös perehtyä monipuolisemmin ja viedä niitä vielä enemmän syvällisempään suuntaan.

LÄHTEET

- Alavi, A., Jiao, P., Buttlar, W. & Lajnef, N. (2018)
Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends.
Viitattu 14.2.2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224118306912>
- Amazon (n.d.) Types of cloud computing. Viitattu 23.1.2020
<https://aws.amazon.com/types-of-cloud-computing/>
- Antão, L., Pinto, R., Reis, J-P. & Gonçalves. G-M. (2018)
Requirements for Testing and Validating the Industrial Internet of Things.
Viitattu 24.2.2020 https://www.researchgate.net/publication/324797771_Requirements_for_Testing_and_Validating_the_Industrial_Internet_of_Things
- Atlam, H., Alenezi, A., Alassafi, M. & Wills, G. (2018) Blockchain with Internet of Things: Benefits, Challenges, and Future Directions.
https://eprints.soton.ac.uk/421529/1/Published_Version.pdf
- Banerjee, M., Lee, J. & Choo, K-K. (2017) A blockchain future for internet of things security. Viitattu 9.2.2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864817302900>
- Bourgeois, S. (2016) 11 Types of Networks Explained: VPN, LAN & More.
Viitattu 14.2.2020
<https://www.belden.com/blog/smart-building/network-types>
- Čolaković, A. & Hadžialić, M. (2018) Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. Viitattu 13.2.2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128618305243>
- Collin, J. & Saarelainen, A. (2016) Teollinen Internet. Alma Talent Oy.
- Colitti, W., Steenhaut, K. & De Caro, N. (2017) Integrating Wireless Sensor Networks with the Web. Viitattu 5.3.2020
http://web.cs.wpi.edu/~rek/IoT/Papers/Colitti_CoAP_paper.pdf
- Conti, M., Dehghantanha, A., Franke, K. & Watson, S. (2017) Internet of Things security and forensics: Challenges and opportunities. Viitattu 12.2.2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X17316667>
- Grable, J. & Lyons, A. (2018) An Introduction to Big Data.

https://www.researchgate.net/publication/327434353_An_Introduction_to_Big_Data

Gupta, N. (2018) Inside Bluetooth Low Energy. London: Artech House.

IBM Cloud Education (2019) IaaS (Infrastructure-as-a-Service). Viitattu 3.2.2020

<https://www.ibm.com/cloud/learn/iaas>

IBM Cloud Education (2019). PaaS (Platform-as-a-Service). Viitattu 3.2.2020

<https://www.ibm.com/cloud/learn/paas>

IoT-analytics (2015). IOT PLATFORMS The central backbone for the Internet of Things. Viitattu 13.2.2020

<http://www.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>

ISH TECHNOLOGY (2016) IoT platforms: enabling the Internet of Things. Viitattu 17.2.2020

<https://cdn.ihs.com/www/pdf/enabling-IOT.pdf>

Känsäkoski, J., Peltokangas, T., Saviranta, P., Tasala, T. & Tolvanen, L. (2018) Älykäs automaatio ja teollinen internet. Viitattu 17.1.2020

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/144647/978-952-7173-34-3.pdf?sequence=1>

Lea, P. (2018) Internet of Things for Architects. Birmingham: Packt Publishing Ltd

Lee, I. (2019) The Internet of Things for enterprises: An ecosystem, architecture, and IoT service business model. Viitattu 15.2.2020

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542660519301386>

Li, L. (2018) Industry 4.0: State of the art and future trends.

<http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.hamk.fi/ehost/detail/detail?vid=0&sid=f9165c26-5894-4bb7-aad1-bc4012bd78f1%40sessionmgr103&bdata=JnNpdGU9ZWwhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#db=bsh&AN=129951218>

McAteer, I., Malik, M., Baig, Z. & Hannay, P. (2017) Security vulnerabilities and cyber threat analysis of the AMQP protocol for the internet of things. Viitattu 11.2.2020

<https://ro.ecu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1208&context=ism>

Microsoft (n.d.) What are public, private, and hybrid clouds. Viitattu 21.1.2020

<https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-are-private-public-hybrid-clouds/>

Microsoft Azure (2020). What is SaaS? Software as a service. Viitattu 4.2.2020

<https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-saas/>

Miraz, H., Ali, A., Excell, S. & Picking, R (2018) Internet of Nano-Things, Things of Everything: Future Growth Trends. Viitattu 30.1.2020

<https://arxiv.org/abs/1808.09869>

Mohamed, K. (2019) The Era of Internet of Things: Towards a Smart World. Springer International Publishing. Etsi vielä julkaisupaikka

Proakatemia (2018) Soluessee: Kvalitatiivinen tutkimus. Viitattu 18.2.2020

<https://esseebankki.proakatemia.fi/soluessee-kvalitatiivinen-tutkimus-2/>

Sadowski, S. & Spachos, P. (2018) RSSI-Based Indoor Localization with the Internet of Things. Viitattu 3.2.2020

https://www.researchgate.net/publication/325561044_RSSI-Based_Indoor_Localization_with_the_Internet_of_Things

Sengupta, J., Ruj, S. & Das Bit, S. (2019) A Comprehensive Survey on Attacks, Security Issues and Blockchain Solutions for IoT and IIoT. Viitattu 10.2.2020

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804519303418>

Sethi, P. & Sarangi, S. (2017) Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. Viitattu 29.1.2020

<https://www.hindawi.com/journals/jece/2017/9324035/>

Telia (2018). Pilven monet kasvot IaaS, PaaS ja SaaS. Viitattu 14.2.2020

https://www.inmicsnebula.fi/fi/blogi/pilven-monet-kasvot-iaas-paas-ja-saas?language_content_entity=fi

Tupper, T. (2011) Distributed Database Management System Viitattu 4.2.2020

<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/distributed-database-management-system>

Valtiovarainministeriö (2018) Julkisen hallinnon pilvipalvelulinjaukset. Viitattu 21.1.2020

<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161294>

Waluyo, A. (2018) Algorithms, Methods, and Application in Mobile Computing and Communications. IGI Global.

Vertailumatriisi

Liite 1

Ominaisuudet	Thinger.io	thethings.IO	Altair SmartWorks
Liitettävyys	5	5	3
Käyttöliittymä	3	3	5
Laitehallinta	3	3	5
Tietokanta	3	1	4
Prosessointi & toimintojenhallinta	2	3	5
Yhteensä	16	15	22

Pisteyttämisen selitteet

1 = Huono

3 = Hyvä

5 = Erinomainen