

Toni Hänninen

IoT- alustavertailu, Pesmel Oy

Opinnäytetyö

Kesä 2017

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK TEKNIikka

Tutkinto-ohjelma: Insinööri, tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Ohjelmistotekniikka

Tekijä: Toni Hänninen

Työn nimi: IoT- alusta vertailu, Pesimal Oy

Ohjaaja: Petteri Mäkelä

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 65

Opinnäytetyö toteutettiin Pesimal Osakeyhtiölle. Pesimal on kansainvälinen yritys, joka tarjoaa räätälöityjä, automatisoituja käsittely-, pakkaus- sekä varastointijärjestelmiä paperi- ja metalliteollisuudelle.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään nykyaikaisiin IoT-alustoihin. Työn tavoitteena oli löytää Pesimalille sopiva IoT-alusta tiedon keräämiseen sekä tulevaisuudessa mahdolliseen tiedon analysointiin. Työssä vertaillaan neljän eri palveluntarjoajan IoT-alustaa. Vertailtavat alustat olivat Mindsphere, AWS IoT, Thingworx sekä IoT-ticket.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta, esimerkistä sekä vertailuosuudesta. Teoriaosuudessa perehdytään teolliseen internetiin, IoT-alustojen ominaisuuksiin sekä IoT-maailmaan yleisesti. Esimerkkiosuudessa testattiin alustojen toimintoja käyttäen KEPserverEx-ohjelmistoa, jonka tarkoitus oli simuloida ohjelmoitavalta logiikalta tulevaa tietoa. Vertailuosuudessa analysoitiin saatuja tuloksia sekä valittiin paras ratkaisu Pesimalille.

Työn lopputuloksena löydettiin IoT-alustojen joukosta Pesimalille sopivin ratkaisu. Tuloksista ei voitu tehdä johtopäätöstä yleisesti parhaasta IoT-alustasta, vaan valittu ratkaisu oli kaikkein sopivin Pesimalin tarpeisiin.

Avainsanat: IoT, Teollinen internet, Thingworx, IoT-Ticket, Aws, Mindsphere, KEPserverEX

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Software Engineering

Author: Toni Hänninen

Title of thesis: IoT-platform Comparison, for Pesimal Oy

Supervisor: Petteri Mäkelä

Year: 2017

Number of pages: 65

The commissioner of this thesis was Pesimal Oy. Pesimal is an international Corporation, which provides custom-made automated processing, packing and storage systems.

This thesis was about exploring modern day IoT platforms. The aim was to find Pesimal the best possible IoT platform for data collection and possible analyzing of the data in the future.

The thesis was divided into three parts: a theoretical part, a simulation and a comparing part. The theoretical part concentrated on the features of the chosen platforms and provided also general information about the IoT world. The simulation part was about testing the features of the platforms using KEPserverEX-software. The purpose of using the KEPserverEx was to simulate a programmable logic controller. In the comparing part, the achieved results were analyzed and the best possible solution was chosen for Pesimal.

The result of this thesis was that the most suitable platform was found for Pesimal. Based on the information presented in this thesis, it is not possible to make conclusions on which is the best IoT platform in general. This thesis only made it possible to find the best possible solution for the needs of Pesimal.

Keywords: IoT, industrial internet, Thingworx, IoT-Ticket, Aws, Mindsphere, KEPserverEX

SISÄLTÖ

| | |
|--|-----------|
| Opinnäytetyön tiivistelmä..... | 1 |
| Thesis abstract..... | 2 |
| SISÄLTÖ..... | 3 |
| Kuva- ja taulukkoluetelo | 5 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet | 8 |
| 1 Johdanto..... | 10 |
| 1.1 Työn tausta | 10 |
| 1.2 Työn tavoite | 10 |
| 1.3 Työn rakenne | 11 |
| 1.4 Pesimal Oy | 11 |
| 2 Teollinen internet | 12 |
| 2.1 Yleistä | 12 |
| 2.2 Protokollat | 13 |
| 2.2.1 MQTT..... | 13 |
| 2.2.2 OPC UA (Unified Architecture)..... | 14 |
| 2.2.3 HTTP / HTTPS..... | 14 |
| 2.2.4 WebSocket..... | 15 |
| 3 IoT-alustat..... | 16 |
| 3.1 Siemens - MindSphere..... | 16 |
| 3.1.1 Yhteydet..... | 16 |
| 3.1.2 Tietoturva | 17 |
| 3.1.3 Tietokanta | 17 |
| 3.1.4 Ohjelmointi | 17 |
| 3.1.5 Esimerkki | 19 |
| 3.1.6 Laitteet | 22 |
| 3.2 AWS IoT..... | 23 |
| 3.2.1 Yleiskatsaus..... | 23 |
| 3.2.2 Yhteydet..... | 24 |
| 3.2.3 Tietoturva | 24 |
| 3.2.4 Tietokanta | 25 |

| | | |
|-------|------------------------------|----|
| 3.2.5 | Ohjelmointi | 26 |
| 3.2.6 | Esimerkki | 26 |
| 3.3 | Ptc-ThingWorx | 30 |
| 3.3.1 | Yleiskatsaus | 30 |
| 3.3.2 | Yhteydet | 32 |
| 3.3.3 | Tietoturva | 34 |
| 3.3.4 | Tietokanta | 35 |
| 3.3.5 | Ohjelmointi | 36 |
| 3.3.6 | Esimerkki | 36 |
| 3.4 | Wapice IoT-Ticket | 40 |
| 3.4.1 | Yleiskatsaus | 40 |
| 3.4.2 | Yhteydet | 40 |
| 3.4.3 | Tietoturva | 42 |
| 3.4.4 | Ohjelmointi | 42 |
| 3.4.5 | Esimerkki | 43 |
| 3.4.6 | Laitteet | 46 |
| 4 | IoT Gateway | 47 |
| 4.1 | Yleistä | 47 |
| 4.2 | KEPserverEX | 47 |
| 4.2.1 | Yleiskatsaus | 47 |
| 4.2.2 | Yhteydet | 49 |
| 4.2.3 | Addons | 50 |
| 5 | Vertailu | 52 |
| 5.1 | Tiedonkeruu | 53 |
| 5.2 | Tietokanta | 54 |
| 5.3 | Käytettävyys | 54 |
| 5.4 | Tiedon visualisointi | 56 |
| 5.5 | Analytiikka | 57 |
| 5.6 | Tulokset | 58 |
| 6 | Yhteenvedo ja pohdinta | 59 |
| | LÄHTEET | 60 |

Kuva- ja taulukkoluetelo

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Mqtt-viestintäesimerkki | 14 |
| Kuva 2. HTTP- pyyntö vaihtaa WebSocketiin. | 15 |
| Kuva 3. Palvelimen hyväksymä pyyntö | 15 |
| Kuva 4. Mindsphere Nanon asetukset | 19 |
| Kuva 5. Nanon liitännät..... | 20 |
| Kuva 6. Mindsphere Aspect -asetukset..... | 21 |
| Kuva 7. Mindsphere-visualisointi..... | 21 |
| Kuva 8. Mindconnect Nano -yhdyskäytävä | 22 |
| Kuva 9. SIMATIC IOT2040- yhdyskäytävä | 23 |
| Kuva 10. AWS IoT -turvallisuuskomponentteja | 25 |
| Kuva 11. Sertifikaatin luonti | 27 |
| Kuva 12. KEPserverEX-sertifikaattiasetukset | 27 |
| Kuva 13. KEPserverEX MQTT-agentti..... | 28 |
| Kuva 14. AWS IoT rules..... | 28 |
| Kuva 15. S3-datapankki..... | 29 |
| Kuva 16. Manifest-tiedosto | 29 |
| Kuva 17. Quicksight visualisointi..... | 30 |
| Kuva 18. ThingWorx-alustan osat..... | 31 |
| Kuva 19. AR-kokemus kännykän näytöllä..... | 32 |
| Kuva 20. Esimerkki HTTP-pyyntöstä Postman-ohjelmistolla | 33 |

| | |
|---|----|
| Kuva 21. Tietokantakuva | 35 |
| Kuva 22. Uuden thingin luonti | 37 |
| Kuva 23. Application key..... | 37 |
| Kuva 24. KEPserverEx ThingWorx -integraatio | 38 |
| Kuva 25. Industrial Connections -valikko | 38 |
| Kuva 26. Tagien etsiminen ja bindaaminen | 39 |
| Kuva 27. ThingWorx Mashup -käyttöliittymä..... | 39 |
| Kuva 28. Yhteysdiagrammi | 41 |
| Kuva 29. Postmanilla lähetetty päivityspyyntö | 43 |
| Kuva 30. Laitteen luominen | 43 |
| Kuva 31. JSON-viestin muoto | 44 |
| Kuva 32. KEPserverEX REST client -asetukset..... | 44 |
| Kuva 33. Interface designerilla luotu käyttöliittymä | 45 |
| Kuva 34. Dataflow editor | 45 |
| Kuva 35. Wapice WRM 247+ | 46 |
| Kuva 36. Yleiskuva KEPserverEx-ohjelmistosta | 48 |
| | |
| Taulukko 1. Mindsphere API..... | 18 |
| Taulukko 2. AWS IoT -palvelun käyttämät protokollat sekä autentikointi- ja porttitiedot | 24 |
| Taulukko 3. IoT-Ticketin protokollat | 41 |

| | |
|--|----|
| Taulukko 4. Lista KEPserverEX-ohjelman tukemista ajureista | 49 |
| Taulukko 5. Tiedonkeruu-osion pisteytys | 53 |
| Taulukko 6. Tietokanta-osion pisteytys | 54 |
| Taulukko 7. Käytettävyys-osion pisteytys | 55 |
| Taulukko 8. Visualisointi-osion pisteytys | 56 |
| Taulukko 9. Analytiikka-osion pisteytys..... | 57 |
| Taulukko 10. Alustojen lopulliset pisteet | 58 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|------------------------------|---|
| API | Application programming interface, suomeksi ohjelmointirajapinta, on kokoelma, jonka avulla eri ohjelmiston osat kommunikoivat keskenään. |
| Arduino | Avoimen lähdekoodin elektroniikka-alusta. |
| base64 | Binääridatan koodaukseen tarkoitettu menetelmä. |
| Cloud Foundry | Pilvessä toimiva avoimen lähdekoodin ohjelmistoalusta. |
| Dashboard | Käyttöliittymän ohjaus- tai hallintapaneeli. |
| Header | HTTP-pyyynnön osa, joka määrittelee operaation parametrit. |
| laas | Infrastructure as a Service kuvaa palvelua, joka tarjoaa palvelimien ulkoistamista. |
| JDBC | Java-ohjelmointikielen rajapinta, joka tarjoaa metodit tietokantakyselyille. |
| JSON | JavaScript Object Notation on tiedon vaihtoformaatti, joka koostuu avain-arvo-pareista. |
| Linux | Käyttöjärjestelmä, jonka on kehittänyt suomalainen Linus Torvalds. |
| M2M | Machine-to-machine eli koneiden välinen viestintä. |
| MiniPCIe | Väylätyyppi lisäkorttien asentamiseen. |
| ohjelmoitava logiikka | Pieni tietokone, jota käytetään automaation ohjaamiseen. |
| Paas | Platform as a Service kuvaa palvelua, joka tarjoaa skaalautuvan alustan ohjelmistokehittäjille. |

| | |
|----------------------|---|
| Palomuri | Suojaa tietokoneen yhteyksiä. |
| PCB | Printed Circuit Board eli piirilevy. |
| Pollaus | Tasaisin väliajoin tehtävä kysely laitteelle. |
| Portti | Tietokoneessa oleva numeroitu palvelupiste. |
| Postman | REST-pyyntöjen testaukseen tehty sovellus. |
| Protokolla | Määrittelee laitteiden välisen kommunikoinnin. |
| REST | HTTP-protokollaan perustuva arkkitehtuurimalli. |
| SDK | Software development kit sisältää työkaluja, joiden avulla voidaan luoda ohjelmia tietyille ohjelmistopaketeille. |
| Sertifikaatti | Varmenne, joka tarvitaan turvatun yhteyden luomiseen kahden tietokoneen välille. |
| Simulaatio | Mahdollisimman tarkkaa todellisuuden jäljittelyä. |
| SQL | Structured Query Language on ohjelmointikieli, joka on kehitetty tietokantakyselyjä varten. |
| SSL | Salausprotokolla. |
| Tag | Ohjelmoitavan logiikan muistipaikan nimeämistyyli. |
| Thing Shadows | AWS-palvelu, joka pitää kirjaa laitteiden tilatiedoista. |
| TLS | Transport Layer Security on uudempi versio SSL-salauslausesta. |

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Saksalaisen Industrie 4.0 -ohjelman mukaan teollisuuden kehitys voidaan jakaa neljään ajanjaksoon: Ensin tuli höyry ja siihen liittyviä mekaanisia koneita. Seuraavaksi tuli sähkö, tuotantolinjat ja massatuotanto. Kolmas teollinen vallankumous toi mukanaan tietokoneet ja automaation. Neljäs teollinen vallankumous on juuri syntynyt ja siirtymässä teollisuuteen. Sitä kutsutaan nimeltään teollisuus 4.0. (Marr 20.6.2016.)

Teollinen internet tuo mukanaan koneet, robotit sekä laitteet, jotka ovat langattomasti yhteydessä toisiinsa internetin välityksellä. Laitteet kykenevät oppimaan sekä tekemään yksinkertaisia päätöksiä omatoimisesti. Fyysiset järjestelmät alkavat kommunikoida ja tekemään yhteistyötä ihmisten kanssa reaaliajassa. (Marr 20.6.2016.)

Teknologiakeskeiselle Suomelle teollinen internet voi olla suuri mahdollisuus. Teollisen internetin hyödyntäjiä on vielä vähän markkinoilla, joten Suomen kansainvälisillä teknologiayrityksillä on oiva tilaisuus globaalien arvoketjujen rakentamiseen. (Teollisesta internetistä uutta kasvua 9.3.2017.)

Uuden teollisen vallankumouksen seurauksena IoT-alustoja on jo markkinoilla runsaasti. Alustat tarjoavat erilaisia palveluja ja sovelluksia niin yhdistämiseen, analysointiin, koneoppimiseen, visualisointiin ja datan säilyttämiseen. (Marr 20.6.2016.)

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia neljää eri IoT-alustaa. Alustoista tutkitaan erilaisia laitteiden yhdistämistapoja ja sisäistä toiminnallisuutta. Jokaisella alustalla tehdään demonstraatio-sovellus. Työn ja vertailun tarkoituksena on saada IoT-alustoista parempi yleiskäsitys, sekä löytää valituista alustoista sopivin Pessimelin tarpeisiin.

1.3 Työn rakenne

Luvussa 2 kerrotaan yleisesti asioiden internetistä sekä yleisimmistä IoT-protokollista.

Luvussa 3 tutkitaan valittuja IoT-alustoja. Alustoista tutkitaan eri ominaisuuksia, kuten yhteyksiä, tietoturvaa, tietokantamahdollisuuksia, ohjelmointia sekä laitteita. Alustoista ajetaan myös simulaatiotestaukset.

Luvussa 4 perehdytään menetelmiin, jotka mahdollistavat laitteiden yhdistämisen IoT-alustoille.

Luvussa 5 alustojen ominaisuuksia pisteytetään, sekä vertaillaan niitä toisiinsa.

Luvussa 6 on yhteenveto saaduista tuloksista.

1.4 Pesmel Oy

Pesmel Osakeyhtiö on perustettu vuonna 1978. Se on kansainvälinen yritys, joka toimii Euroopassa, Aasiassa, Pohjois-Amerikassa, Etelä-Amerikassa, Afrikassa sekä Australiassa. Yritys tarjoaa asiakkailleen automatisoituja käsittely-, pakkaus- ja varastointiratkaisuja. Yrityksen päätoimiset asiakasryhmät ovat paperi- ja metalliteollisuus. (Pesmel [Viitattu 28.6.2017].)

Vuosien saatossa Pesmel on toimittanut yli 400 käsittely- ja pakkausprojektia, sekä noin 120 varastointijärjestelmää. Pesmel Oy työllistää yli 200 henkilöä, joista 120 on Suomessa. (Pesmel [Viitattu 28.6.2017].)

2 Teollinen internet

2.1 Yleistä

Teollista internetiä kutsutaan neljänneksi teolliseksi vallankumoukseksi, joka koskettaa ihmisiä ja yrityksiä maailmanlaajuisesti. Fyysinen ja digitaalinen maailma sulautuvat ja kytkeytyvät tiiviisti toisiinsa helpottaen palveluita, toimintaa sekä yritysten päätöksentekoa. Tieto- ja viestintäteknologia työntyy myös perinteisille aloille. Fyysisestä maailmasta, ihmisistä, esineistä ja palveluista virtaa jatkuvasti tietoa digitaaliseen maailmaan. Digi-maailman yksiköt käsittelevät ja rakentavat datasta uutta älykästä tietoa ohjelmistoille sekä palveluille. (Collin & Saarelainen, 18-21.)

Digitaalinen maailma tukee, helpottaa ja parhaillaan nopeuttaa fyysisen maailman prosesseja. Uusi digifyysinen kokonaisuus parantaa esimerkiksi yritysten tarjoamia palveluja ja tuotteiden laatua sekä synnyttää uusia älykkäitä tuote- ja palvelumalleja. Älykkäät järjestelmät helpottavat ihmisten arkea ja asioiden hoitamista. Teollinen internet ja sen tuomat muutokset vaativat rohkeutta, irrottautumista perinteisistä toiminnan malleista sekä avoimuutta ja sopeutumista uuteen niin yksilö-, yhteiskunta- kuin yritystasollakin. (Collin & Saarelainen, 18-21.)

Teollinen internet tuo hyötyjä monille erilaisille yrityksille. Koneita pystytään tarkkailemaan ja tunnistamaan kulunut osa ennen sen hajoamista. Ennustettavuuden avulla yritykset saavat koneilleen maksimaalisen käyttöasteen. Teollinen internet ei tuo parannuksia ainoastaan koneille, vaan myös teollisuuden työntekijöille. Työturvallisuus paranee erilaisilla ympäristöä sekä ihmisen elintoimintoja tarkkailevilla sovelluksilla. (Buntz 20.9.2017.)

2.2 Protokollat

Tässä luvussa esitellään tyypillisiä teollisen internetin sovelluksissa käytettäviä protokollia.

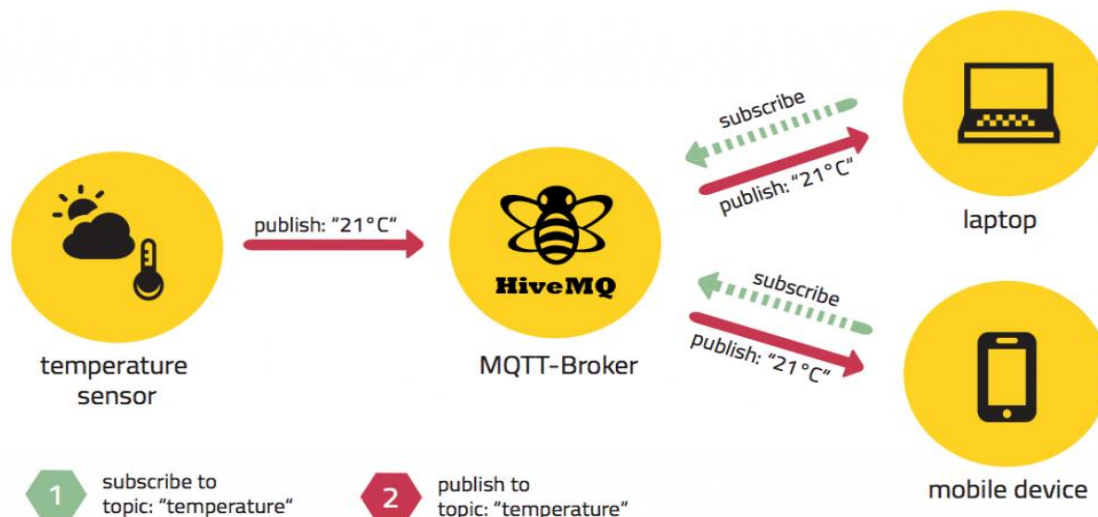
2.2.1 MQTT

MQTT on kevyt viestintäprotokolla, joka on suunniteltu käytettäväksi koneiden väliseen viestintään (M2M). MQTT on asiakas-palvelin-ratkaisu (client-server), jossa laitteet ja sensorit ovat yleensä datan julkaisijoita (publisher). Ne ovat samalla myös asiakkaita. Toisaalta asiakkaita ovat myös datan tilaajat (subscriber). (Jaffey 2014.)

Viestinnässä asiakas yhdistetään haluttuun välittäjään sekä liitetään (subscribe) haluttuihin aiheisiin (topic). Nämä aiheet ovat osoitteita viesteille. Asiakas voi yhdistyä useampaan aiheeseen yhtä aikaa. Kuva 1 esittää, miten samaan aiheeseen liittyneet laitteet vastaanottavat saman viestin. (Jaffey 2014.)

Aiheisiin liittyminen tapahtuu lähettämällä välittäjälle viesti, jossa asiakas ilmoittaa välittäjälle listan aiheista, joihin haluaa liittyä (Hivemq MQTT [Viitattu 29.1.2018]).

Julkaisijaksi kutsutaan viestin lähettäjää. Jokaisessa viestissä on aihe, jonka mukaan välittäjä lähettää viestin. Viesti välitetään kaikille asiakkaille jotka ovat liittyneet viestin aiheeseen. (Hivemq MQTT [Viitattu 29.1.2018].)



Kuva 1. Mqtt-viestintäesimerkki (Hivemq MQTT [Viitattu 28.1.2018]).

2.2.2 OPC UA (Unified Architecture)

OPC UA on teollisuusstandardi, joka toimii asiakas-palvelin-periaatteella. Asiakas voi pyytää palvelimelta haluttua tietoa, tai ohjeistaa palvelimen lähettämään aina kun uutta dataa on saatavilla. OPC UA -standardia voidaan käyttää millä tahansa käyttöjärjestelmällä. Vanhempaa OPC Classicia voidaan käyttää vain Windows-käyttöjärjestelmällä. OPC UA on uudempi versio ja siinä yhdistyy myös vanhemman OPC Classicin kaikki ominaisuudet. (Novotek [Viitattu 28.6.2017].)

2.2.3 HTTP / HTTPS

HTTP on protokolla, joka on pohja kaikelle datan vaihdolle internetissä. HTTP on asiakas-palvelin-pohjainen ja se toimii pyyntöjen avulla. Yhteys ei ole jatkuva, vaan data lähetetään yksittäisinä viesteinä. (Collado 24.6.2017.)

HTTPS on muuten samanlainen yhteys kuin HTTP, mutta se on suojattu. Kaikki tiedonvaihto asiakkaan ja palvelimen välillä on salattua. HTTPS käyttää joko SSL- tai TLS-salausta. (Comoda CA [Viitattu 3.7.2017].)

2.2.4 WebSocket

WebSocket-protokolla mahdollistaa kommunikoinnin kahteen suuntaan. Yhteys on full-duplex, joka tarkoittaa, että yhteyden molemmat osapuolet voivat lähettää ja vastaanottaa dataa yhtäaikaista. WebSocket vähentää dataliikennettä huomattavasti verrattuna pollaukseen. WebSocket tekee tunnelin, joka ohittaa välityspalvelimen ja palomuurin. (Websocket.org [Viitattu 3.7.2017].)

Protokolla on suunniteltu toimimaan hyvin nykyisen web-infrastruktuurin kanssa. WebSocket-yhteys aloittaa elinkaarensa http-yhteytenä. Kuvassa 2 on esitelty GET-pyyntö palvelimelle vaihtaa yhteys WebSocketiin. (Websocket.org [Viitattu 3.7.2017].)

```
GET ws://echo.websocket.org/?encoding=text HTTP/1.1
Origin: http://websocket.org
Cookie: __utma=99as
Connection: Upgrade
Host: echo.websocket.org
Sec-WebSocket-Key: uRovscZjNol/umbTt5uKmw==
Upgrade: websocket
Sec-WebSocket-Version: 13
```

Kuva 2. HTTP- pyyntö vaihtaa WebSocketiin (Websocket.org [Viitattu 3.7.2017]).

```
HTTP/1.1 101 WebSocket Protocol Handshake
Date: Fri, 10 Feb 2012 17:38:18 GMT
Connection: Upgrade
Server: Kaazing Gateway
Upgrade: WebSocket
Access-Control-Allow-Origin: http://websocket.org
Access-Control-Allow-Credentials: true
Sec-WebSocket-Accept: rLHCkw/SKs09GAH/ZSFhBATDKrU=
Access-Control-Allow-Headers: content-type
```

Kuva 3. Palvelimen hyväksymä pyyntö (Websocket.org [Viitattu 3.7.2017]).

Jos palvelin ymmärtää Websocket-protokollaa, se hyväksyy pyynnön ja lähettää asiakkaalle kuvan 3 mukaisen kättelyviestin (Websocket.org [Viitattu 3.7.2017]).

3 IoT-alustat

3.1 Siemens - MindSphere

MindSphere on pilvessä toimiva avoin IoT-käyttäjärjestelmä. Siemens tarjoaa tätä alustaa palveluna (PaaS). MindSphere on rakennettu Cloud Foundryn päälle, joka on pilvessä toimiva avoimen lähdekoodin omaava ohjelmistoalusta. Siemensin mukaan asiakas voi ajaa Mindsphere-sovelluksia esimerkiksi Amazon Web Service, Microsoft Azure-, SAP Cloud Platform- ja Atos Canopy -pilvipalveluissa. (MindSphere whitepaper [Viitattu 10.11.2017].)

Siemens käyttää OPC UA -standardia, jonka ansiosta MindSphereen voidaan liittää muitakin kuin Siemensin laitteita. Siemensin laitteiden yhdistäminen onnistuu asettamalla Nanon asetuksiin PLC:n IP-osoite sekä halutut muistipaikat. Mindconnect-ohjelmisto mahdollistaa lähes kaikkien laitteiden yhdistämisen MindSphereen erilaisten laajennuksien avulla. (MindSphere whitepaper [Viitattu 10.11.2017].)

3.1.1 Yhteydet

Yhteys voidaan muodostaa MindSphereen joko yhdyskäytävälaitteella tai ohjelmistokirjaston avulla. Yhdyskäytävälaitteita ovat Mindconnect Nano ja IoT2040. Siemens S7 -logiikoille on kehitetty myös oma kirjastonsa Mindconnect-FB, joka mahdollistaa suoran yhteyden Mindsphereen ilman yhdyskäytävälaitetta. Saatavilla on myös Mindconnect LIB -lähdekoodi, jonka avulla kehittäjät voivat yhdistää oman ohjelmistonsa Mindsphereen. (MindSphere [Viitattu 23.8.2017].)

Mindconnect Nano sekä IoT2040 käyttävät HTTPS-protokollaa portin 443 kautta yhdistääkseen MindSphereen. Nanossa ja IoT2040-laitteessa ei ole yhtään porttia auki sisään tulevalle liikenteelle, vaan ne tekevät ainoastaan yhteyspyynnön MindSphereen (MindConnect Nano Datasheet 2017).

Molemmat laitteet keräävät dataa käyttämällä OPC UA -protokollaa tai sitten keräävät tarvittavan tiedon suoraan Siemensin ohjelmoitavalta logiikalta (MindConnect Nano Datasheet 2017).

3.1.2 Tietoturva

MindSphere täytyy ensin yhdistää Mindconnect Nanoon. Jokaisella Nano-yhdyskäytävällä on yksikäsitteinen tunnistenumero, joka on sulautettu järjestelmään. Tunnistenumeroa käytetään USB-käyttöavaimen luontiin. Käyttöavain liitetään MindConnect Nanoon, jolloin laitteet saadaan liitettyä yhteen. Näin varmistutaan siitä, että vain Siemensin Nano-boxit voidaan yhdistää MindSphereen. (MindConnect Nano Quick Start 3.2017.)

Mindconnect Nanon tietoturvaominaisuudet ovat seuraavat:

- Vain uloslähteviä HTTPS-yhteyksiä.
- Kaksi erillistä verkkokorttia, joista toinen yhdistyy automaatiolaitteiden verkkoon ja toinen ulkomaailman verkkoon.
- Lukuoikeus automaatiolaitteisiin.
- SSL/TLS-salaus. (MindConnect Nano getting started 8.2017.)

3.1.3 Tietokanta

Asiakkaat voivat itse valita missä säilövät datansa. Vaihtoehtoina on yksityinen tai julkinen pilvipalvelu. Myös paikanpäälle asennettava tietokanta on mahdollinen niille asiakkaille, jotka haluavat luoda oman pilvi-infrastruktuurinsa. (MindSphere – Siemens Cloud for Industry 17.11.2015.)

3.1.4 Ohjelmointi

Mindsphere on rakennettu Cloud Foundryn ympärille. Tämä mahdollistaa sen, että sovelluksia voidaan ajaa asiakkaan valitsemalla pilvi-infrastruktuurilla. Cloud

Foundry tarjoaa etuja muun muassa skaalautuvuuteen, tietoturvaan sekä palvelujen fyysiseen sijaintiin. (MindSphere whitepaper [Viitattu 10.11.2017].)

Mindsphereen on saatavilla developer-lisenssi, jonka avulla käyttäjät voivat kehittää omia sovelluksiaan Mindspheren sisällä. Siemens tarjoaa avoimet rajapinnat sekä kehitystyökalut. (MindSphere whitepaper, [Viitattu 10.11.2017].) Taulukossa 1 on lueteltu saatavilla olevat ohjelmointirajapinnat.

Taulukko 1. Mindsphere API (MindSphere whitepaper [Viitattu 10.11.2017]).

MindApp APIs include:

| | |
|-----------------------------------|---|
| Notification Service | Send information to your users and customers via email, SMS or social media channels, like Twitter |
| Time Series Service | Read, write and edit time series values from storage |
| Region Information Service | Request general information about regions such as local currency, language, units |
| File Service | Read, write and delete file values from storage |
| Communication Service | Create and manage templates, recipient lists, email channels push notifications |
| Event Requests | Add custom information like alarms or warnings in generic ways (system information, time series value) |
| Trigger Rule Engine | Create custom rules based on events like new request, new time series, etc. and define next steps based on this information |
| Customer Management | Create, edit or removed customers |
| User Management | Create, edit or remove users, assign predefined roles |
| Asset Management | Represent physical assets from your site in MindSphere. Create, edit and delete elements |
| Aspect Management | Define your data model, add standardized meanings for a better understanding and reuse of your data |
| Agent Management | Create, edit or remove MindConnect elements, on-board and off board agents and set relations to assets |
| Usage Transparency | Understand your customer by analyzing usage information of your application and create reports |
| Trend Prediction | Create predictions based on one aspect |
| Anomaly Detection | Detect correlation analysis of two aspects |

| | |
|----------------------------|--|
| Outlier Detection | Detect failures through e.g. Gradient Check |
| Stock Information | Request information from international stock exchange |
| Weather Information | Request historical and forecast for localized weather information including weather alerts |
| Unit and Currency | Convert between different units and currencies |

In order to generate information from the data, MindSphere provides analytic functions which developers can integrate into their applications:

| | |
|--------------------------|--|
| Gradient Check | Detects the gradient of time series and delivers the results |
| Linear Regression | Calculates a linear regression of time series data and delivers the resulting curve data |
| Outlier Detection | Detects outlying time series data and delivers the results |

In the future, MindSphere will have additional analytical capabilities such as:

| | |
|---|---|
| Trend Prediction | Provide calculus on individual or multiple 1d time series, including basic algebra and statistics (mean, sum, variance) |
| Sequential Pattern Mining | Detect alarm patterns and predict failures from (inverter) event logs. The service automatically learns patterns from sequences that lead to major events |
| Multidimensional KPI Supervision | Based on trained models, this services derives quantitative measures from multiple aspects |
| Demand Prediction | Executor for prediction models based on deep neural networks (pre-trained) for time-series data |

Kehittäjille on saatavilla myös suosittuihin kehitysympäristöihin lisäosia, jotka mahdollistavat paikallisen debuggauksen sekä optimoinnin. Kehityslisenssin omistajat voivat myös ladata Mindsphere-ympäristön simulointia varten. Siemensin mukaan Demo-sovelluksia, konferensseja sekä erilaisia ohjelmistopohjia on ladattavissa kehittäjien portaalista. (MindSphere whitepaper [Viitattu 10.11.2017].)

Cloud Foundry on pilvessä toimiva ohjelmistoalusta, jonka päälle Mindsphere on rakennettu. Ohjelmista luodaan useita samanlaisia instansseja. Tämä takaa sen, että yhden instanssin kaatuessa ohjelma on yhä käytettävissä. Liikenteen kasvaessa ohjelmat tarvitsevat lisää resursseja. Resurssiongelman Cloud Foundry

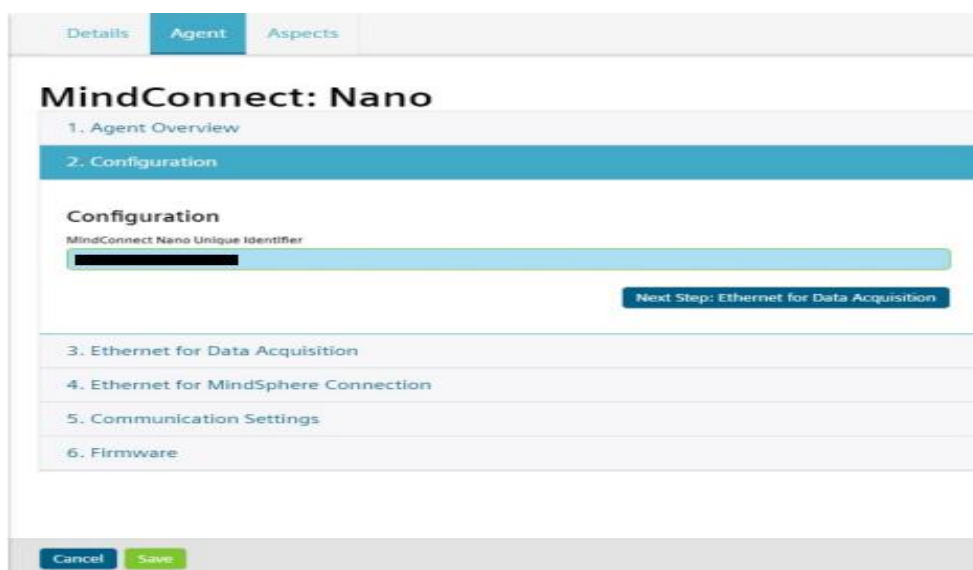
on ratkaissut niin, että se jakaa ohjelman suorituksen useille tietokoneille ja näin pitää huolen resurssien riittävydestä. Mindspheren tapauksessa Cloud Foundry mahdollistaa suuren skaalautuvuuden sekä saatavuuden. (Cloud Foundry 1.19.2018.)

3.1.5 Esimerkki

Tässä osiossa konfiguroidaan Nanon vastaanottamaa dataa KEPserverEX-ohjelmistolta ja lähetetään se eteenpäin Mindsphereen visualisointia varten.

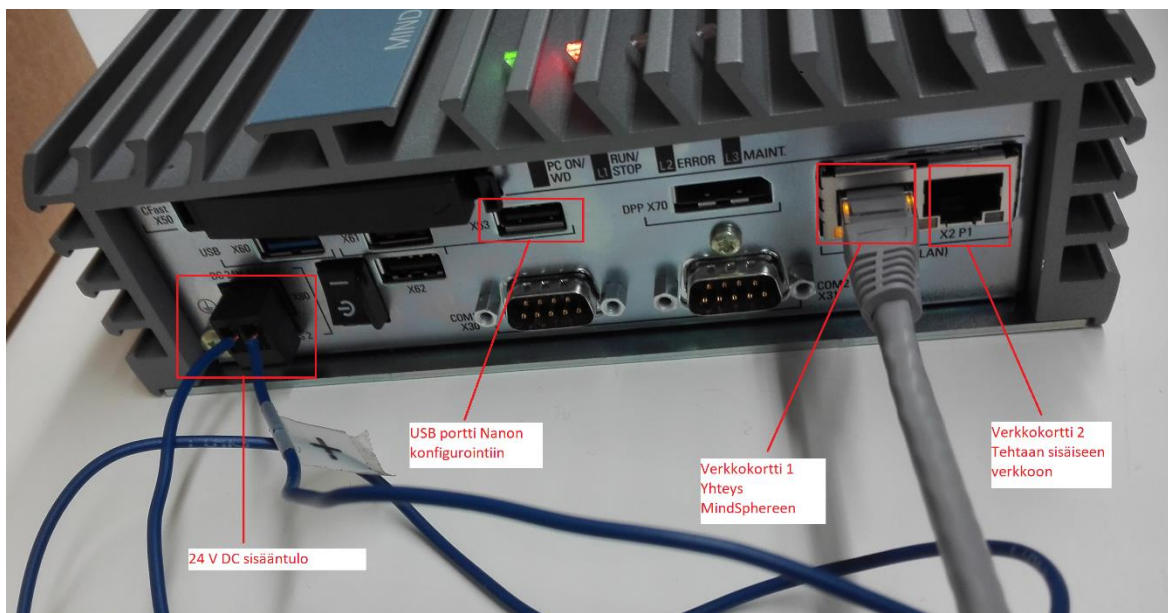
Ensimmäisenä luodaan asetukset Nanolle Mindsphere-alustan kautta. Kuvassa 4 näkyvät seuraavat asetukset:

1. Yleiset asetukset
2. Konfigurointi-asetus, johon täytyy asettaa sarjanumero. Tämä löytyy Nanon päädyssä olevasta kilvestä.
3. IP-asetukset tehtaan verkkoon
4. IP-asetukset internetiin yhdistämiseksi
5. Proxy-serveriasetukset
6. Asetukset firmwaren päivitykseen, esimerkiksi päivitysaikataulut.



Kuva 4. Mindsphere Nanon asetukset

Asetusten jälkeen Mindsphereltä tallennetaan tiedosto USB-tikulle, joka sisältää asetukset Nanolle. Seuraavaksi USB-tikku liitetään Nanon X63-porttiin, joka näkyy kuvassa 5.



Kuva 5. Nanon liitännät

USB-tikun liittämisen jälkeen Nano asettaa asetukset ja käynnistää itsensä uudelleen. Nanon kaksi ensimmäistä valoa syttyvät vihreäksi ja Nano tulee näkyviin Mindsphere-alustaan, jos asetukset tallentuivat onnistuneesti.

Viimeisessä vaiheessa (kuva 6) tapahtuu yhteyden ottaminen OPC UA -palvelimeen. Yhteyden luomiseksi asetetaan seuraavat arvot:

1. Lukutiheys, joka tarkoittaa sitä, kuinka usein haluttu arvo lähetetään Mindsphereen.
2. Variables-kohtaan tulee KEPserverEX-muuttujan OPC UA -osoite, joka on muotoa *nodeId:ns=2;s=Simulation Examples.Functions.User2*.
3. OPC Server address -kohtaan tulee OPC-palvelimen IP-osoite.

Aspect Configuration:

Aspect Name: Testaus Luku tiheys

Reading Cycle: 1 s

Data Source Protocol: OPC UA

Active: Yes

| Variables (1): | | | | |
|----------------|------|---|-----------|----------------------|
| Name | Unit | Address | Data Type | On data change (ODC) |
| Testaus | | nodeId:ns=2;s=Simulation.Examples.Functions.User2 | FLOAT | |

Configuration:

OPC Server Name: Testaus OPC UA Tagin osoite ja tyyppi

OPC Server Address: opc.tcp://172.30.0.125:49320

OPC Server IP Address: 172.30.0.125 OPC UA Palvelimen osoite

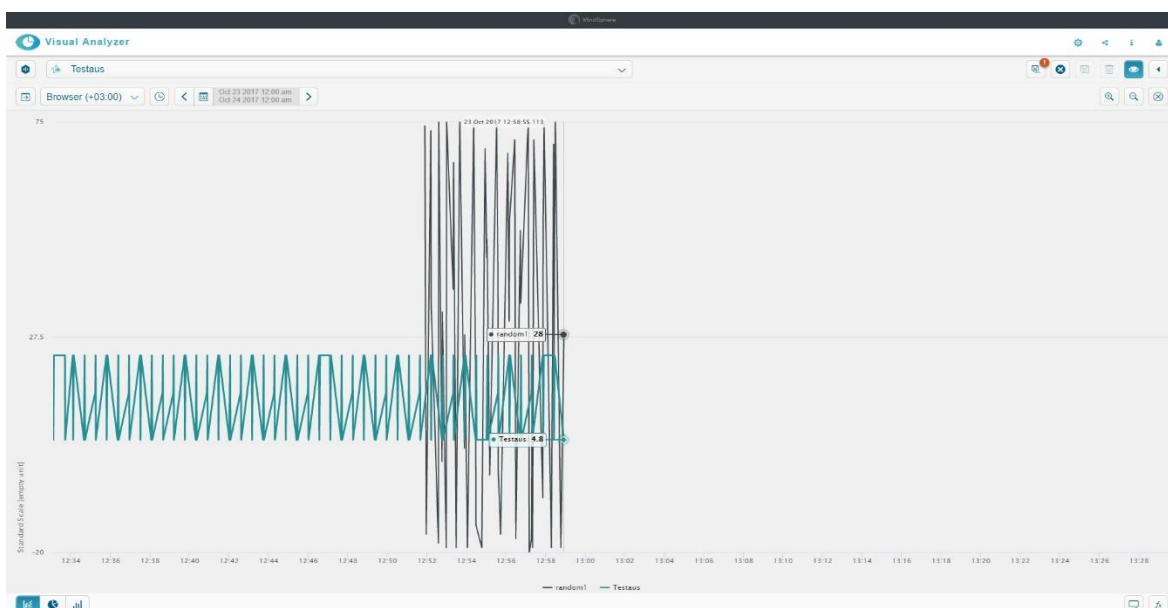
Aspect Configuration: No authentication

MindSphere Units: 55 Hinta

Buttons: Cancel Config, Save Config

Kuva 6. Mindsphere Aspect -asetukset

Asetusten teon jälkeen Mindsphere aloittaa datan keräämisen Nanon kautta. Kerättyä dataa voidaan analysoida visuaalisesti. Arvoja voidaan tulkita halutulta aikaväliltä, kuten kuvasta 7 voidaan havaita.



Kuva 7. Mindsphere-visualisointi

3.1.6 Laitteet

MindConnect Nano (kuva 8) on teollisuustietokone, joka kerää dataa laitteilta sekä mahdollistaa yhteyden MindSphereen. Käyttölämpötila voi olla 0 °C – 60 °C.

Nanon tilavuus on yksi litra. Sinetöity metallikotelo kestää hyvin ankarissakin olosuhteissa. Kotelo ehkäisee myös tärinää sekä iskuja. Nano kykenee keräämään dataa Siemens S7 (S7-3xx / S7-4xx / ET-200s) ohjelmoitavilta logiikoilta sekä laitteilta, jotka lähettävät datan OPC UA:n kautta. Nanoon voidaan liittää maksimissaan 32 ohjelmoitavaa logiikkaa. (Mindconnect-nano 20.10.2016.)

Internet yhteyden katketessa Nano aloittaa datan varastoimisen sisäänrakennettuun puskuriin, joka on 500 MB:n suuruinen. Yhteyden palaututtua Nano lähettää puskuroidun datan MindSphereen. Näin varmistetaan ettei dataa häviä. (MindConnect Nano Datasheet 2017.)



Kuva 8. Mindconnect Nano -yhdyskäytävä (Mindconnect-nano 20.10.2016).

IOT2040 (kuva 9) on IoT-yhdyskäytävä, joka kerää tietoa monelta eri protokollalta. IOT2040 analysoi tiedon sekä lähettää sen eteenpäin haluttuun paikkaan. Protokollien muunto-ominaisuus mahdollistaa myös vanhempien laitteiden yhdistämisen pilvipalveluun. (SIMATIC IOT2000 [Viitattu 10.8.2017].)

IOT2040 on laajennettavissa Arduino Shieldillä sekä miniPCIe- korteilla. Laite on ohjelmoitavissa useilla korkean tason ohjelmointikielillä ja mahdollistaa mukautettujen sovellusten kehittämisen. IOT2040 kykenee kommunikoimaan molempiin suuntiin, toisin kuin Nano, johon ei voida lähettää komentoja. (SIMATIC IOT2000 [Viitattu 10.8.2017].)



Kuva 9. SIMATIC IOT2040- yhdyskäytävä (Simatic IOT 2040, [Viitattu: 10.8.2017]).

3.2 AWS IoT

Tässä luvussa tarkastellaan AWS IoT -palvelun ominaisuuksia.

3.2.1 Yleiskatsaus

AWS on Infrastructure as a Service (IaaS) palvelu ja sen yksi osa on AWS IoT -palvelu (Amazon Web Service IoT), joka mahdollistaa laitteiden kommunikoinnin pilvipalvelun kanssa. Se mahdollistaa myös miljardien laitteiden yhdistämisen AWS-päätepisteisiin. (Aws-iot [Viitattu 14.11.2017].)

AWS tarjoaa suuren määrän palveluita käytettäväksi AWS IoT -palvelun kanssa. Tämän opinnäytetyön esimerkkiosiossa käytettiin Amazon S3 -palvelua, joka on pilvessä toimiva datapankki. (Aws-iot [Viitattu 14.11.2017].)

S3 mahdollistaa datan varman säilymisen sekä saatavuuden. Datan analysointia on myös mahdollista suorittaa ilman että dataa täytyisi siirtää erilliselle analyysialustalle. Amazon Kinesis on palvelu, joka mahdollistaa datan streamauksen ja lähes reaaliaikaisen käsittelyn. Lisäksi AWS tarjoaa seuraavat palvelut: AWS Lambda, Amazon Machine Learning, Amazon DynamoDB, Amazon CloudWatch, AWS CloudTrail sekä Amazon Elasticsearch. (Aws-iot [Viitattu 14.11.2017].)

3.2.2 Yhteydet

AWS IoT -palvelun tarjoama välittäjä tukee MQTT-protokollaa, jolla voidaan julkaista viestejä sekä liittyä aiheisiin. HTTP-protokollaa käyttäen voidaan julkaista viestejä, mutta aiheisiin liittyminen ei onnistu. (Amazon Web Services [Viitattu 15.6.2017].)

Välittäjä tukee myös MQTT-protokollan käyttöä WebSocket-yhteyden yli mahdollistaen jatkuvan yhteyden molempiin suuntiin (taulukko 2). (Amazon Web Services [Viitattu 15.6.2017].)

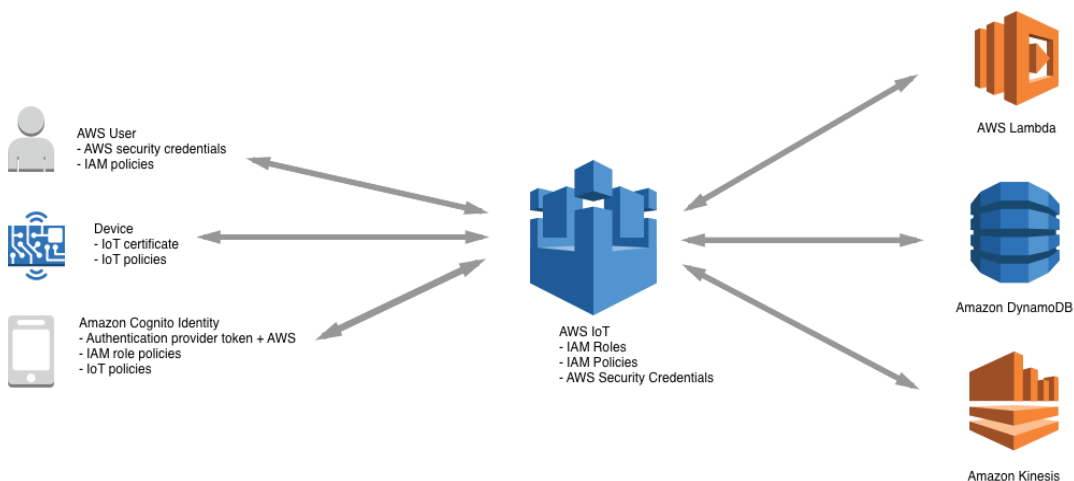
Taulukko 2. AWS IoT -palvelun käyttämät protokollat sekä autentikointi- ja porttiedot (Amazon Web Service [Viitattu 15.6.2017]).

| Protokolla | Autentikointi | Portti |
|-------------------------|------------------------------|---------------|
| MQTT | Asiakas sertifikaatti | 8883 |
| HTTP | Asiakas sertifikaatti | 8443 |
| HTTP | SigV4 | 443 |
| MQTT + WebSocket | SigV4 | 443 |

3.2.3 Tietoturva

AWS IoT -palveluun yhdistettävillä laitteilla täytyy olla AWS-palvelun käyttöoikeudet (credentials), jotta pääsy MQTT-brokeriin tai Thing Shadows -palveluun onnistuu. Kaikki liikenne AWS IoT -palvelun ja laitteen välillä täytyy salata käyttäen TLS-

salausta (Transport layer security). Lisäksi AWS pystyy säätämään erilaisia käyttäjäoikeuksia ja käytäntöjä. (Amazon Web Services Security. [Viitattu 15.6.2017].) Kuva 10 esittää AWS:n tarjoamia tietoturvaominaisuuksia.



Kuva 10. AWS IoT -turvallisuuskomponentteja (Amazon Web Services Security [Viitattu 15.6.2017]).

3.2.4 Tietokanta

AWS tarjoaa erilaisia tietokantapalveluita käytettäväksi AWS IoT -palvelun kanssa. Esimerkkinä tästä on Amazon RDS -palvelu, jonka tarkoitus on tehdä relaatiotietokannan luonnista, ylläpidosta sekä skaalaavuudesta helppoa. (Amazon Relational Database Service [Viitattu 15.6.2017].)

RDS-tietokannaksi on valittavissa kuusi eri ratkaisua:

- Amazon Aurora
- PostgreSQL
- MySQL
- MariaDB
- Oracle
- Microsoft SQL Server. (Amazon Relational Database Service, [Viitattu 15.6.2017].)

Lisäksi AWS tarjoaa tietokantaratkaisuja, joita ei ole liitetty RDS-palveluun:

- Amazon DynamoDB
- Amazon Redshift
- Amazon ElastiCache. (Amazon Web Services Cloud Databases [Viitattu 15.6.2017].)

Vanhan tietokannan muuntamiseen on tarjolla AWS Database Migration Service (Amazon Web Services Cloud Databases [Viitattu 15.6.2017]).

3.2.5 Ohjelmointi

Laitteiden ohjelmointiin AWS tarjoaa SDK-paketin (Software Development Kit) seuraaville ohjelmointikielille:

- Sulautettu C
- JavaScript
- Arduino Yun
- Java
- Python
- iOS
- C++
- Android. (Amazon Web Services IoT device SDK [Viitattu 13.6.2017].)

3.2.6 Esimerkki

Tässä osiossa konfiguroidaan AWS IoT -sertifikaatit KEPserverEX-ohjelmistolle. Asetusten jälkeen KEPserverEX MQTT-agentilla lähetetään simuloitua dataa AWS IoT -palveluun. Data streemataan S3-datapankkiin käyttäen AWS kinesis firehose -palvelua. Lopuksi data vielä visualisoidaan käyttäen AWS Quicksightia.

Ensin täytyy luoda thing eli laite AWS IoT -palvelun hallintaikkunasta, joka tässä tapauksessa kuvaa KEPserverEX-simulaatiopalvelinta. Kuvassa 11 laitteelle luodaan sertifikaatit SSL-salausta varten.

Certificate created!

Download these files and save them in a safe place. Certificates can be retrieved at retrieved after you close this page.

In order to connect a device, you need to download the following:

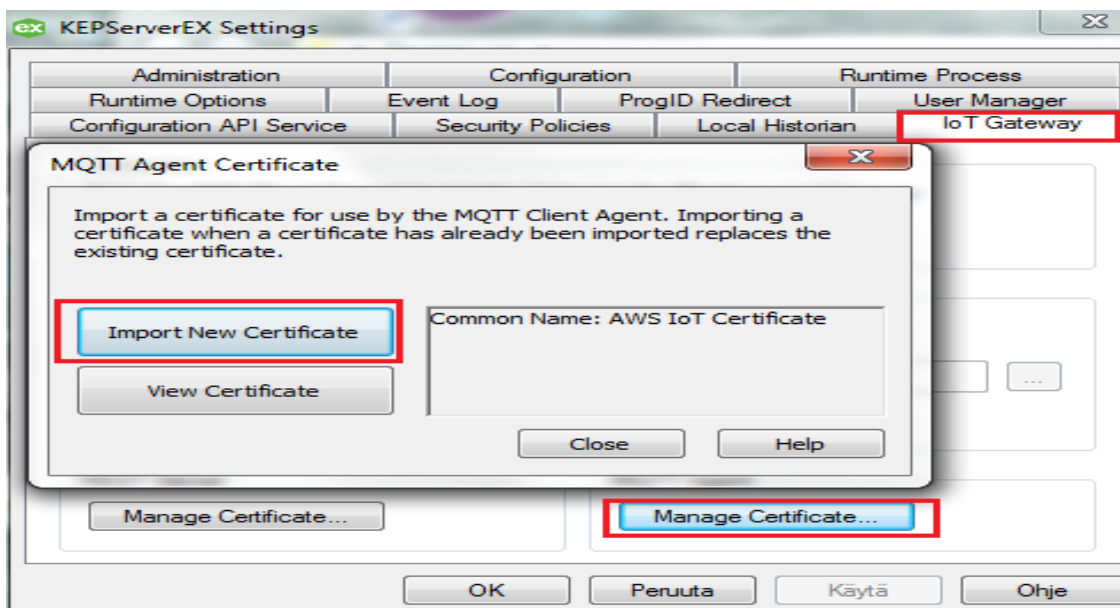
| | | |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| A certificate for this thing | a042db82a2.cert.pem | Download |
| A public key | a042db82a2.public.key | Download |
| A private key | a042db82a2.private.key | Download |

You also need to download a root CA for AWS IoT from Symantec:
A root CA for AWS IoT [Download](#)

[Activate](#)

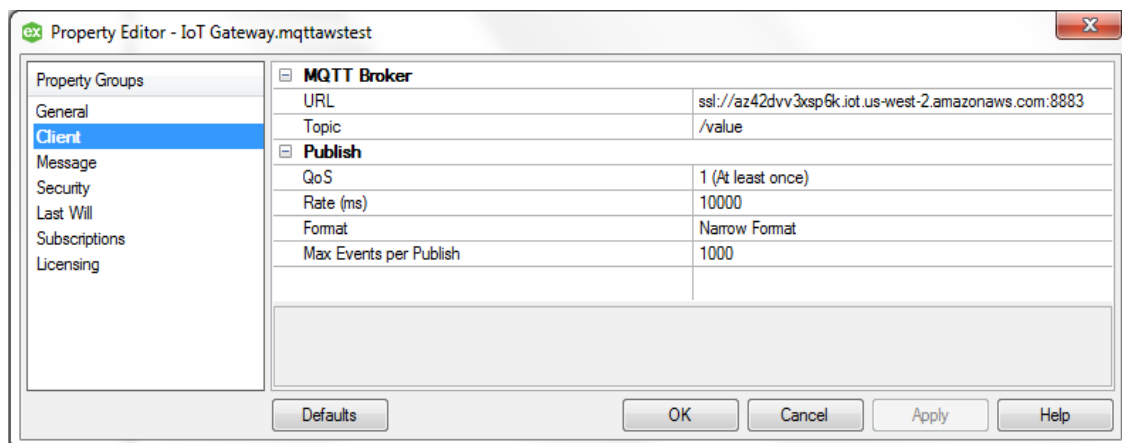
Kuva 11. Sertifikaatin luonti

Sertifikaatit lisätään KEPserverEX-asetuksiin, jotta yhteyden muodostaminen AWS IoT -palveluun sallitaan (kuva 12).



Kuva 12. KEPserverEX-sertifikaattiasetukset

KEPserverEX-ohjelmiston yhdyskäytäväagentti konfiguroidaan lähettämään simuloituja arvoja MQTT-viesteinä AWS IoT -palveluun. URL-kohtaan kirjoitetaan laitteen HTTPS-päätepiste. Topic-kohtaan lisätään aihe, johon viestejä lähetetään. (kuva 13).



Kuva 13. KEPserverEX MQTT-agentti

AWS IoT sisältää sääntömoottorin, jonka avulla voidaan kirjoittaa sääntöjä saapuville MQTT-viesteille. Säännöt kirjoitetaan käyttäen SQL-lausekkeita. Tässä simulaatiossa on tehty sääntö kuvan 14 mukaisesti, se valitsee kaikki arvot "/value"-topicista, sekä uudelleenohjaa datan Kinesiksen Firehose-palvelulle.

Using SQL version [?](#)

2016-03-23

Rule query statement

`SELECT * FROM '/value'`

Attribute

*

Topic filter

/value


Condition

e.g. temperature > 75

Cancel Update

Actions

Actions are what happens when a rule is triggered. [Learn more](#)

 Send messages to an Amazon Kinesis Fir... Remove Edit

Add action

Kuva 14. AWS IoT rules

Firehose-palvelu streemaa datan eteenpäin S3-datapankille, joka järjestee tiedot päivänmäärän sekä ajan mukaan. Kuva 15 esittelee datapankin tietoa, jonka voi avata tekstinkäsittelyohjelmalla. Tiedosto sisältää AWS IoT -palveluun lähetetyt JSON-viestit.

| <input type="checkbox"/> | Name ↑ | Last modified ↑ | Size ↑ |
|--------------------------|--|------------------------|---------|
| <input type="checkbox"/> | IoT-to-BI-Example-1-2017-05-08-11-43-32-467439d3-1204-4a30-9e1c-050119eb0a72 | May 8, 2017 2:48:35 PM | 21.8 KB |
| <input type="checkbox"/> | IoT-to-BI-Example-1-2017-05-08-11-48-40-c02c35b7-b397-46af-8626-688ccb07ad84 | May 8, 2017 2:53:44 PM | 21.1 KB |
| <input type="checkbox"/> | IoT-to-BI-Example-1-2017-05-08-11-53-50-66dc284b-8012-4e12-9bc5-c803370f3b4d | May 8, 2017 2:58:53 PM | 5.5 KB |

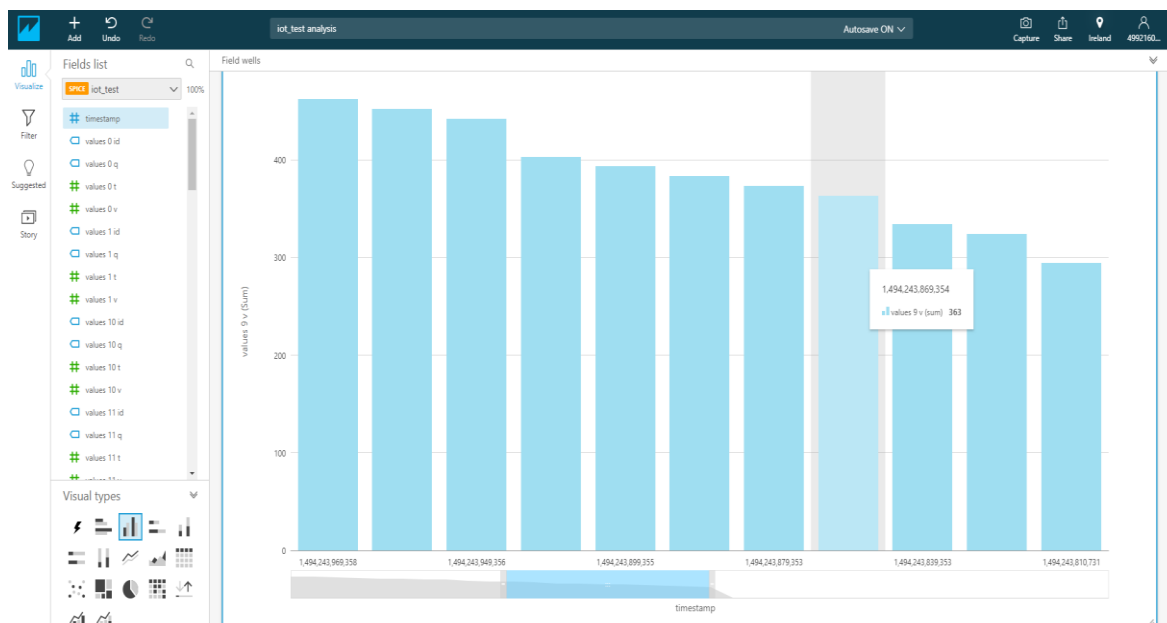
Kuva 15. S3-datapankki

Seuraavaksi data täytyy siirtää AWS Quicksightiin visualisointia varten. Quicksightin asetuksista datan lähteeksi valitaan S3-data, sekä lisätään kuvan 16 mukainen manifest-tiedosto. Tämän tarkoituksena on määrittää, mitä dataa Quicksightiin tuodaan.

```
{
  "fileLocations": [
    {
      "URIPrefixes": [
        "https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/pesmeltestis3/2017/05/08/11/result.csv"
      ]
    }
  ]
}
```

Kuva 16. Manifest-tiedosto

Datan lähettämisen jälkeen valittavana on erilaisia visuaalisia malleja. Kuvassa 17 esimerkki yhdestä mallista.



Kuva 17. Quicksight visualisointi

3.3 Ptc-ThingWorx

Tässä luvussa tarkastellaan ThingWorx -palvelun ominaisuuksia.

3.3.1 Yleiskatsaus

Thingworx on PaaS (Platform-as-a-Service) -tyyppinen ratkaisu ja se koostuu kuvan 18 esittämästä viidestä eri pääkomponentista:

- ThingWorx Foundation
- ThingWorx Utilities
- ThingWorx Analytics
- ThingWorx Studio
- ThingWorx Industrial Connectivity. (Thingworx [Viitattu 9.6.2017].)

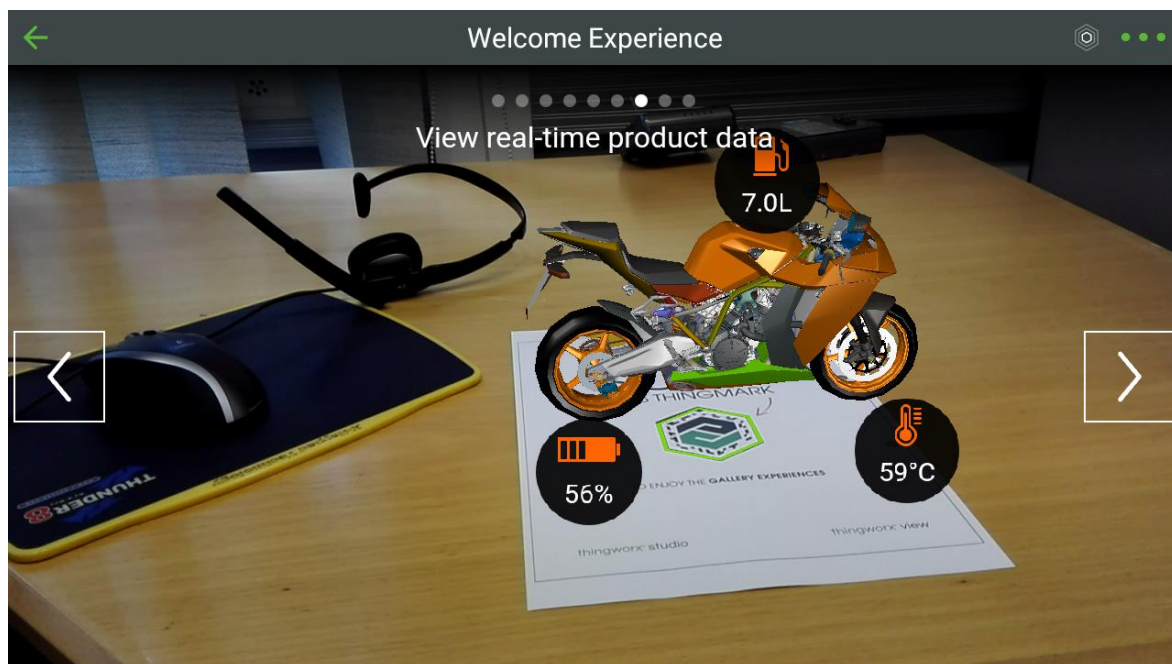


Kuva 18. ThingWorx-alustan osat (Thingworx, [Viitattu 9.6.2017]).

ThingWorx Utilities sisältää työkaluja, jotka on tarkoitettu yrityksen liiketoiminta-analytikoille sekä palveluiden käyttäjille. Thingworx Utilities helpottaa yhdistettyjen laitteiden hallintaa ilman ohjelmointitaitoja. Utilities sisältää myös integraatiohubin, joka helpottaa integraatioiden tekoa. (Thingworx utilities [Viitattu 9.6.2017].)

ThingWorx Analytics on työkalu datan analysointiin. Datan analysointityökaluilla käyttäjä kykenee tunnistamaan tulevia muutoksia sekä optimoimaan prosesseja. (Thingworx analytics [Viitattu 8.6.2017].)

Thingworx Studio on ohjelmisto, jolla voidaan rakentaa AR (Augmented reality) -kokemuksia ilman ohjelmointikokemusta. AR-malleja voidaan luoda suoraan olemassa olevista 3D-malleista ja näyttää niitä esimerkiksi kännykän ruudulla (kuva 19). (Thingworx studio [Viitattu 8.6.2017].)



Kuva 19. AR-kokemus kännykän näytöllä

ThingWorx Industrial Connectivity eli teollisuuden yhteydet on toteutettu Ptc-KEPserverEX-ohjelmistolla, josta löytyy tietoa opinnäytetyön myöhemmiltä sivuilta.

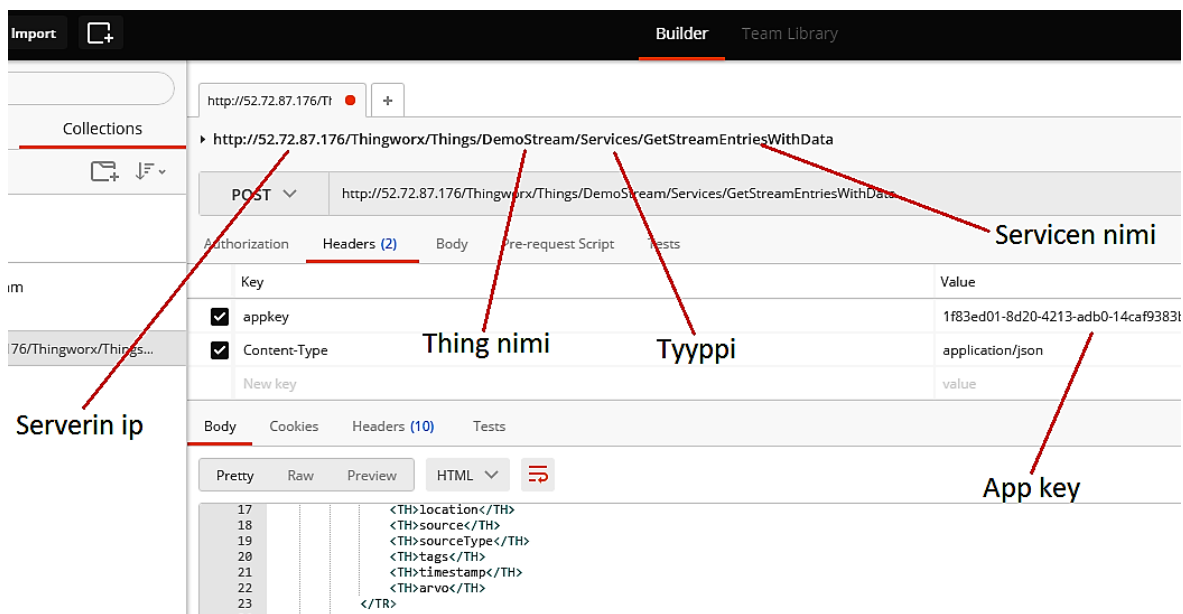
3.3.2 Yhteydet

ThingWorx tarjoaa kolme ensisijaista tapaa yhdistää laite ThingWorx-alustaan:

- REST API
- Edge microserver
- SDK. (Thingworx connect [Viitattu 30.6.2017].)

Lisäksi ThingWorx sisältää kauppapaikan, josta löytyy laajennuksia sekä muita työkaluja. Kauppapaikalta on mahdollista ladata laajennuksia yhtedenottoon, muun muassa MQTT. (Thingworx marketplace [Viitattu 20.6.2017].)

REST API -rajapinnan avulla voidaan kommunikoida ThingWorx-alustan kanssa. Kutsuja voidaan suorittaa millä tahansa laitteella, joka pystyy lähettämään HTTP-pyyntöjä. (Thingworx REST API [Viitattu 4.7.2017].) Kuvassa 20 esiteltynä Thingworxin vaatimia asetuksia HTTP-pyyntölle.



Kuva 20. Esimerkki HTTP-pyynnöstä Postman-ohjelmistolla

Edge microserver (EMS) on esivalmistettu sovellus, jonka voi asentaa Windows- tai Linux-käyttöjärjestelmään. EMS toimii siltana laitteen ja ThingWorx-alustan välillä käyttäen REST API AlwaysOn protokollaa, jonka siirtotienä on WebSocket. AlwaysOn-protokolla tarjoaa seuraavat edut:

- Laite, johon EMS on asennettu, ottaa itse yhteyden ThingWorxin palvelimeen ja näin vältetään sisään tulevien porttien avaamiselta
- AlwaysOn-protokolla käyttää samoja portteja kuin HTTP / HTTPS (80,443), joten uusia ulospäin lähteviä portteja ei tarvitse avata
- Yhteys on jatkuva, joka sallii ThingWorx-palvelimen antaa komentoja laitteelle. (Edge microserver, [Viitattu 11.8.2017].)

Software Development Kit -paketin (SDK) avulla voidaan luoda sovelluksia, jotka kykenevät yhdistämään ThingWorxin alustaan. Kaikki SDK-paketit käyttävät AlwaysOn-protokollaa. SDK-paketit luovat tunnelin laitteen ja ThingWorx-alustan välille. Näin mahdollistuu etäkäyttö VNC- tai SSH-tekniikkaa käyttäen. (Thingworx core concepts [Viitattu 4.7.2017].)

3.3.3 Tietoturva

ThingWorx sisältää kaksi eri käyttöoikeusmallia:

- Ajon aikana käytettävät käyttöoikeudet
- Kehitysvaiheessa käytettävät käyttöoikeudet. (Thingworx security whitepaper [Viitattu 4.7.2017].)

Ajon aikana käytettävät käyttöoikeudet määräävät kenellä on oikeus päästä käsiksi dataan, ajaa palveluita tai laukaista tapahtumia laitteille. Kehitysvaiheen oikeuksilla pystytään määrittelemään käyttäjät, jotka pystyvät muokkaamaan mallia (luoda, lukea, päivittää ja poistaa kokonaisuuksia). Kumpaankin käyttöoikeusmalliin voidaan myös määrätä eri käyttäjille ja ryhmille omia oikeuksiaan. Esimerkiksi normaalilta käyttäjältä voidaan evätä oikeus ajaa jonkun tietyn laitteen palveluja. (Thingworx security whitepaper [Viitattu 4.7.2017].)

Käyttäjä voi myös valita minkälaisia lokitiedostoja halutaan luoda. Voidaan esimerkiksi kuunnella tapahtumaa tiedonsiirrosta ja kirjata tämä tieto lokiin. ThingWorx pitää myös lokia kirjautumisista. Lokiin kirjoitetaan niin onnistuneet kuin epäonnistuneet kirjautumiset. (Thingworx security whitepaper [Viitattu 4.7.2017].)

Palvelimen tietojen ja rakenteiden tallentaminen tiedostoksi on mahdollista, joten varmuuskopioiden tekeminen palvelimesta on helppoa. ThingWorx-palvelin toteuttaa varmuuskopiointin tasaisin väliajoin. (Thingworx security whitepaper [Viitattu 4.7.2017].)

Palvelimen tietoturva:

- Käyttää PKI-standardia sertifikaattien validointiin
- TLS 1.x -tuki
- 128Bit AES (Advanced Encryption Standard) salaus
- Käyttäjäoikeuksien hallinta
- LDAP-autentikointi backend-integraatio
- Tuki kryptatuille kentille. (Thingworx security whitepaper [Viitattu 4.7.2017].)

Yhteyksien tietoturva:

- Käyttää PKI-standardia sertifikaattien validointiin
- TLS 1.x -tuki
- Tukee sekä asiakkaan että palvelimen sertifikaatin todennusta
- Salanasuojattu PEM (Privacy-enhanced Electronic Mail) -avainsäilö
- 128Bit AES (Advanced Encryption Standard) -salauk
- Kryptatut asetustiedoston merkinnät. (Thingworx security whitepaper [Viitattu 4.7.2017].)

3.3.4 Tietokanta

Tietokannan voi valita joko ThingWorxin sisältämästä tai omavalintaisesta ulkoisesta tietokannasta. Tietokannat jakautuvat kahteen ryhmään: aikasarjaiset ja ei-aikasarjaiset. (Thingworx data storage [Viitattu 3.7.2017].)

Aikasarjaisten kategoriasta löytyy Value Streamit sekä Streamit. Value Stream lukee laitteen muuttujaa ja kirjoittaa sen arvoa tietokantaan aikatietojen kera. Kuvassa 21 on esiteltynä streamin tuottamaa dataa. Stream ei ole sidottu yhteen laitteeseen, vaan se voi lukea dataa myös usealta laitteelta yhtä aikaa. Stream on käytännöllinen niin sanotun master-listan luontiin. Master-listalta voidaan katsoa, mitä laitteet tekivät tietyllä ajanjaksolla (Thingworx data storage [Viitattu 3.7.2017].)

GetStreamEntriesWithData - Test Service

⚠ Please be careful. Only execute services and queries where you understand the impacts.

Inputs:

oldestFirst

maxItems

| | | | | | |
|------|-----------------|---------------------|-------|-------------------------|------|
| 1236 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:47:50.244 | 3872 |
| 1235 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:47:20.245 | 3841 |
| 1234 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:46:50.244 | 3812 |
| 1233 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:46:20.244 | 3782 |
| 1232 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:45:50.244 | 3753 |
| 1231 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:45:20.244 | 3724 |
| 1230 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:44:50.245 | 3694 |
| 1229 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:44:20.245 | 3664 |
| 1228 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:43:50.244 | 3635 |
| 1227 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:43:20.244 | 3605 |
| 1226 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:42:50.244 | 3575 |
| 1225 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:42:20.244 | 3545 |
| 1224 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:41:50.245 | 3517 |
| 1223 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:41:20.244 | 3486 |
| 1222 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:40:50.244 | 3457 |
| 1221 | 0.0000 : 0.0000 | datatestiyhteydesta | Thing | 2017-05-16 13:40:20.244 | 3428 |

Execute Service Create DataShape from Result Close

Kuva 21. Tietokantakuva

Ei-aikasarjaisina vaihtoehtoina on Data table ja Info table. Nämä kaksi vaihtoehtoa ovat lähes samanlaisia kuin Value Stream ja Stream, mutta ilman aikasarjatietoa. (Thingworx data storage [Viitattu 3.7.2017].)

Käyttäjä voi valita myös ulkoisen tietokannan. Tämä onkin suositeltavaa, jos tietokantaan on odotettavissa yli 100,000 riviä. Liian suuri rivimäärä voi laskea ThingWorxin suorituskykyä. Olemassa olevaa ulkoista tietokantaa voi käyttää luomalla JDBC-yhteyden (Java Database Connectivity) siihen. (Thingworx data storage [Viitattu 3.7.2017].)

3.3.5 Ohjelmointi

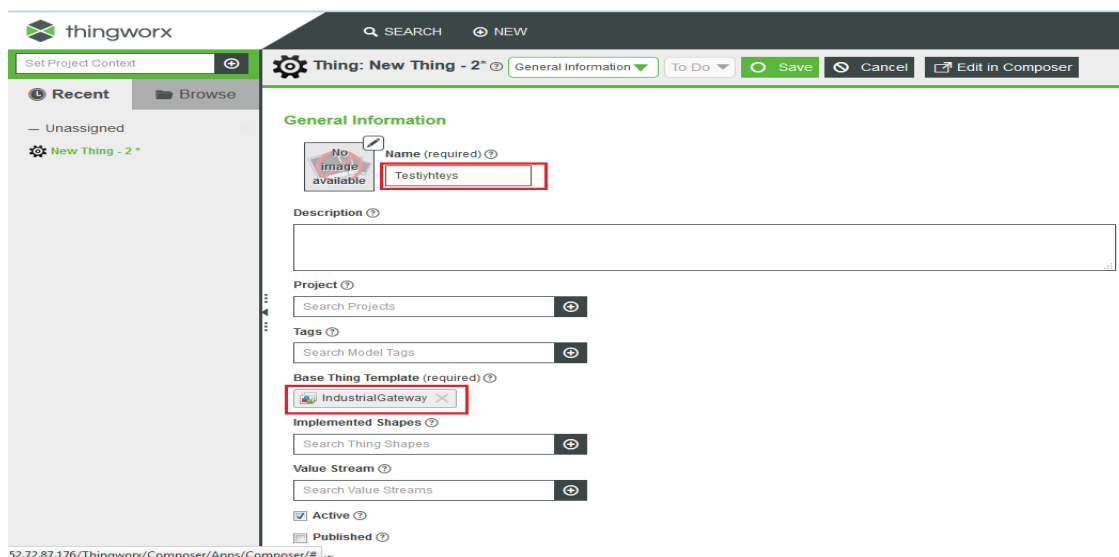
Laitteiden ohjelmointiin on tarjolla seuraavat SDK-paketit:

- C
- Java
- .NET
- iOS
- Android. (Thingworx SDKs [Viitattu 1.6.2017].)

Laitteet, johon on asennettu EMS voivat käyttää LSR-palvelua (Lua Script Resource), joka mahdollistaa pakettien lähettämisen ThingWorx-alustalta laitteelle. Paketin vastaanottamisen jälkeen laite ajaa paketin. Lähetettävät paketit on ohjelmoitu LUA-kielillä. Tällainen toiminnallisuus mahdollistaa etäpäivittämisen sekä toiminnallisuuden muuttamisen. (Thingworx lua [Viitattu 4.7.2017].)

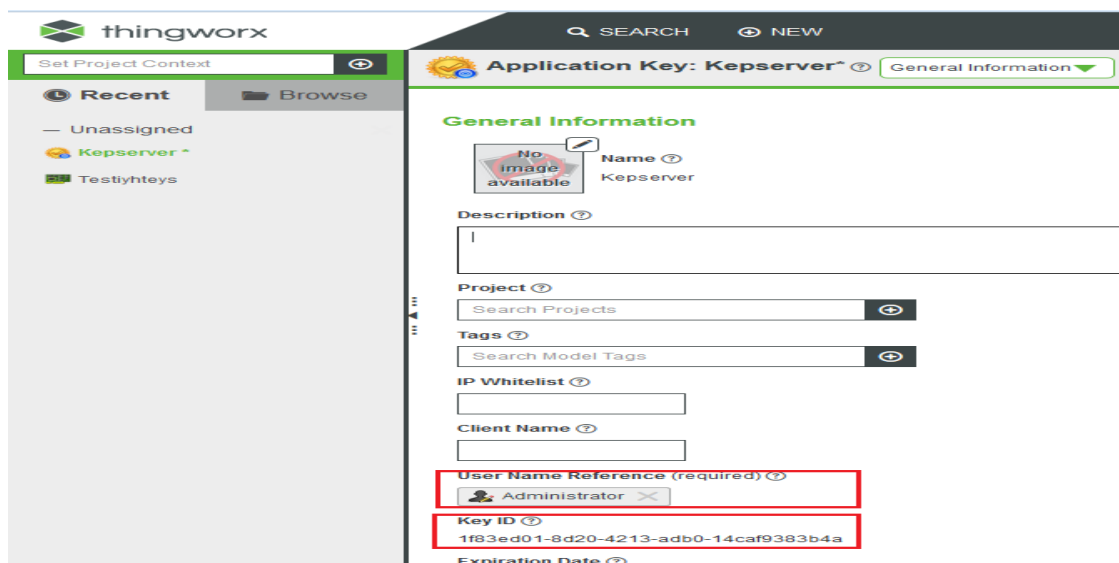
3.3.6 Esimerkki

ThingWorx-alustalta täytyy luoda uusi thing kuten kuvassa 22. Base thing template -kohtaan pitää valita IndustrialGateway. Asetus mahdollistaa KEPserverEX-yhteyden.



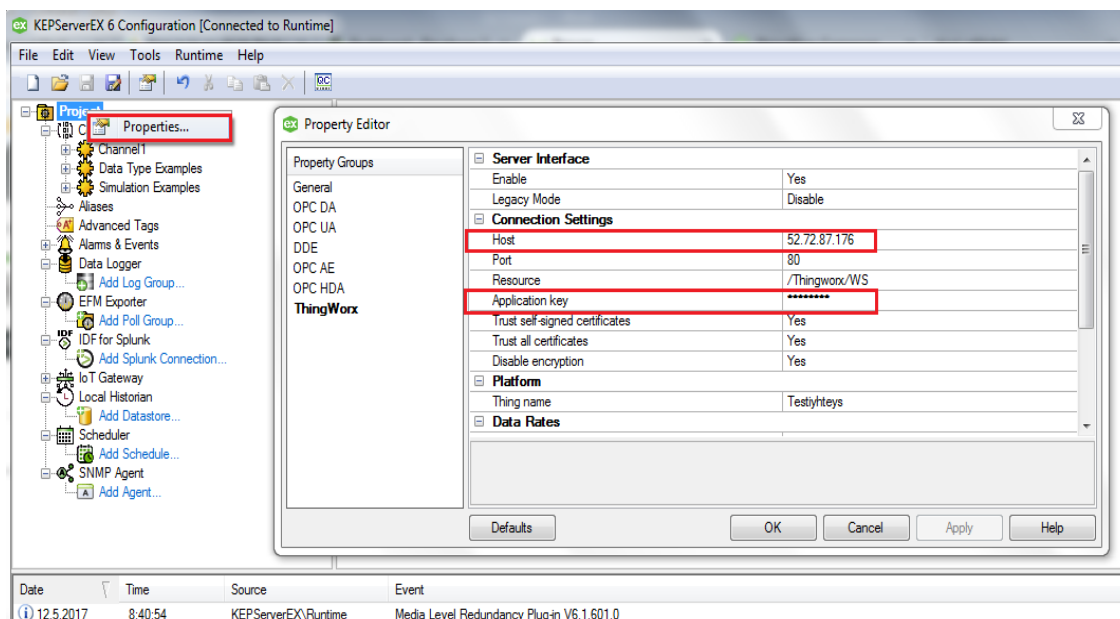
Kuva 22. Uuden thingin luonti

Kuvassa 23 luodaan uusi application key ThingWorx-alustan puolelta. Luotu avain lisätään KEPserverEx-asetuksiin.



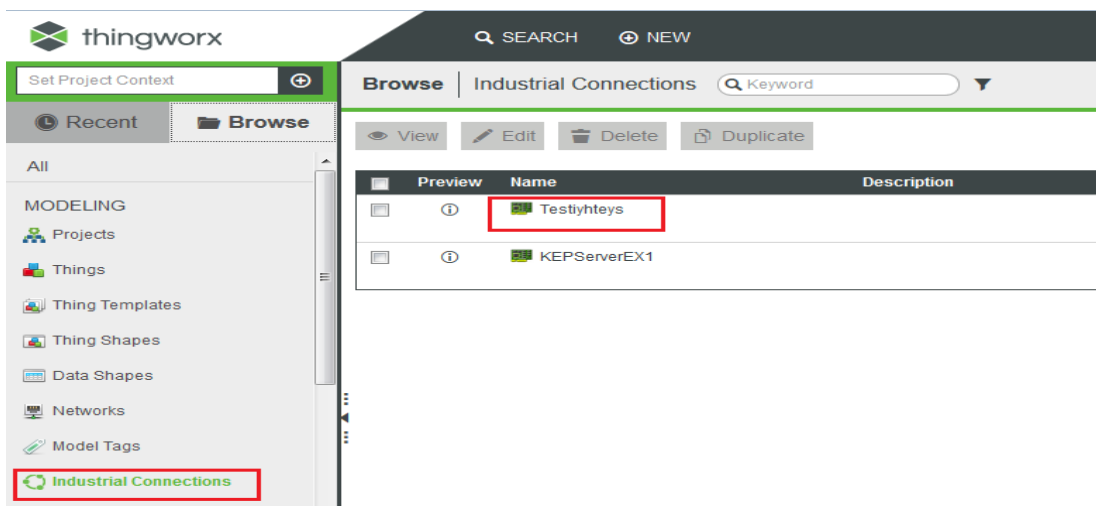
Kuva 23. Application key

KEPserverEX-ohjelmistoon täytyy konfiguroida Thingworx-palvelimen asetukset sekä edellisessä kohdassa luotu application key. Thing name -asetuksen täytyy olla sama kuin aiemmin luodulla thingillä. Kuvassa 24 asetetaan Thingworx-palvelimen asetukset sekä application key.



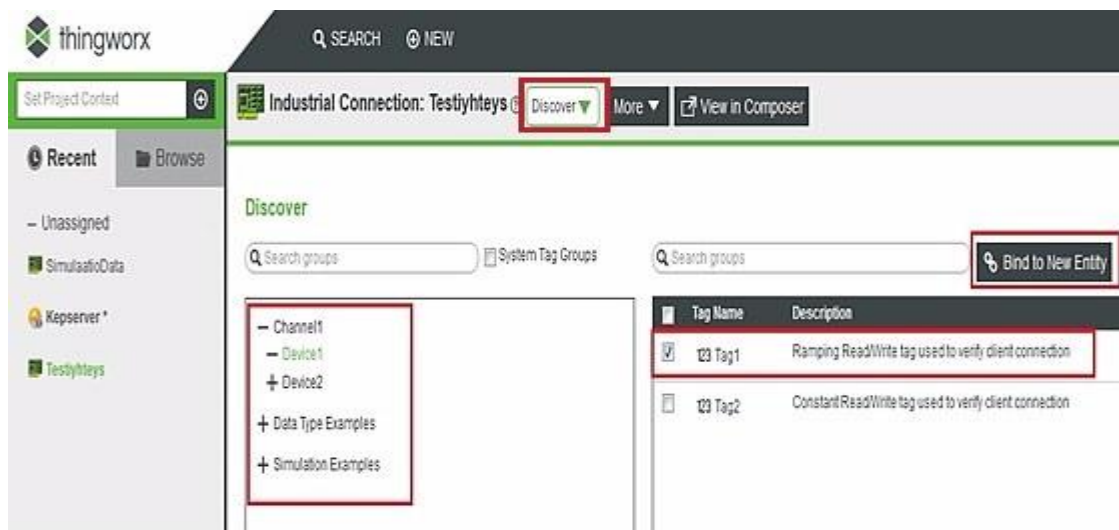
Kuva 24. KEPServerEx ThingWorx -integraatio

Industrial Connection -valikosta (kuva 25) klikataan lisättyä yhteyttä. Uusi composer pitää olla aktiivisena. Sen saa päälle composerista kohdasta administrator / preferences.



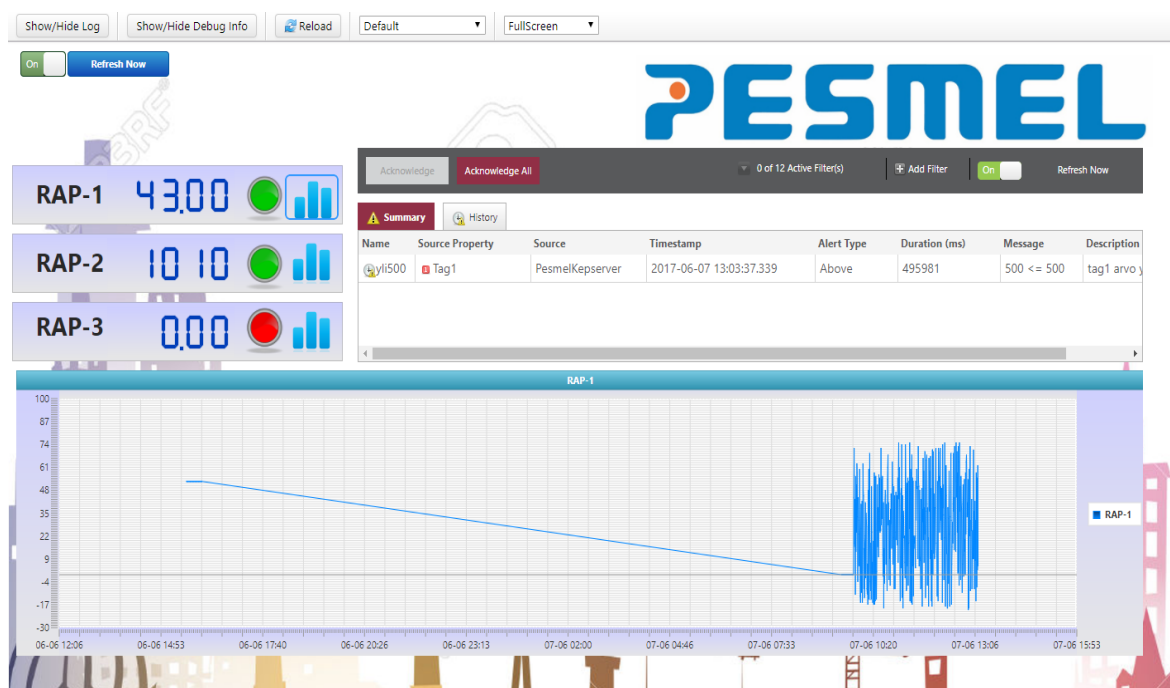
Kuva 25. Industrial Connections -valikko

Discover (kuva 26) kohdasta lisätään KEPServerEX-ohjelmasta löydetyt tagit, sekä tallennetaan ne uuteen thingiin.



Kuva 26. Tagien etsiminen ja bindaaminen

Uuden thingin luonnin jälkeen voidaan rakentaa käyttöliittymä käyttäen ThingWorx Mashup -työkalua. Kuvassa 27 on esimerkkinä luotu käyttöliittymä, joka sisältää reaaliaikaista dataa, hälytykset sekä historiatietoa graafisesti esitettynä.



Kuva 27. ThingWorx Mashup -käyttöliittymä

3.4 Wapice IoT-Ticket

Tässä luvussa tarkastellaan ThingWorx -palvelun ominaisuuksia.

3.4.1 Yleiskatsaus

Wapice IoT-Ticket on suomalainen IoT-alusta. Dashboard-paneelien luominen ei vaadi ohjelmointia, vaan ne luodaan graafisten symbolien avulla. Työskentely tapahtuu Web-käyttöliittymien kautta vedä ja pudota -tyylillä. Tällöin perinteistä ohjelmointia ei tarvita, mikä tekee työskentelystä helppoa ja mutkatonta. (IoT-Ticket [Viitattu 29.5.2017].)

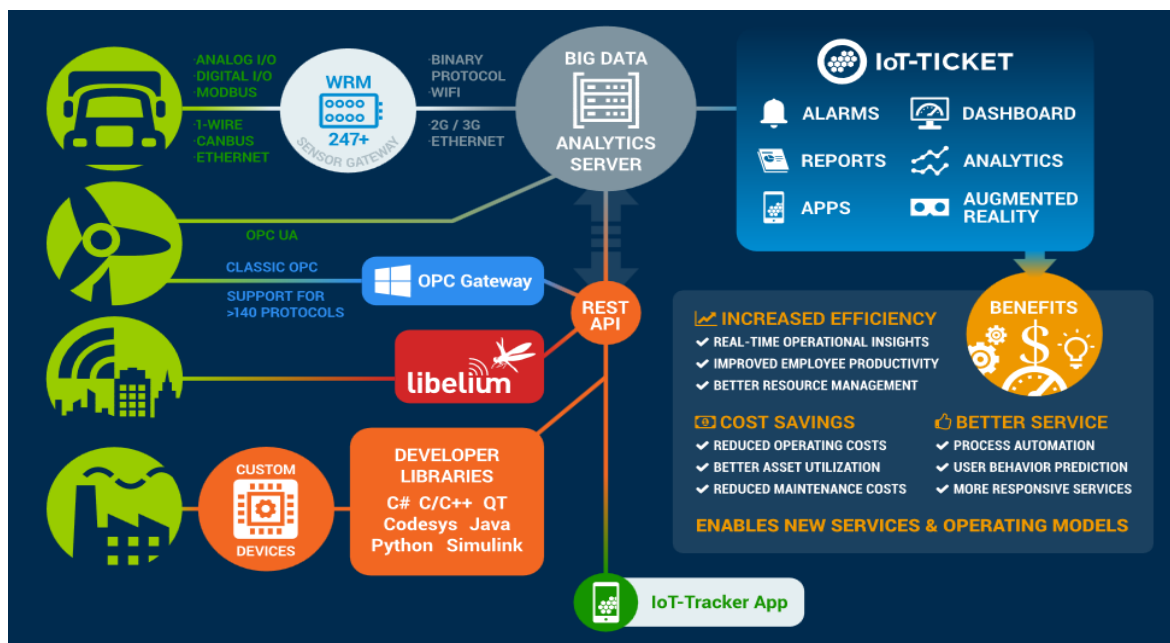
Raportointityökalut kuuluvat IoT-Ticketin tarjontaan. Niiden avulla voidaan luoda raportteja, jotka näyttävät samalta kuin mitkä tahansa tekstieditorilla luodut raportit. Merkittävänä erona on kuitenkin se, että raporttien tieto haetaan automaattisesti halutusta datasta. (IoT-Ticket [Viitattu 29.5.2017].)

IoT-Ticket sisältää myös työkalut datan analysointiin. Analysointityökalujen käyttö on tehty myös käyttäjäystävälliseksi. Se tapahtuu raahaamalla data-tunnisteita datasarja-kenttiin. (IoT-Ticket [Viitattu 29.5.2017].)

3.4.2 Yhteydet

IoT-Ticketin yhdistäminen on mahdollista käyttäen Wapicen tarjoamia REST-rajapintoja. Rajapintoja käyttämällä on mahdollista luoda laitteita, poistaa, lukea sekä kirjoittaa. (IoT-Ticket api user manual [Viitattu 30.5.2017].) Kuvassa 28 esitellään erilaisia yhdistämiskeinoja IoT-Tickettiin.

Saatavana on myös laiteratkaisu, jonka ansiosta laitteen liittäminen on mahdollista ilman API-rajapinnan käyttöä (IoT-Ticket alusta [Viitattu 8.6.2017]).



Kuva 28. Yhteysdiagrammi (IoT-Ticket alusta [Viitattu 8.6.2017]).

Wapice tarjoaa myös yli 140 eri protokollaa (taulukko 3) yhdistämiseen. Mukana on ohjelmoitavia logiikoita sekä yleisimpiä teollisuuden protokollia, muun muassa OPC UA. (IoT-Ticket alusta [Viitattu 8.6.2017].)

Taulukko 3. IoT-Ticketin protokollat (IoT-Ticket alusta [Viitattu 8.6.2017]).

| | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------|
| @aGlance | ABB Advant IMS | ABB RP570 |
| ABB Totalflow | Air Liquide ADACS | Allen Bradley PLCs |
| Amaco Amocams | Anybus | Anybus-PCI |
| APACS (API) | APACS (Direct) | Applikon |
| AS-I | Aspentech (Setpoint) Setcim | AspenTech Cim/21 |
| AspenTech InfoPlus.21 | Autocom | BACnet |
| Bailey (Direct) | Bailey (SemAPI) | Bristol Babcock OpenBSI |
| CAN Data | CANopen | CDC Type 2 |
| Citect | Databases (ODBC, MySQL, MSSQL, and Oracle) | Direct Data Exchange (DDE) |
| DLMS | DNP3 | DSIG Data Protocol |
| EDAS (HOSE) | eDNA | Encore RMS |
| Eurotherm 800 Series | Fisher ROC (ROC & ROC Plus) | Foxboro |
| Foxboro I/A (Object Manager) | FoxSCADA | GCOM ABB |
| GE CIMPLICITY | GE Fanuc PLC | GE Harris |
| GE Speedtronic Mark V & VI (GSM) | GE Speedtronic Mark V (Direct) | Gensym G2 |
| HART | Honeywell HC900 | Honeywell Measurex |
| Honeywell OptiVISION | Honeywell PHD | Husky Host |
| ICCP | IEC 60870-5 | IEC 61400-25 |
| IEC 61850 | Intellution Fix/iFix | Intellution Fix/iFix |
| ISO 11783 | JagXtreme | JC N1 (Johnson Controls) |
| JC N2 (Johnson Controls) | Kaye DigiLink | Kaye Netpac |
| KNX | Koyo (Direct Net) PLCs | Libelium Meshlium |
| Libelium Plug&Sense | LonWorks | LoRa |
| Lufkin Modbus | Macroview | Mark VI (Direct) |
| Matrikon GenCS | M-Bus | Mettler Toledo |
| Microsoft Task Manager | Mitsubishi PLCs | Mitsubishi Turbine Controllers |
| Modbus | Modbus TCP | Moore MYCRO |
| Motorola IP Gateway (MOSCAD) | Nanoscaner | NDC Pronet |
| NEG Micon | Nova Biomedical | Nova BioProfile FLEX Analyzer |
| OBD | ODBC | OECD |

| | | |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|
| OMNI Flow Computers | OMRON PLCs | One-wire |
| OPC Genie | OPTO 22 | Profibus |
| Proficy (iHistorian) | Profinet | PROMORE FibreNet DTS |
| Provox (CHIP) | Provox (Direct) | Quindar |
| Reynolds Equipment | RM-80 for Radiation Monitoring Systems | RMV9000 |
| Roibox | RS3 RNI | Sargent/ASSAY Abloy Locks |
| Sartorius | SCADA Modbus | Schneider Electric PowerLogic SMS |
| Schneider UNI-Telway | SCI | Sensa Sensor Highway |
| Siemens LSX | Siemens MPI | Siemens PPI |
| Siemens S7 PLC for Siemens PLCs | Siemens SIMATIC TI505 | Siemens Teleperm XP via XU |
| Siemens Wind Turbines | SNMP | SNMP |
| SNMP Agent | StreamInsight | Teltonika |
| Triconex | Triconex Achilles Certified | Triconex HPKS Certified |
| TVA DatAWARE | ULMA | Unitrol 5000 |
| Verano (HP) RTAP | Vestas Wind Turbine Controllers | West Series 3010 Digital Indicators |
| Westinghouse WDPF | WITS | WITSML |
| Wonderware Historian (InSQL) | Wonderware InTouch | Yokogawa |
| Yokogawa Vnet/IP | ZigBee | OPC DA |
| OPC UA Server | OPC UA Client | |

3.4.3 Tietoturva

Kaikki pyynnöt tehdään HTTPS-protokollaa käyttäen, joten se on suojattu wiretappingiltä sekä man-in-the-middle-hyökkäyksiltä. Datan lähettäminen suojataan basic HTTP -suojauksella. (IoT-Ticket api user manual [Viitattu 1.6.2017].)

Jokaisen REST-pyynnön mukana kulkee käyttäjänimi ja salasana, jotka ovat koodattu base64-koodauksella. (Basic Authentication [Viitattu 8.6.2017].)

3.4.4 Ohjelmointi

Wapicen IoT-Ticketin tiedon lähettäminen tapahtuu REST-rajapintaa käyttäen. IoT-Ticketin API on tarjolla käyttäjälle ja Wapice tarjoaa siihen esimerkkiohjelmiä:

- C# REST Client
- Java REST Client
- Linux C++ Client
- Python Client
- Qt Client. (IoT-Ticket aloituspaketti [Viitattu 5.7.2017].)

PLC-simulointiin käytetään KEPserverEX Gateway -lisäosaa. Se täytyy ensin konfiguroida kuten kuvassa 32. Asetukset ovat seuraavat:

- Client-osion URL-kohtaan kirjoitetaan IoT-Ticket API -osoite, sekä Device id (löytyy IoT-Ticketistä laitteen luomisen jälkeen).
- HTTP Headerin täytyy olla: Content Type: application / json, että IoT-Ticket tietää että viesti on tulossa JSON-muodossa.
- Kuva 31 näyttää, millaisessa muodossa message template -kohdan viestin tulee olla. TAGNAME kuvastaa tagin nimeä ja VALUE sen arvoa.
- Security-kohtaan kirjoitetaan IoT-Ticket-käyttäjänimi ja -salasana.

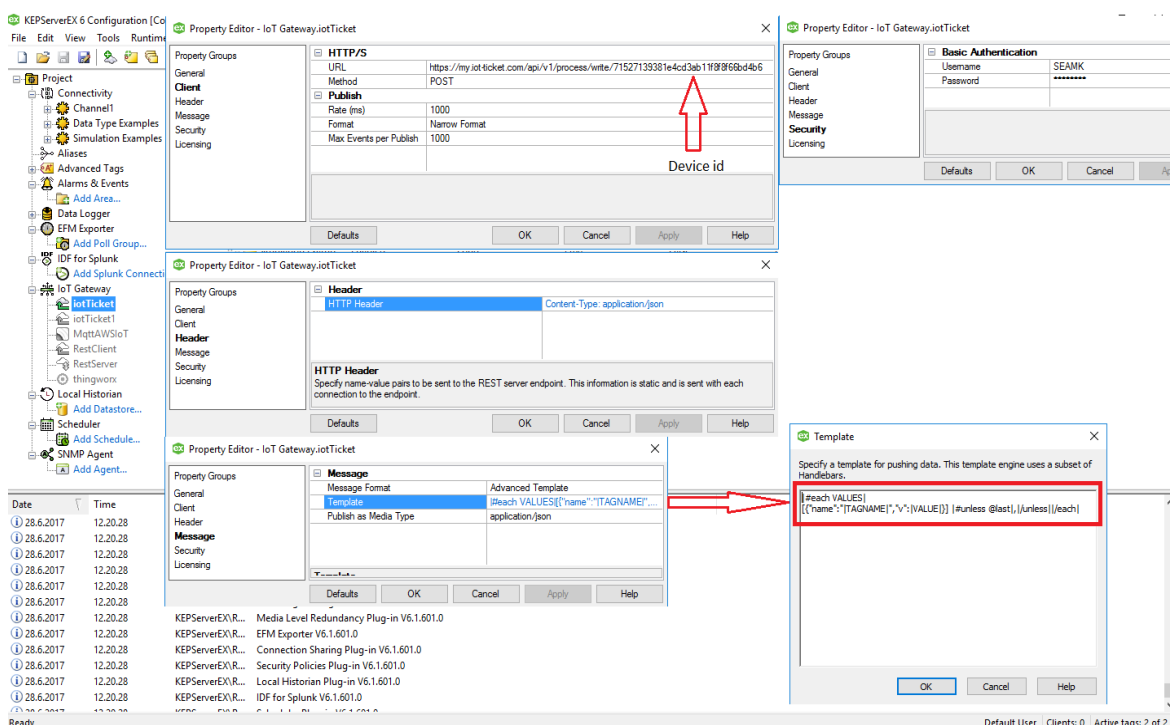
Kuvassa 31 esiteltynä asetukset, joilla säädetään JSON-viestin muoto.

```

[#each VALUES]
[{"name": "TAGNAME", "v": [VALUE]}] [#unless @last, ], /unless || /each]

```

Kuva 31. JSON-viestin muoto



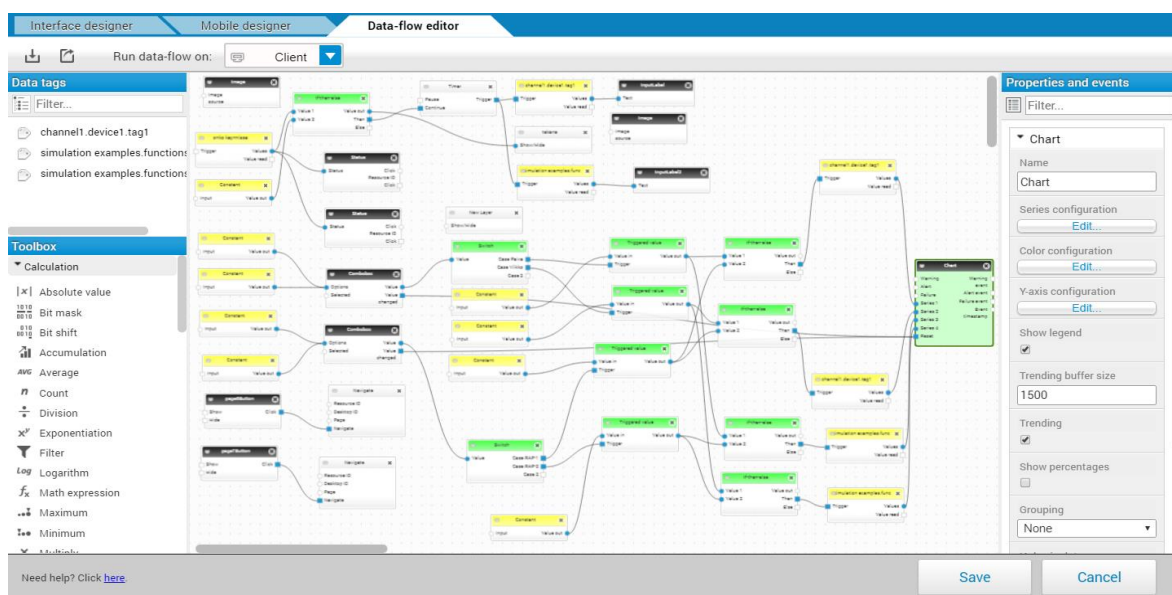
Kuva 32. KEPserverEX REST client -asetukset

KEPserverEX lähettää nyt dataa IoT-Ticketin. Seuraavaksi tehdään käyttöliittymä, joka visualisoi datan. Käyttöliittymä rakennetaan käyttäen Interface Designeriä kuten kuvassa 33.



Kuva 33. Interface designerilla luotu käyttöliittymä

Käyttöliittymän luonnin jälkeen toiminnallisuus rakennetaan Dataflow Editorilla. Kuva 34 esittää käyttöliittymään tehdyn logiikan.



Kuva 34. Dataflow editor

3.4.6 Laitteet

Wapicella on myös oma kustomoitavissa oleva laite nimeltään WRM 247+ (Kuva 35). Laitetta voidaan käyttää etähallintaan, mittaukseen ja ohjaukseen. Wapice tarjoaa laitteelle myös kattavat räätälöintimahdollisuudet käsittäen PCB-suunnittelun, ohjelmistosuunnittelun sekä protokollien käyttöönoton. (IoT-Ticket alusta [Viitattu 5.7.2017].)



Kuva 35. Wapice WRM 247+ (IoT-Ticket alusta [Viitattu 5.7.2017]).

WRM 247+ sisältää seuraavat moduulit:

- Kiihtyvyyys
- CAN Data
- CAN Open
- ModBus Server
- One-wire
- ISO11783 Monitor
- Modbus
- Modbus TCP
- Aika
- OBD. (IoT-Ticket alusta [Viitattu 5.7.2017].)

4 IoT Gateway

4.1 Yleistä

IoT Gateway (IoT-yhdyskäytävä) on laite tai ohjelmisto, joka toimii linkkinä laitteiden ja pilven välillä. IoT-yhdyskäytävän yksi päätarkoitus on muuttaa eri protokollat muotoon, jota pilvipalvelu ymmärtää. (McClelland 23.11.2016.)

Suurista datamääristä kaikki tieto ei ole tarpeellista, minkä takia osa yhdyskäytävistä pystyy seulomaan dataa. Suurien tietomäärien lähettäminen pilveen on myös kallista, joten pilveen ei kannata lähettää kuin tarpeellinen data. (McClelland 23.11.2016.)

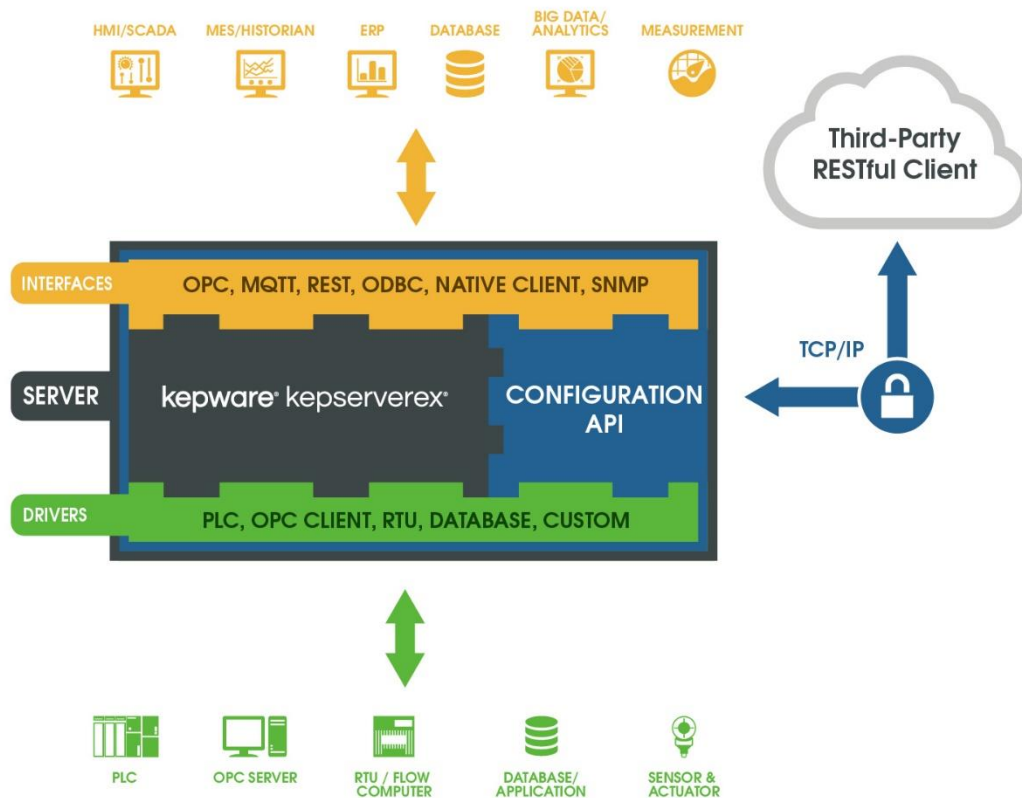
4.2 KEPserverEX

Tässä luvussa tarkastellaan KEPserverEX -ohjelmiston ominaisuuksia.

4.2.1 Yleiskatsaus

KEPserverEX on ohjelmisto, joka mahdollistaa yhden lähteen kaikelle teolliselle automaatiotalle. Käyttäjät voivat yhdistää, hallinnoida sekä ohjata laitteita yhdellä käyttöliittymällä. KEPserverEX on ohjelmistopohjainen yhdyskäytävä, joten se täytyy asentaa pc:lle. Ohjelmisto kykenee yhdistämään asiakasohjelmistoihin, esimerkiksi MES-järjestelmään (Manufacturing Execution System) ja SCADA-ohjelmistoon (Supervisory Control And Data Acquisition). (KEPserverEX [Viitattu 5.7.2017].) Kuvassa 36 on esitetty yleiskuva KEPserverEX-ohjelmistosta.

Advanced tags -laajennuksen avulla M2M (Machine to Machine) -kommunikaatio on mahdollista, vaikka laitteet eivät olisi saman valmistajan tekemiä. Simulaatio mahdollistaa kokoonpanon testaamisen etukäteen. Tämä pienentää mahdollisten virheiden määrää. (KEPserverEx advanced tags [Viitattu 5.7.2017].)



Kuva 36. Yleiskuva KEServerEX-ohjelmistosta (KEServerEX Version 6 [Viitattu 5.7.2017]).

Optimointi on myös otettu huomioon, sillä KEServerEX kykenee seulomaan dataa suorittamalla matemaattisia toimituksia. Tämä johtaa pienentyneeseen datan määrään sekä vähäisempään kaistan käyttöön. (KEServerEX [Viitattu 5.7.2017].)

Kepware tarjoaa ilmaisen demosovelluksen KEServerEX-ohjelmasta, jonka ainoa rajoitus on se, että se täytyy käynnistää uudelleen kahden tunnin välein. Tässä opinnäytetyössä käytetään KEServerEX-demoversiota sekä sen simulaatio-ominaisuutta IoT-alustojen testaamiseen. (KEServerEX [Viitattu 5.7.2017].)

4.2.2 Yhteydet

KEPserverEX-ohjelman päätarkoitus on yhdistäminen. Siitä löytyy tuki yli 150 kommunikointiajurille sekä 250 uniikille protokollalle (taulukko 4). (KepServerEX datasheet [Viitattu 5.7.2017].)

Taulukko 4. Lista KEPserverEX-ohjelman tukemista ajureista (KepServerEX datasheet [Viitattu 5.7.2017]).

- | | | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| - ABB Totalflow | - GE EGD | - Ping |
| - Advanced Simulator | - GE Ethernet | - SattBus Ethernet |
| - Allen-Bradley 1609 UPS | - GE SNP | - SattBus Serial |
| - Allen-Bradley Bulletin 900 | - GE SNPX | - Scanivalve Ethernet |
| - Allen-Bradley ControlLogix Ethernet | - Hilscher Universal | - Siemens S5 |
| - Allen-Bradley ControlLogix Unsolicited | - Honeywell HC900 Ethernet | - Siemens S5 3964R |
| - Allen-Bradley Data Highway Plus | - Honeywell UDC Ethernet | - Siemens S7 MPI |
| - Allen-Bradley DF1 | - Honeywell UDC Serial | - Siemens S7-200 |
| - Allen-Bradley Ethernet | - IDEC Serial | - Siemens TCP/IP Ethernet |
| - Allen-Bradley Micro800 Ethernet | - IEC 60870-5-101 Master | - Siemens TCP/IP Unsolicited Ethernet |
| - Allen-Bradley Micro800 Serial | - IEC 60870-5-104 Master | - Simatic/TI 505 Ethernet |
| - Allen-Bradley Unsolicited Ethernet | - IEC 61850 MMS Client | - Simatic/TI 505 Serial |
| - Alstom Redundant Ethernet | - Intelligent Actuator (IA) Super SEL | - SIXNET EtherTRAK |
| - Analog Devices | - InTouch Client | - SIXNET UDR |
| - Aromat Ethernet | - IOtech PointScan 100 | - SNMP |
| - Aromat Serial | - Krauss Maffei MC4 Ethernet | - Square D |
| - AutomationDirect DirectNET | - Lufkin Modbus | - System Monitor |
| - AutomationDirect EBC | - Memory Based | - Telemecanique Uni-Telway |
| - AutomationDirect ECOM | - Mettler Toledo | - Thermo Westronics Ethernet |
| - AutomationDirect K Sequence | - Micro-DCI | - Thermo Westronics Serial |
| - AutomationDirect Productivity Series Ethernet | - Mitsubishi CNC Ethernet | - TIWAY Host Adapter |
| - BACnet/IP | - Mitsubishi Ethernet | - Torque Tool Ethernet |
| - Beckhoff TwinCAT | - Mitsubishi FX | - Toshiba Ethernet |
| - Bristol/IP | - Mitsubishi FX Net | - Toshiba Serial |
| - BUSWARE Ethernet | - Mitsubishi Serial | - Toyopuc PC3/PC2 Ethernet |
| - CODESYS Ethernet | - Modbus ASCII | - Toyopuc Serial |
| - Contrex M-Series | - Modbus Ethernet | - Triconex Ethernet |
| - Contrex Serial | - Modbus Plus | - User Configurable (U-CON*) |
| - Custom Interface | - Modbus Serial | - WAGO Ethernet |
| - Cutler-Hammer D50/D300 | - Modbus Unsolicited Serial | - Weatherford 8500 |
| - Cutler-Hammer ELC Ethernet | - MTConnect | - WITS Level 0 Active |
| - Cutler-Hammer ELC Serial | - ODBC Client | - WITS Level 0 Passive |
| - Dataforth isoLynx | - OMNI Flow Computer | - Yaskawa Memobus Plus |
| - DDE Client | - Omron FINS Ethernet | - Yaskawa MP Series Ethernet |
| - DNP3 Master Ethernet | - Omron FINS Serial | - Yaskawa MP Series Serial |
| - DNP3 Master Serial | - Omron Host Link | - Yokogawa Controller |
| - Enron Modbus | - Omron NJ Ethernet | - Yokogawa CX |
| - Fanuc Focas Ethernet | - Omron Process Suite | - Yokogawa Darwin Ethernet |
| - Fanuc Focas HSSB | - Omron Toolbus | - Yokogawa Darwin Serial |
| - Fisher ROC Ethernet | - OPC DA Client | - Yokogawa DX Ethernet |
| - Fisher ROC Plus Ethernet | - OPC UA Client | - Yokogawa DX Serial |
| - Fisher ROC Plus Serial | - OPC XML-DA Client | - Yokogawa DXP |
| - Fisher ROC Serial | - Optimization OptiLogic | - Yokogawa HR |
| - Fuji Flex | - Opto 22 Ethernet | - Yokogawa MW |
| - GE CCM | - Partlow ASCII | - Yokogawa MX |
| | - Philips P8/PC20 | - Yokogawa YS100 |

KEPserverEX-ohjelman tarjoamat kattavat OPC-protokollat:

- OPC .NET
- OPC AE (Alarms and Events)
- OPC DA (Data Access)
- OPC HDA (Historical Data Access)

- OPC UA (Unified Architecture). (KEPserverEX Application Connectivity [Viitattu 5.7.2017].)

IT-protokollina ohjelmasta löytyy seuraavat protokollat:

- MQTT pystyy kirjoittamaan aiheisiin, sekä kuuntelemaan haluttua aihetta kirjoituskäskyjen varalta.
- REST sisältää sekä asiakas- että palvelinosion.
- ODBC:n (Open Database Connectivity) avulla on mahdollisuus tehdä yhteys seuraaviin tietokantoihin: Microsoft Access, Microsoft SQL, MySql, Oracle sekä Sybase.
- SNMP (Simple Network Management Protocol) on tarkoitettu laitteiden väliseen tiedonvaihtoon. (KEPserverEX Application Connectivity [Viitattu 5.7.2017].)

4.2.3 Addons

KEPserverEx-ohjelmassa on tarjolla runsaasti erilaisia lisäosia (Addon), joilla voidaan lisätä toiminnallisuutta. Lisäosat ovat maksullisia.

Advanced tags mahdollistaa M2M (Machine to machine) -tagien linkittämisen sekä erilaisten loogisten matemaattisten toimintojen tekemisen. Lisäosa mahdollistaa myös sen, että koneet pystyvät vaikuttamaan toisiinsa erilaisten sääntöjen avulla. (KEPserverEx advanced tags [Viitattu 5.7.2017].)

Local historian on paikallinen tietokanta, joka kerää historiadataa. Internet-yhteyden katketessa Local historian kerää yhä dataa, ja näin sitä voidaan käyttää varmistuksena. Tiedon lukeminen onnistuu käyttäen OPC HDA -protokollaa. (KEPserverEX local historian [Viitattu 5.7.2017].)

Alarms and Events lisäosalla saadaan hälytystuki kaikille laitteille, jotka ovat yhdistyneet OPC- palvelimeen. Hälytyksiä voidaan asettaa, vaikka laite ei tukisikaan OPC AE -protokollaa. Hälytyksen ehtojen täytyttyä alarms and events -lisäosa lähettää hälytyksen OPC AE -asiakkaille. (KEPserverEX Alarms & Events Plug-In [Viitattu 5.7.2017].)

DataLogger mahdollistaa yhdistämisen ODBC-palvelimelle, sekä tallentamisen OPC-palvelimelta (KEPserverEX DataLogger [Viitattu 5.7.2017]).

IoT Gatewayn avulla pystytään julkaisemaan dataa kolmannen osapuolien loppupisteisiin. Julkaiseminen onnistuu MQTT-, Thingworx- tai REST-rajapintaa käyttäen. Datan muoto on JSON ja viestin tyylin voi määrittellä itse. (KEPserverEX IoT Gateway [Viitattu 5.7.2017].)

Security Policies on tehty käyttöoikeuksien hallintaan, kuten kanavien, laitteiden ja tagien käyttöoikeuksien asettamiseen (KEPserverEX Security Policies Plug-In [Viitattu 5.7.2017]).

5 Vertailu

IoT-alustojen vertailu suoritettiin vertaamalla alustoja Pesmel Oy:n tarpeiden mukaan. Alustan valintaan vaikutti eniten yrityksen omat tarpeet. Vertailun lopputuloksena valittu alusta ei välttämättä sovellu siis kaikkien tarpeisiin. Kriteereiksi valittiin tiedonkeruu, tietokanta, käytettävyys, analytiikka sekä tiedon visualisointi.

Pesmelillä on ensisijaisesti käytössä Siemensin S7-logiikoita, joten tiedonkeruu -kohdassa vertailtiin datan keräämistä logiikalta. Vertailussa otettiin huomioon myös, kuinka helposti data on lähetettävissä eteenpäin. Käytettävyys-osassa arvioitiin alustojen helppokäyttöisyyttä sekä yleistä selkeyttä. Arvioinnissa otettiin huomioon myös, miten helposti laite saadaan näkyviin alustalle.

Tiedon visualisointi -osassa vertailtiin, miten helposti tieto on saatavilla visuaaliseen muotoon. Vertailussa arvioitiin myös käyttöliittymien valmistusta. Vertailun tietokanta-osassa tutkittiin, kuinka helppoa tietokantaan on lisätä dataa, sekä kuinka helposti tiedon saa sieltä ulos.

5.1 Tiedonkeruu

Tässä osiossa tutkittiin, kuinka helposti data saadaan KEPserverEX-ohjelmistosta näkyviin IoT-alustalle. Tiedonkeruun helppous on pisteytetty taulukossa 5. Alustojen pisteet muodostuivat suoraan yhteystapojen määrästä. AWS IoT sai 2 pistettä koska itse AWS IoT tukee pelkästään MQTT-protokollaa, mutta AWS-alusta tukee myös REST-API-rajapintaa.

Taulukko 5. Tiedonkeruu-osion pisteytys

| Alusta | Tapa | Pisteet |
|-------------------|-----------------------------------|---------|
| MindSphere | Laite, Logiikka kirjasto, Ohjelma | 2 |
| AWS IoT | MQTT | 2 |
| ThingWorx | Ohjelma, REST | 2 |
| IoT-Ticket | Laite, REST | 2 |

AWS IoT ja IoT-Ticket tarvitsisivat ohjelmallisia lisäyksiä Peshmelin WMS-järjestelmään, joko MQTT-asiakkaan luonnin tai REST-rajapinnan käytön. Thingworxin tapauksessa täytyisi asentaa erillinen tietokone KEPserverEX-ohjelmistolle. KEPserverEX lisää myös kustannuksia maksullisuutensa johdosta.

Tämän osion pisteet jakautuivat tasaisesti. Jokaisessa alustassa on hyvät ja huonot puolensa. MindSphere on tiedonkeruun helppouden takia hyvä vaihtoehto. Peshmel käyttää Siemensin logiikoita. Nämä on helppo liittää Mindsphereen käyttämällä joko logiikoille tehtyä kirjastoa tai Nanobox-laitteistoa. Arvioitavaksi jää, minkä arvoista raaka PLC data on. Kiinnostava data syntyy usein vasta laitetta ohjaavasta PC-ohjelmasta, joten hyvä vaihtoehto olisi myös dataa lähettävä PC-ohjelma.

5.2 Tietokanta

Osiossa tutkittiin tiedon tallentamista alustojen tietokantaan sekä tiedon ulos saamista tietokannasta. Taulukossa 6 on esiteltynä annetut pisteet. Miinuspisteitä alustat saivat, mikäli tietoa ei saanut ulos tietokannasta.

Taulukko 6. Tietokanta-osion pisteytys

| Alusta | Pisteet |
|------------|---------|
| MindSphere | 1 |
| AWS IoT | 3 |
| ThingWorx | 2 |
| IoT-Ticket | 1 |

Mindspheressä data saadaan tallennettua alustalle Tietoa pystyttiin myös käyttämään kuvaajissa. Tietoa ei päässyt itse katselemaan ainakaan lisensillä, jota testauksessa käytettiin. AWS IoT taas sisältää erillisen S3-datapankin, jonne tieto tallennetaan. Datapankkiin tallennetulla tiedolla käyttäjä voi tehdä mitä haluaa.

Thingworx-alustalla tieto saatiin streemattua tietokantaan. Tietoa saatiin luettua alustan käyttöliitymästä tai käyttäen REST-pyyntöjä. IoT-Ticket taas pystyy analysoimaan tietoa suoraan tietokannasta, sekä lukemaan sitä kuvaajiin. Käyttäjä ei pääse itse katsomaan, mitä tietokanta sisältää.

5.3 Käytettävyys

Osiossa tutkittiin, kuinka helppoja ja selkeitä alustat ovat käyttää. Taulukossa 7 on esiteltynä annetut pisteet. Miinuspisteitä alustat saivat, jos käyttö oli hankalaa tai halutut toiminnot olivat vaikeasti saatavilla. Pluspisteitä alustat saivat selkeästä käytettävyydestä sekä käyttäjäystävällisyydestä.

Taulukko 7. Käytettävyys-osion pisteytys

| Alusta | Pisteet |
|-------------------|----------------|
| MindSphere | 2 |
| AWS IoT | 2 |
| ThingWorx | 2 |
| IoT-Ticket | 3 |

Laite saatiin näkymään AWS IoT -alustalle suhteellisen helposti sertifikaattien luonnin jälkeen. Viestien sääntöjen tekeminen onnistuu hyvin edellyttäen SQL-kielen tuntemusta. Sääntötyökalun jälkeiset toimenpiteet tuntuvat haastavilta AWS:n sisältämien lukuisten moduulien ja asetusten vuoksi.

ThingWorx-alusta tarjoaa suuret muokkausmahdollisuudet, mutta käyttöliittymä vaikuttaa monimutkaiselta. Kaikki tiedostot ovat keskenään sekaisin ja asetusten tekeminen on haastavaa. Thingworxin oppimiskynnys on selvästi korkein.

IoT-Ticket on helppo alusta käyttää. Käyttäjälle ei ole näkyvissä mitään ylimääräistä tietoa. Hälytykset ovat helposti löydettävissä punaisena vilkkuvan napin takaa. Halutut toiminnot löytyvät juuri sieltä, mistä niiden odottaakin löytyvän. IoT-Ticket on yksi listan helpoimmista alustoista käyttää.

MindSpheren käytettävyys on helppoa alkuasetusten teon jälkeen. Asiaa helpottaa kaiken ylimääräisen puuttuminen käyttöliittymästä. Data tulee itsestään oikeaan paikkaan ilman erityisten asetusten tekoa. Alkuasetuksia tehdessä Nano boxi jouduttiin konfiguroimaan uudelleen useita kertoja. Puutteellisten ohjeiden takia käyttäjä on vaarassa tehdä virheellisiä asetuksia.

5.4 Tiedon visualisointi

Osiossa arvoiteltiin kerätyn datan esitystyyliä. Pisteitä alustat saivat erilaisista esitystavoista, taulukoiden toimivuudesta sekä visualisoinnin toimivuudesta. Taulukossa 8 on esiteltyä annetut pisteet.

Taulukko 8. Visualisointi-osion pisteytys

| Alusta | Pisteet |
|-------------------|----------------|
| MindSphere | 3 |
| AWS IoT | 2 |
| ThingWorx | 2 |
| IoT-Ticket | 2 |

AWS IoT Quicksight -moduuliin on tarjolla useita erilaisia kuvaajia, jonka vuoksi alustan tarjoama tiedon visualisointi toimii hyvin. Erilaisilla kuvaajilla ja suotimilla saadaan tiedosta paljon irti. Valitettavasti tieto oli kuitenkin haasteellista saada visualisoijalle asti.

ThingWorx sisältää työkalut omien käyttöliittymien luontiin. Saatavilla on työkalut, joilla saadaan aikaan yksinkertaisia kuvaajia. Alustan mashup-työkalu on tarkoitettu enemmänkin käyttöliittymän luontiin, kuin pelkästään datan visualisointiin.

IoT-Ticket sisältää testien helpoimmat työkalut käyttöliittymän luontiin. Dataa pystyy visualisoimaan erilaisten mittareiden sekä kuvaajien avulla. IoT-Ticketissä käyttöliittymä luodaan visuaalisen skriptauksen avulla. Tämän vuoksi se soveltuu myös sellaisten henkilöiden käyttöön, joilla ei ole koodaustaitoja. Visuaalisen skriptaustryökalun miinuksena oli liian suuri koordinaatisto, joka vaikeutti komponenttien tarkkaa asettamista.

MindSphere sisältää vertailtujen alustojen heikoimmat työkalut käyttöliittymien luontiin, mutta Pasmelin tapauksessa sellaista ei ole tarkoitus edes rakentaa. Datan

visualisoinnin osalta MindSphere tarjoaa muutaman kuvaajan, joiden tarkastelu toimii hyvin. Kuvaajien näkymän lähentäminen ja loitontaminen on toteutettu hyvin. Kuvaajasta saa esiin juuri halutun tiedon.

5.5 Analytiikka

Analytiikkatyökalujen tutkiminen on niin laaja asia, että niihin syvempi perehtyminen päätettiin rajata tästä opinnäytetyöprosessista pois. Perusasiana nousi kuitenkin esiin se, että kaikissa alustoissa on mahdollisuus datan analysointiin. tämän takia jokainen alusta sai yhden pisteen. (taulukko 9).

Taulukko 9. Analytiikka-osion pisteytys

| Alusta | Analytiikka | Pisteet |
|-------------------|--------------------|----------------|
| MindSphere | X | 1 |
| AWS IoT | X | 1 |
| ThingWorx | X | 1 |
| IoT-Ticket | X | 1 |

Kaikissa alustoissa on mahdollisuus käyttää analytiikkatyökaluja.

- MindSpheressä on IBM Watson
- AWS IoT sisältää Kinesis Analytics
- ThingWorxsillä on asennettavissa oma analytiikkapalvelin
- IoT-Ticket tarjoaa analytiikkatyökalut sekä R-kielen tuen.

5.6 Tulokset

Taulukossa 10 on esiteltyä alustojen yhteenlasketut pisteet. Alustojen pistemäärät jakautuivat hyvin tasaisesti. Valituilla kriteereillä AWS IoT sai parhaan arvosanan erottuen muiden joukosta vain yhdellä pisteellä.

Taulukko 10. Alustojen lopulliset pisteet

| Alusta | Pisteet | Yhteensä |
|-------------------|----------------|-----------------|
| MindSphere | 2+1+2+3+1 | 9 |
| AWS IoT | 2+3+2+2+1 | 10 |
| ThingWorx | 2+2+2+2+1 | 9 |
| IoT-Ticket | 2+1+3+2+1 | 9 |

6 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoite oli tutkia neljän eri IoT-alustan ominaisuuksia, sekä valita niiden joukosta paras alusta Pesimal Oy:n tarpeisiin. Opinnäytetyön lähteinä toimivat kirjat, internet sekä alustojen toimittajien seminaarit.

Lopputuloksena voidaan havaita, että kaikille alustoille on käyttötarkoituksensa. AWS IoT sai parhaan arvosanan vain yhden pisteen erolla muihin alustoihin nähden. Pisteiden perusteella voidaan todeta, että kaikki alustat ovat hyviä ja kaikille löytyy oma käyttötarkoituksensa.

Opinnäytetyöprosessi sujui pääosin hyvin. Hidastavana tekijänä oli ainoastaan Siemensin Nanoboxin sekä salasanojen pitkä toimitusaika. Opinnäytetyön tekeminen opetti ja syvensi tietoa asioiden internetistä sekä tarjolla olevista alustoista. Myös käsitykset IoT:n mahdollisuuksista, sekä maailmaa muuttavasta teknologiasta vahvistuivat. Vaikka analytiikka on tärkeä osa IoT-alustaa, sen tarkempi tarkastelu jätettiin tässä työssä vähemmälle aiheen laajuuden takia.

Työn tuloksia tarkastellessa täytyy ottaa huomioon, että kaikki arvioinnit on tehty Pesimal Oy:n näkökulmasta. Vertailussa käytettiin simuloitua dataa, joten pistemäärät saattavat muuttua oikeaa dataa käytettäessä.

Tällä hetkellä markkinoilla on runsaasti erilaisia IoT-alustoja. Oikean alustan löytäminen on haastavaa ja aikaa vievää työtä. Opinnäytetyötä voidaan käyttää hyvänä pohjana henkilöille, jotka haluavat tutustua valittuihin IoT-alustoihin. Alustan valitsemiseen vaikuttaa suuresti käyttötarkoitus ja tämän opinnäytetyön avustuksella voidaan helpottaa valintaprosessia.

LÄHTEET

- Amazon Relational Database Service. Ei päiväystä. Amazon Relational Database Service. [Verkkosivu]. Amazon Web Service. [Viitattu 15.6.2017]. Saatavilla: <https://aws.amazon.com/rds/>
- Amazon Web Services Cloud Databases. Ei päiväystä. Cloud Databases with AWS. [Verkkosivu]. Amazon Web Service. [Viitattu 15.6.2017]. Saatavilla: <https://aws.amazon.com/products/databases/>
- Amazon Web Services IoT device SDK. Ei päiväystä. AWS IoT Device SDK. [Verkkosivu]. Amazon Web Service. [Viitattu 13.6.2017]. Saatavilla: <https://aws.amazon.com/iot/sdk/>
- Amazon Web Services Security. Ei päiväystä. Security and Identity for AWS IoT. [Verkkosivu]. Amazon Web Service. [Viitattu 15.6.2017]. Saatavilla: <http://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/iot-security-identity.html>
- Amazon Web Services. Ei päiväystä. Protocols. [Verkkosivu]. Amazon Web Service. [Viitattu 15.6.2017]. Saatavilla: <http://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/protocols.html>
- Aws-iot. Ei päiväystä. Aws-iot. [Verkkosivu]. Amazon Web Service. [Viitattu 14.11.2017]. Saatavilla: <https://aws.amazon.com/iot-platform/>
- Basic Authentication. Ei päiväystä. Basic Authentication. [Verkkosivu]. Neumetrix. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavilla: <https://www.httpwatch.com/httpgallery/authentication/>
- Buntz, B. 20.9.2017. The top 20 industrial IoT applications. [Verkköjulkaisu]. Internet of Things Institute. [Viitattu 6.2.2018]. Saatavilla: <http://www.ioti.com/industrial-iiot/top-20-industrial-iiot-applications>
- Cloud Foundry. 1.19.2018. Cloud Foundry Overview. [Verkköjulkaisu]. Cloud Foundry Foundation. [Viitattu 17.2.2018]. Saatavilla: <https://docs.cloudfoundry.org/concepts/overview.html#industry-standard>
- Collado, S. 24.6.2017. An overview of http. [Verkkosivu]. Mozilla Developer Network. [Viitattu 3.7.2017]. Saatavilla: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Overview>
- Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. Teollinen Internet. Helsinki: Talentum.
- Comoda CA. Ei päiväystä. What is HTTPS. [Verkkosivu]. Comoda CA. [Viitattu 3.7.2017]. Saatavilla: <https://www.instantssl.com/ssl-certificate-products/https.html>

- Edge microserver. Ei päiväystä. Features. [Verkkosivu]. Ptc. [Viitattu 11.8.2017]. Saatavilla: http://support.ptc.com/help/thingworx_hc/thingworx_edge/#page/twx_edge_sdk_s_ems_534%2Fems_wsems_topics%2Fc_ems_wsems_features.html%23
- Hivemq MQTT. Ei päiväystä. MQTT Essentials part 2. [Verkkosivu]. dc-square. [Viitattu 28.1.2018]. Saatavilla: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part2-publish-subscribe>
- Hivemq MQTT. Ei päiväystä. MQTT Essentials part 4. [Verkkosivu]. dc-square. [Viitattu 29.1.2018]. Saatavilla: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part4-mqtt-publish-subscribe-unsubscribe>
- IoT-Ticket aloituspaketti. Ei päiväystä. IoT-Ticket aloituspaketti. [Verkkosivu]. Wapice. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://iot-ticket.com/fi/aloituspaketit>
- IoT-Ticket alusta. Ei päiväystä. Esineiden Internetin Office. [Verkkosivu]. Wapice. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavilla: <https://iot-ticket.com/fi/alusta>
- IoT-Ticket api user manual. Ei päiväystä. IoT API USER MANUAL. [Verkkosivu]. Wapice. [Viitattu 30.5.2017]. Saatavilla: https://www.iot-ticket.com/images/Files/IoT-Ticket.com_IoT_API.pdf
- IoT-Ticket. Ei päiväystä. IoT-Ticket, esineiden internetin office suite. [Verkkosivu]. Wapice. [Viitattu 29.5.2017]. Saatavilla: <https://iot-ticket.com/fi/>
- Jaffey, T. 2014. MQTT and CoAP, IoT Protocols. [Verkkosivu]. Eclipse. [Viitattu 28.6.2017]. Saatavilla: https://eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php
- KEPserverEx advanced tags. Ei päiväystä. KEPserverEx advanced tags. [Verkkosivu]. Kepware. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/advanced-plug-ins/advanced-tags/>
- KEPserverEX Alarms & Events Plug-In. Ei päiväystä. Alarms & Events Plug-In. [Verkkosivu]. Ptc. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/advanced-plug-ins/alarms-events/documents/alarm-events-manual.pdf>
- KEPserverEX Application Connectivity. Ei päiväystä. Application Connectivity. [Verkkosivu]. Kepware. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/application-connectivity/>
- KEPserverEX DataLogger. Ei päiväystä. DataLogger. [Verkkosivu]. Ptc inc. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/advanced-plug-ins/datalogger/documents/datalogger-manual.pdf>

- KEPServerEX datasheet. Ei päiväystä. Driver Options for KEPServerEX. [Verkkajulkaisu]. Kepware. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/documents/options-for-kepserverex/>
- KEPserverEX IoT Gateway. Ei päiväystä. IoT Gateway. [Verkkajulkaisu]. Ptc inc. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/advanced-plug-ins/iot-gateway/documents/iot-gateway-manual.pdf>
- KEPserverEX local historian. Ei päiväystä. Local Historian. [Verkkosivu]. Kepware. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/advanced-plug-ins/local-historian/>
- KEPserverEX Security Policies Plug-In. Ei päiväystä. Security Policies Plug-In. [Verkkajulkaisu]. Ptc inc. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/advanced-plug-ins/security-policies/documents/security-policies-manual.pdf>
- KEPServerEX Version 6. Ei päiväystä. KEPServerEX Version 6. [Verkkosivu]. Kepware. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/version-6/>
- KEPserverEX. Ei päiväystä. KEPserverEX. [Verkkosivu]. Kepware. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/>
- Marr, B. 20.6.2016. What Everyone Must Know About Industry 4.0. [Verkkosivu]. Forbes. [Viitattu 10.8.2017]. Saatavilla: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#84a5507795f7>
- McClelland, C. 23.11.2016. The Internet of Things - What is a Gateway. [Verkkosivu]. IoT For All. [Viitattu 5.7.2017]. Saatavilla: <https://iot-for-all.com/what-is-a-gateway/>
- MindConnect Nano Datasheet. 2017. MindConnect Nano – Datasheet & Specific Terms. [Verkkajulkaisu]. Siemens. [Viitattu 10.8.2017]. Saatavilla: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/258/109742258/att_931514/v1/2017_10_Datasheet_MindConnectNano_en.pdf
- MindConnect Nano getting started. 8.2017. Getting started. [Verkkajulkaisu]. Siemens. [Viitattu 15.11.2017]. Saatavilla: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/499/109483499/att_928057/v1/2017_08_Manual_MindSphere_GettingStarted_en.pdf
- MindConnect Nano Quick Start. 3.2017. MindConnect Nano Quick Start. [Verkkajulkaisu]. Siemens. [Viitattu 23.8.2017]. Saatavilla:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/500/109483500/att_914836/v1/MindConnect_Nano_Quick_Start_March_2017.pdf

Mindconnect-nano. 20.10.2016. Sales and Delivery Release for MindConnect Nano. [Verkkosivu]. Siemens. [Viitattu 10.8.2017]. Saatavilla: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109485514/sales-and-delivery-release-for-mindconnect-nano?dti=0&lc=en-DE>

MindSphere – Siemens Cloud for Industry. 17.11.2015. MindSphere – Siemens Cloud for Industry. [Verkkosivu]. Siemens. [Viitattu 10.8.2017]. Saatavilla: <https://www.siemens.com/customer-magazine/en/home/industry/digitalization-in-machine-building/mindsphere-siemens-cloud-for-industry.html>

MindSphere whitepaper. Ei päiväystä. MindSphere The cloud-based, open IoT operating system for digital transformation. [Verkkosivu]. Siemens. [Viitattu 10.11.2017]. Saatavilla: https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/Siemens_MindSphere_Whitepaper_tcm27-9395.pdf

MindSphere. Ei päiväystä. MindConnect. [Verkkosivu]. Siemens. [Viitattu 23.8.2017]. Saatavilla: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/software/mindsphere.html>

National Instruments. 19.5.2017. Why OPC UA Matters. [Verkkosivu]. National Instrument. [Viitattu 28.6.2017]. Saatavilla: <http://www.ni.com/white-paper/13843/en/>

Novotek. Ei päiväystä. OPC ja OPC UA. [Verkkosivu]. Novotek. [Viitattu 28.6.2017]. Saatavilla: <https://www.novotek.com/fi/ratkaisut/kepware-kommunikointialusta/opc-ja-opc-ua>

Pesmel. Ei päiväystä. Pesmel in Brief. [Verkkosivu]. Pesmel. [Viitattu 28.6.2017]. Saatavilla: http://www.pesmel.com/pesmel_in_brief

Simatic IOT 2040. Ei päiväystä. Simatic IOT 2040. [Verkkosivu]. Siemens. [Viitattu 10.8.2017]. Saatavilla: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/815412?pdtdi=pi&lc=en-FI>

SIMATIC IOT2000. Ei päiväystä. SIMATIC IOT2000. [Verkkosivu]. Siemens. [Viitattu 10.8.2017]. Saatavilla: <http://w3.siemens.com/mcms/pc-based-automation/en/industrial-iot/Pages/Default.aspx>

Teollisesta internetistä uutta kasvua. 9.3.2017. Teollisesta internetistä uutta kasvua. [Verkkosivu]. Teknologiateollisuus. [Viitattu 6.2.2018]. Saatavilla: <http://teknologiateollisuus.fi/fi/elinkeinopolitiikka/digitalisaatio/teollisesta-internetista-uutta-kasvua>

- Thingworx analytics. Ei päiväystä. Thingworx analytics. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavilla: <https://www.thingworx.com/platforms/thingworx-analytics/>
- Thingworx connect. Ei päiväystä. Thingworx connect. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 30.6.2017]. Saatavilla: <https://developer.thingworx.com/capabilities/connect>. Vaatii ilmaisen käyttäjätunnuksen.
- Thingworx core concepts. Ei päiväystä. Thingworx core concepts. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 4.7.2017]. Saatavilla: <https://developer.thingworx.com/resources/guides/core-concepts>. Vaatii ilmaisen käyttäjätunnuksen.
- Thingworx data storage. Ei päiväystä. Data Storage Guide. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 3.7.2017]. Saatavilla: <https://developer.thingworx.com/resources/guides/data-model-storage-guide/choosing-right-data-storage-method>. Vaatii ilmaisen käyttäjätunnuksen.
- Thingworx lua. Ei päiväystä. Lua Script Details. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 4.7.2017]. Saatavilla: http://support.ptc.com/cs/help/thingworx_hc/thingworxutil_7.1_hc/index.jspx?id=Converge_LuaScript&action=show
- Thingworx marketplace. Ei päiväystä. Tools. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 20.6.2017]. Saatavilla: <https://marketplace.thingworx.com/tools>
- Thingworx REST API. Ei päiväystä. REST API Quickstart. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 4.7.2017]. Saatavilla: <https://developer.thingworx.com/resources/guides/thingworx-rest-api-quickstart/introduction-thingworx-rest-api-design>. Vaatii ilmaisen käyttäjätunnuksen.
- Thingworx SDKs. Ei päiväystä. Thingworx SDKs. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 1.6.2017]. Saatavilla: <https://developer.thingworx.com/resources/sdks>
- Thingworx security whitepaper. Ei päiväystä. Providing Secure Connected Products. [Verkojulkaisu]. Thingworx. [Viitattu 4.7.2017]. Saatavilla: https://www.thingworx.com/wp-content/uploads/2016/05/WP_thingworx_providing-secure-connected-products-whitepaper_J5194_EN.pdf
- Thingworx studio. Ei päiväystä. Thingworx studio. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 8.6.2017]. Saatavilla: <https://www.thingworx.com/platforms/thingworx-studio/>

Thingworx utilities. Ei päivystä. Thingworx utilities. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 9.6.2017]. Saatavilla: <https://www.thingworx.com/platforms/thingworx-utilities/>

Thingworx. Ei päivystä. ThingWorx IoT Technology Platform. [Verkkosivu]. Thingworx. [Viitattu 9.6.2017]. Saatavilla: <https://www.thingworx.com/platforms/>

Websocket.org. Ei päivystä. About HTML5 WebSocket. [Verkkosivu]. Kaazing. [Viitattu 3.7.2017]. Saatavilla: <https://www.websocket.org/aboutwebsocket.html>