



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Juha Haastola

Minikasvihuoneen etävalvonta ja ohjaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

13.11.2018

Tekijä Otsikko	Juha Haastola Minikasvihuoneen etävalvonta ja ohjaus
Sivumäärä Aika	39 sivua 13.11.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	tietotekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	lehtori Marko Uusitalo yliopettaja Matti Puska
<p>Insinöörityön tavoitteena oli soveltaa esineiden internetin (IoT, Internet of Things) menetelmiä suunnittelemalla ja rakentamalla minikokoinen, harrastelijakäyttöön sopiva kasvihuone. Kasvihuoneen piti olla automatisoitu ja data tallennettavissa pilvipalveluun, josta tiedot voitiin tarjota käyttäjälle etäpalveluna.</p> <p>Projektissa suunniteltiin ja toteutettiin minikasvihuone, jossa mitattiin kasvien kasvuun vaikuttavia suureita ja automatisoitiin tärkeimmät kasvulle tarpeelliset toiminnot. Työn suunnitteluvaiheessa IoT- ja pilvipalvelualustaksi valittiin IBM Cloud. Kasvihuonemittauksissa syntyvää dataa käytettiin pilotoimaan esineiden internetin mahdollisuuksia. Kasvihuoneen sensoridata käsiteltiin käyttökelpoiseen muotoon ja lähetettiin pilvipalveluun. Pilvipalvelussa data esitettiin visuaalisesti sekä tallennettiin siten, että kertyvää historiallista dataa voidaan analysoida ja hyödyntää tulevaisuudessa.</p> <p>Projektin tulos on käyttökelpoinen alku helpolle ja halvalle harrastelijalaitteelle. Laite kykenee itsenäisesti kastelemaan ja lannoittamaan mullan, tarjoamaan lisävaloa kasvun edistämiseksi sekä tuulettamaan kasvihuoneen lämpötilan säätelyn ja ilman hiilidioksidimäärän lisäämiseksi. Tämänkaltaiselle ei-kriittiselle sovellukselle esineiden internetin todellisuus on riittävän ymmärrettävä ja luotettava, ja sen tietoturvan taso on riittävä. Osien hinta jäi alle sadan euron ja pilvipalvelualustan käyttö jäi sen verran pieneksi, ettei siitä seurannut kuluja.</p>	
Avainsanat	Esineiden internet, teollinen internet, kasvihuone, IBM Cloud

Author Title	Juha Haastola Control and Remote Monitoring of a Miniature Greenhouse
Number of Pages Date	39 pages 13 November 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Professional Major	
Instructors	Marko Uusitalo, Senior Lecturer Matti Puska, Principal Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to apply the methodology of the Internet of Things (IoT, Internet of Things) by designing and building a miniature greenhouse suitable for amateur use. The greenhouse was automated and data stored in a cloud service from which the data could be provided remotely to the user.</p> <p>During the project, a mini greenhouse was designed and implemented, from which the quantities necessary for growth were measured and in which main functions were automated. IBM Cloud was selected as the IoT and cloud service platform in the design phase. The data generated by the greenhouse measurements was used to pilot the possibilities of the IoT. Greenhouse sensor data was adapted into useful format and sent to the cloud service. In the cloud service, data was visualized and saved so that accumulating historical data can be analyzed and utilized in the future.</p> <p>The Greenhouse Pilot Project became a useful start for an easy and low-cost recreational equipment. The device is able to independently irrigate and fertilize the soil, provide additional light to promote growth, and ventilate to control the temperature of the greenhouse and increase the amount of carbon dioxide. For such a non-critical application, the current IoT platform is sufficiently understandable, reliable, and the level of information security is sufficient. The cost of parts was less than 100 € and the use of cloud computing service was so small that it did not entail any costs.</p>	
Keywords	Internet of Things, Industrial Internet, Greenhouse, IBM Cloud

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esineiden internetin suosion syyt	2
2.1	Esineiden internetin käsite	2
2.2	Kehityksen ajurit	3
2.3	Kehityspolut ulkomailla ja Suomessa	4
2.4	Yhteiskunnalliset vaikutukset ja taloudelliset panostukset	6
2.5	Sensorien läpimurto	7
2.6	Pilvitalennuksen suosion kasvu	8
2.7	Datan analytiikka ja käyttö	9
2.8	Reunaverkko	10
2.9	Tietoturva	10
2.10	Kasvihuoneet ja esineiden internet	11
3	Kasvihuonekasvatuksen periaatteet	12
3.1	Kasvien kasvattamisen yleiset vaatimukset	12
3.2	Valo	12
3.3	Ilma ja lämpötila	13
3.4	Kasvualusta, ravinteet ja vesi	14
3.5	Mitä kannattaa mitata ja säätää	15
4	Prototyypin suunnittelu ja soveltuvuustutkimus	16
4.1	Laitteiston valinta ja periaatekaavio	16
4.2	Pilvialustan soveltuvuustutkimus	19
4.3	Pilvi- ja IoT-alustan valinta	20
4.4	IBM Bluemix ja IBM Watson IoT	22
5	Prototyypin rakentaminen	24
5.1	Toteutettu suunnitelma	24
5.2	Ethernet-liitäntä	26

5.3	MQTT-protokolla	26
5.4	Valmis toteutus	26
5.5	Ohjelman toiminta Arduinossa	27
5.6	Datavirta Bluemix-palvelussa	30
5.7	Ongelmia pilvialustalla	34
6	Yhteenveto	35
	Lähteet	38

Lyhenteet

CPS	Cyber Physical Systems. Kyberfyysiset järjestelmät.
EC	eksacoulombi. Sähkövarauksen yksikkö.
IaaS	Infrastructure as a Service. Infrastruktuuri palveluna.
IIC	Industrial Internet Consortium. Teollisen internetin yhteenliittymä.
IoE	Internet of Everything. Kaiken internet. Etenkin verkkoyhtiö Ciscon käyttämä termi esineiden internetistä lisättynä älykkäällä tietoverkolla.
IIoT	Industrial Internet of Things. Teollinen esineiden internet.
IoT	Internet of Things. Esineiden internet. Internet-verkon laajentuminen laitteisiin ja koneisiin, joita voidaan ohjata, mitata ja sensoroida internetverkon yli.
IoTF	Internet of Things Foundation. Pilvipohjainen IoT-palvelu.
ITU-T	International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector. Kansainvälisen televiestintäliiton televiestintäsektori.
JSON	JavaScript Object Notation. Avoimen standardin tiedostomuoto tiedonvälitykseen.
M2M	Machine-to-machine. Koneiden välinen viestintä.
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport. IoT-protokolla.
PaaS	Platform as a Service. Alusta palveluna.
ppm	Parts per million. Miljoonasosa.

WASP Wallenberg Autonomous Systems Program. Wallenbergin autonomiset järjestelmät -ohjelma.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoitus on pilotoida esineiden internetin menetelmiä ja tekniikoita käyttäen käytännön esimerkkinä minikasvihuonetta. Minikasvihuoneen kasvuympäristöä mitataan ja ohjataan automaattisesti paikallisesti, ja mittausarvoja tarkkaillaan internetin kautta. Kasvihuone on tarkoitettu koti- ja harrastuskäyttöön sisätiloissa tai suojatussa tilassa kuten parvekkeella, ja sen automatiikka pyrkii pitämään kasvuolosuhteet ihanteellisina.

Työn painopiste on mittausarvojen lähettäminen internetin yli valittuun pilvipalveluun, jolloin käyttäjä voi käydä milloin tahansa etänä tarkistamassa nykyiset arvot ja mittaushistorian.

Minikasvihuoneessa mitataan ainakin tärkeimpiä kasvien hyvinvointiin vaikuttavia suureita: lämpötilaa, ilman kosteutta, maan kosteutta ja valon määrää. Kaikkia arvoja, esimerkiksi hiilidioksidin määrää ja pH-arvoa ei tarvitse mitata jatkuvasti. Mittausten perusteella tärkeimpiä arvoja säädetään automaattisesti käyttäjän asettamien ihannearvojen mukaisesti. Hälytys seuraa, jos jokin arvo selkeästi poikkeaa asetetusta ihannearvosta.

Käyttäjän kannalta järjestelmän tulee olla mahdollisimman yksinkertainen ja ymmärrettävä. Se tarjoaa käyttäjälle selkeän tiedon, milloin hänen täytyy puuttua kasvihuoneen olosuhteisiin, ja millä tavoin.

Työ tehdään yksilötyönä ilman ulkopuolista toimeksiantajaa tai tilaajaa. Kipinä työn aiheeseen syntyi kolmipäiväisessä Hackathon-innovaatiotapahtumassa. Hackathon oli osa Cison Kaiken internet (IoE) -kurssia.

Työn tietoperustaosassa hyödynnetään sekä esineiden internetin että kasvinkasvatusalan kirjallisuutta ja artikkeleita. Kasvien vaatimukset ja ihanneolosuhteet esitetään lyhyesti, ja esineiden internetin soveltamista aiheeseen tarkemmin ja laajemmin, koska se on työn painopiste.

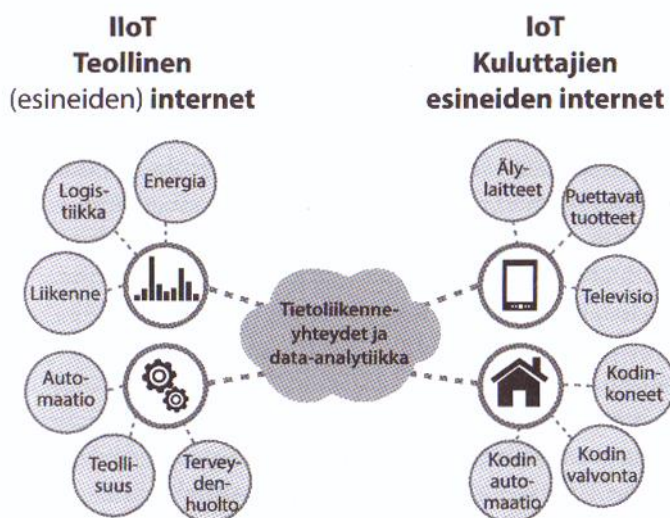
Prototyypin suunnittelussa ja toteutuksessa käytetään yleisesti saatavilla olevia laitteistoja, kuten Raspberry Pi- ja Arduino-alustoja, joihin on saatavilla runsaasti edullisia sensoreita, sekä niille julkisessa jaossa olevia ohjeita ja esimerkkiohjelmistoja.

2 Esineiden internetin suosion syyt

2.1 Esineiden internetin käsite

Esineiden internet lyhyesti määriteltynä tarkoittaa esineitä tai asioita, jotka on liitetty maailmanlaajuiseen verkkoon, internetiin. Jokaisella esineellä on yksilöllinen tunniste, usein IP-osoite. Esineet välittävät jatkuvaa, usein reaaliaikaista dataa verkon kautta tallennus- ja analysointijärjestelmään, tyypillisesti pilvipalveluun. (Collin ja Saarelainen, 2016:30–31.)

Esineiden internet (Internet of Things, IoT) on osa uutta digitalisaation muutosaaltoa, jossa verkkoon kytketyt tuotteet ja palvelut mahdollistavat tuotteiden ja palveluiden sekä niiden kautta saatavan tiedon hyödyntämisen älykkäällä tavalla. Suomessa esineiden internetiä käytetympiä termejä lähes samalle asialle on yleisesti digitalisaatio tai tarkemmin teollinen internet (Industrial Internet, myös Industrial Internet of Things). Teollinen internet -termiä käyttivät Aalto-yliopisto, VTT ja Elinkeinoelämän tutkimuskeskus 2015 julkaistussa tutkimuksessaan, jossa painotetaan ilmiön vaikutuksia liiketoimintaan, eli kuinka sekä yritysten sisäiset liiketoimintaprosessit, että myytävät tuotteet ja palvelut kytketään verkkoon. Tämän julkaisun mukaan esineiden ja asioiden internet — englanniksi Internet of Things — on puolestaan kuluttajien näkökulma vastaavaan aiheeseen. (Ailisto ym. 2015: 8, 10.)



Kuva 1. Teollisen esineiden internetin ja kuluttajien esineiden internetin maailmojen yhdistyminen tietoverkkojen ja analytiikan kautta. (Collin ja Saarelainen, 2016: 31.)

Esineiden internet on osa laajempaa digitalisaatiokehitystä, joka on asteittain vaikuttanut jo 1950-luvulta alkaen. Nyt uusimman kehitysaallon ytimessä ovat yhä älykkäämmät, verkkoon kytketyt tuotteet ja palvelut, jotka tuottavat ajantasaista tietoa niiden tilasta ja ominaisuuksista asiakkaan käytönaikaisessa ympäristössä. Tämä edellyttää, että kaikilla tuotanto- ja palveluprosessiin liittyvillä asioilla ja esineillä on digitaalinen tunniste, joka välittää dataa toimitus- ja arvoketjujen eri toimijoille. Jatkuva yhteys internetiin mahdollistaa ennustettavan toiminnan. (Ailisto ym. 2015: 10.)

2.2 Kehityksen ajurit

Tätä kirjoitettaessa esineiden internet on tutkimusyhtiö Gartnerin kuuluisalla hypekäyrällä jo hieman liikkumassa pois ylimmältä aallonharjalta, jossa se oli vuosina 2014 ja 2015, ja on lähestymässä "harhakuvien menetys" -vaihetta. Tutkimuslaitos on itsekin mm. alentanut vuoden 2014 ennustettaan siitä, kuinka monta laitetta vuonna 2020 on kytketty verkkoon. Uusi ennuste on 20 miljardia entisen 25 miljardin sijaan (Gartner Says 6.4 Billion Connected 'Things' Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015. 2015). Eri lähteitä tutkiessa pyrinkin ottamaan huomioon, että jotkut arviot ilmiön etenemisestä saattavat olla hyvinkin yliampuvia.

IoT on juuri nyt kuuma aihe, koska monta sen mahdollistavaa tekijää on syntynyt tai paremminkin kehittynyt samanaikaisesti. Sekä anturit että verkko- ja analysointitekniologiat ovat olleet voimakkaassa nosteessa koko vuosikymmenen alun. Internetistä on tullut palvelu, joka on saatavilla kaikille ja kaikkialla. Tietotekniikka on kaikille sekä työväline että osa elämää. Anturit ovat halventuneet ja tunkeutuneet kaikkialle ihmisten elämässä, mihin suuri osasy on älypuhelimien räjähdysmäinen yleistyminen. Myös datan tallennuksen hinnan romahdus on tuonut käsitteen big data, ja sen myötä uudenlaisen analytiikkatarpeen – tutkimusyhtiö IDC ennustaa, että vuonna 2020 koko maailmassa on 44 000 miljardia gigatavua dataa, joista yli kolmannes on analytiikan kannalta käyttökelpoista. (Collin ja Saarelainen, 2016: 43–45.)

2.3 Kehityspolut ulkomailla ja Suomessa

Esineiden internetin johtava maa on Yhdysvallat, joka on maailman suurin talous. Siellä sijaitsevat useimmat siihen liittyvät suuryritykset. Amerikkalaisten johtoasema on seurausta ohjelmisto-osaamisen ylivoimasta, vaikka valmistava teollisuus siellä ei olekaan vielä yleisesti omaksunut teollisen internetin uutta suuntaa. (Collin ja Saarelainen, 2016: 23.)

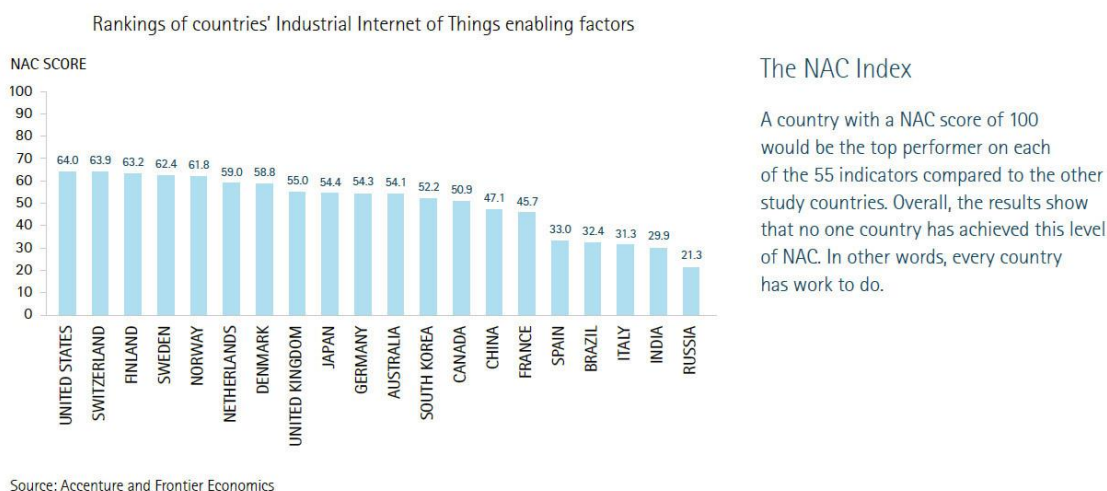
Euroopan teollisuuden johtotähti Saksa on aloittanut Industrie 4.0 -ohjelman, jolla se aikoo parantaa teollisuuden tuottavuutta 30 prosenttia seuraavan kymmenen vuoden kuluessa. Saksa on merkittävä teollisuuden tuotantovälineiden valmistaja, ja siellä on myös useita keskeisiä teollisen esineiden internetin yrityksiä. (What is Industrie 4.0? 2016.)

Ruotsissa on lähdetty omaperäisellä tavalla liikkeelle yksityisen rahoituksen turvin WASP-ohjelmalla, (Wallenberg Autonomous Systems Program). Osallisina ovat merkittävimmät yliopistot ja teollisuusyritykset, ja keskiössä ovat autonomiset järjestelmät, ohjelmistot ja järjestelmien järjestelmät. (Wallenberg ASP. 2016.)

Kiinassa otettiin esineiden internet strategiseksi tavoitteeksi viisivuotissuunnitelmaan jo vuonna 2011. Patenttiperheiden lukumäärällä Kiina johtaa jo IoT-tuotekehitystä (IoT Report: How Greater China Is Set To Lead The Global Industrial IoT. 2018). Tutkimusyhtiö IDC:n mukaan IoT-indeksillä puolestaan Etelä-Korea olisi toisena Yhdysvaltojen jälkeen

(IDC Launches Updated G20 Internet of Things Development Opportunity Index Ranking - prUS41888616. 2016).

Accenturen ja Frontier Economicsin mukaan Suomi on kolmannella tilalla teollisen esineiden internetin mahdollistavien tekijöiden listalla, ks. kuva 2. (Winning with the Industrial Internet of Things. 2016.)



Kuva 2. Suomi sijoittuu kärkipäähän teollisen esineiden internetin mahdollistavien tekijöiden listalla

Suomessa Sipilän hallitus nimesi teollisen internetin yhdeksi kärkihankkeeksi. Se on tuomassa mukanaan mittavia muutoksia julkisen talouden ja yritysten tuottavuuteen, johtamisen eri käytäntöihin, liiketoimintamalleihin sekä yleiseen kilpailuun uusista markkinoista ja asiakkuuksista. Aalto-yliopisto, VTT ja Elinkeinoelämän tutkimuskeskus arvioivat tutkimuksessaan sen työllisyysvaikutusten olevan jopa 48 000 työpaikkaa vuoteen 2023. Käytännössä tämä tarkoittaa samanaikaista sekä työpaikkojen katoamista että uusien syntymistä. (Ailisto ym. 2015: 8.)

Teollisen internetin kattojärjestöksi on muodostumassa General Electric -yhtiön aloitteesta perustettu Industrial Internet Consortium (IIC), jota johtavat yhdysvaltalaiset yritykset.

Suomessa etujärjestö Teknologiateollisuus auttoi muodostamaan yritysjäsentensä yhteenliittymän Suomen teollisen internetin foorumin (engl. Finnish Industrial Internet Forum, FIIF) (Collin ja Saarelainen, 2016: 25). Nokia aloitti vuonna 2016 IoT-investointirahaston, jonka on määrä sijoittaa 350 miljoonaa dollaria lupaaviin alan yrityksiin (Nokia Growth Partners raises USD 350 million investment fund for investments in Internet of Things - Nokia Growth Partners. 2016). Tekesillä on myös meneillään 100 miljoonan euron teollisen internetin kasvuohjelma (Teollinen internet | Tekes. 2016).

Markkinatutkimusyhtiö MarketsandMarkets arvioi, että maailman merkittävimmät IIoT-yhtiöt ovat General Electric (USA), Cisco Inc. (USA), Intel Corporation (USA), Rockwell Automation (USA), ARM Holdings plc. (Yhdistyneet Kuningaskunnat), ABB Ltd. (Sveitsi), Siemens AG (Saksa), Honeywell International, Inc. (USA), Dassault Systèmes SA (Ranska), Huawei Technology Co., Ltd. (Kiina), Zebra Technologies (USA), IBM Corporation (USA) ja Robert Bosch GmbH (Saksa). (Industrial IoT Market worth 151.01 Billion USD by 2020. 2016).

Startup-yrityksiä on syntynyt esineiden internetin ympärille suuret määrät nopeasti. Suomessa niitä ovat esimerkiksi langattoman verkkoratkaisun luonut Wirepas, langattoman mittausjärjestelmän luonut TreLab, analytiikka- ja ohjelmistoyhtiö Quva sekä tietoturvalisen verkkoratkaisun luonut Tosibox.

2.4 Yhteiskunnalliset vaikutukset ja taloudelliset panostukset

Kansainvälisen televiestintäliiton televiestintäsektorin (ITU-T) mukaan esineiden internetillä on kauaskantoisia sekä teknologisia että yhteiskunnallisia vaikutuksia. Standardointia koordinoivana järjestönä ITU-T näkee esineiden internetin informaatioyhteiskunnan globaalina infrastruktuurina, ja se mahdollistaa fyysisten ja virtuaalisten yhdistämisen tehden näin mahdolliseksi uudet, edistykselliset palvelut. (International Telecommunication Union. Y.2060. 2012.)

Strategia- ja konsultointipalveluja tarjoava yhtiö Accenture ennustaa, että teollisen esineiden internetin (IIoT) maailmanlaajuiset investoinnit kasvavat vuoden 2012 kahdestakymmenestä miljardista dollarista 500 miljardiin dollariin vuoteen 2020 mennessä, ja

jopa 15 biljoonaan dollariin vuonna 2030. ("Accenture-Driving-Unconventional-Growth-through-IIoT.pdf" s. 4. 2016.)

Jos esineiden internetin termistö on vielä vakiintumatta, samoin on vakiintumatta myös se, mihin teolliseen vallankumoukseen tai aaltoon käsite sijoitetaan. Industrie 4.0 -nimitystä käyttävät saksalaiset näkevät teollisen internetin neljäntenä teollisena vallankumouksena. Ensimmäinen teollinen vallankumous oli vesi- ja höyryvoiman käyttö mekaanisissa tuotantolaitoksissa, toinen oli sähköllä toimiva massatuotanto, ja kolmas oli elektroniikan ja tietotekniikan tuoma automatiikan lisäys. Neljäs vallankumous tarkoittaa kyberfysisten järjestelmien (Cyber Physical Systems, CPS) käyttöönottoa tuotannossa. Ilmiön perustana on verkkoon kytketyt älykkäät tuotteet ja palvelut, sekä syntyvät datan hyödyntäminen yli organisaatio-, yritys- ja toimialarajojen. Amerikkalaisten tulkinta näkee ilmiön kolmantena vallankumouksena tai kolmantena aaltona. Venäläisen Kondratjeffin aaltoteorian mukaan käsillä on kuudes aalto.

2.5 Sensorien läpimurto

Sensorien (anturien) hinnan romahdus, pienempi virrankulutus, pienempi koko ja parempi suorituskyky on saanut aikaan positiivisen kierteen. Sensoreita sijoitetaan puheliimiin, autoihin, lentokoneisiin, teollisuusvälineisiin ja koteihin jopa varmuuden vuoksi tulevaisuuden tarpeisiin.

Sensoreita on käytetty teollisuusautomaatiossa jo vuosikymmeniä, joten onkin syytä määritellä tarkemmin, mitä uutta varsinkin teollisuuden esineiden internetissä oikeastaan on. Teollisuusautomaatio siis tarkoittaa sitä, että esimerkiksi teollisuuden tuotantovälineissä käytetään erilaisia antureita, joista data johdetaan etävalvomoihin, ja prosessia säädetään automaattisesti datan perusteella. Suurin ero näyttää olevan se, että uudessa teollisen internetin mallissa laitteet on sensoroitu internetin tekniikoilla ja protokollilla, ja se, että syntyvää dataa voidaan hyödyntää monella muullakin tavalla kuin kertakäyttöisesti valvomossa. Datan avulla voidaan mm. seurata huollon tarvetta ja optimoida tuotannon seisonta-ajat.

Langattomien tiedonsiirtoverkkojen käyttö on myös tunnusomaista uudelle esineiden internetin vallankumoukselle. Toisaalta verkkojen luotettavuus ja standardointi on parantunut riittävästi, ja toisaalta virrankulutus ja paristot ovat kehittyneet niin, että langattomat sensorit ovat tulleet käyttökelpoisiksi.

2.6 Pilvitalennuksen suosion kasvu

Keskusteltaessa esineiden internetistä yksi keskeinen piirre on sensoridatan tallennus pilveen itse hallitun palvelimen tai konesalin asemasta. Pilvipalveluissa etuna on tallennuksen kohtuullinen hinta ja etenkin skaalautuvuus vaikkapa miljoonien laitteiden datalle. Pilvipalveluissa on lisäksi saatavana analytiikkaa, jonka avulla dataa jalostetaan käyttökelpoisempaan muotoon, sekä visualisointityökaluja, joiden avulla on helpompi hahmottaa datan merkitys.

Kaupallisissa pilvipalveluissa myös luotettavuuteen ja korkeaan käytettävyyteen on panostettu järkevämmän kuin keskimäärin yritysten omissa tallennusratkaisuissa. Tämän vuoksi tietoliikenneyhteys voi osoittautua suurimmaksi heikkoudeksi luotettavuuden suhteen.

Syyt, minkä vuoksi voidaan turvautua omaan tallennusratkaisuun pilven sijasta, ovat korkeat vaatimukset siirron viiveille (latenssille), sekä tietoturva. Tietoturva voidaan nähdä tavanomaisessa pilvipalvelussa liian heikoksi, jos datalla on esimerkiksi yritykselle kriittisen suuri arvo, eikä se voi missään nimessä joutua väärin käsiin. Vaikka tietoturva on ehkä suurin uhka esineiden internetin menestykselle, pilvipalvelun tietoturvan taso verrattuna muihin järjestelmän laitteisiin on silti varsin hyvä.

Verkkoon kytkettyjen laitteiden lisääntyessä pullonkaulaksi voi muodostua IoT-laitteiden verkkoyhteykskapasiteetti, sekä pilven tallennus- ja tietojenkäsittelykapasiteetti. Tämän vuoksi on dataa alettu käsitellä ja suodattaa yhä suuremmissa määrin jo ennen pilveen lähettämistä. Tässä hajautetummassa mallissa datan käsittelyä ja analysointia ennen pilveä kutsutaan reunaverkoksi, ks. kappale 2.8 Reunaverkko.

Tiukan rakenteiset SQL-tietokannat, kuten MySQL, Oracle ja Microsoft SQL ovat hallinneet keskitettyjen tietokantojen markkinoita. Pilvitallennuksen ja massadatan takia niiden paras puoli on joissain tapauksissa muuttunut pullonkaulaksi, ja niiden ominaisuuksien (mm. hitaus) vuoksi kehitys on kulkenut NoSQL-kantojen suuntaan, kuten MongoDB tai Apache Cassandra. Täysin rakenteettomia NoSQL-tietokannat eivät ole, vaan paremmin puolirakenteellisia, sillä niiden rakennetta ei tarvitse määritellä etukäteen.

2.7 Datan analytiikka ja käyttö

Analytiikkaa voi käyttää hypoteesien testaamiseen. Vaarana on edelleen kompastua klassiseen syys-seuraussuhdevirheeseen, josta usein mainitaan esimerkkinä jäätelönsyönnin ja hukkomiskuolemien korrelaatio. Asiantuntemus on edelleen tärkein tekijä, kun etsitään eri asioiden vaikutussuhteita. ”Laite paranee vanhetessaan”, toteaa Juha Pankakoski, Konecranesin Chief Digital Officer. Datan kertyessä siitä myös saadaan enemmän irti. Asiantuntemuksen ja laitteista kertyneen datan analytiikan avulla voidaan tunnistaa erilaisia rikkoutumiseen johtaneita tapahtumaketjuja ja parantaa huollon tehokkuutta. Anturoinnilla ja visualisoinnilla myös Konecranesin asiakas oppii ymmärtämään paremmin materiaalivirtoja. (Collin ja Saarelainen, 2016: 207.)

Koneoppiminen on tärkeä menetelmä suuren datamäärän louhinnassa ja tiedon hyödyntämisessä. Koneoppiminen on tietojenkäsittelytieteen ja tekoälytieteen osa-alue, ja se tarkoittaa sitä, että koneet oppivat ympäristöstään ja pystyvät tekemään itsenäisesti parempia ratkaisuja kuin pelkästään etukäteen ohjelmoidun algoritmin perusteella. Koneoppimista on kolmenlaista. Ohjatussa oppimisessa tavoite on ennalta tiedetty, ja datan avulla parannetaan ennustemallia esimerkiksi paremmin havaitsemaan lähestyvä vikaantumisen. Vahvistusoppiminen perustuu vuorovaikutukseen, ja sitä käytetään tyypillisesti robotiikassa. Algoritmi saa eritasoisia positiivista ja negatiivista palautetta, ja rakentaa vähitellen politiikan, joka ohjaa toimintaa. Kolmas ja vaikein tapa on ohjaamaton oppiminen. Ajatuksena on, että algoritmi etsii suuresta määrästä dataa siinä piileviä rakenteita ilman mitään ennakkotietoa datasta. Menetelmää käytetään tunnistamaan datasta samankaltaisuuksia, ja esimerkiksi tämän avulla tunnistaa varhaisia vikaantumisen oireita. (Collin ja Saarelainen, 2016: 210-2011.)

Datan käsittelyn kannalta data voidaan jakaa joko liikkuvaan tai levossa olevaan dataan. Levossa olevaa staattista dataa, mahdollisesti pitkän ajan kuluessa kerättyä, pyritään hyödyntämään päätöksenteossa yrityksen eri toiminnoissa. Levossa olevasta datasta saadaan analysoitua pitkiä aikasarjoja, tai haluttaessa hetkellinen tilannekuva (Collin ja Saarelainen, 2016: 209-211). Useasti tarve on analysoida lähes reaaliaikaista dataa, ja tällöin tehokkain tapa on reunaverkon lähilaskenta, eli edge computing, josta kerrotaan luvussa 2.8 Reunaverkko.

2.8 Reunaverkko

Monessa tapauksessa keskitetty arkkitehtuuri, jossa kaikki data kerätään ja käsitellään pilvipalveluun, on riittävä malli. Aina dataa ei kannata käsitellä massadatan avulla. Seuraava, kehittyneempi malli voisi olla kuitenkin sellainen, jossa dataa tuottavat ja käyttävät laitteet (koneet, sensorit) voisivat olla keskenään älykkäästi yhteydessä ilman keskitetyn järjestelmän apua (Collin ja Saarelainen, 2016: 201). Englanninkielinen termi edge computing, suomeksi hajautettu laskenta tai lähilaskenta, on viime aikojen suuntaus, jossa analytiikan käsittelyä on siirretty lähemmäs datan syntyä paikkaa. Tätä hajautettua laskentaa pyritään tekemään ns. gateway-laitteissa, tai jopa sensorilaitteiden pienemmällä prosessointiteholla. Massadatan avulla voimme saada lisää tietoa, jonka avulla analytiikka viedään laitetasolle. Laitetasolla saadaan siten varsinaiset älykkäät ja verkottuneet laitteet, jotka toimivat itsenäisesti, kuten itseajavat autot tai autonomiset tuotantolinjat.

Lähilaskennalla saadaan datan käsittelyn ja tiedonsiirron viiveet pienemmiksi, kun dataa käsitellään mahdollisimman lähellä sen syntyä paikkaa sekä hyödyntämispaikkaa. Lisäksi säästetään resursseja tiedonsiirrossa ja keskitetyssä datan käsittelyssä. Tämä ei kuitenkaan estä tarvittaessa pitkäaikaisen keskitetyn datan keräämistä ja analysointia. (Collin ja Saarelainen, 2016: 202.)

2.9 Tietoturva

Teollisuusautomaatiossa, jonka jatke teollinen esineiden internet on, tietoturvan ajateltu lähtökohta on ollut eristäytyminen. Esimerkiksi tuotantolaitosten valvonta ja automatiikka

ovat olleet tiloissa, joihin on fyysisestikin rajoitettu pääsy, eikä tietoverkkoja ole kytketty internetiin. Jos kuitenkin verkkoon on kytkeydytty, on ajateltu, että palomuuuri tai muu turvajärjestelmä antaa suojan. On ajateltu, että teollisuuden omaperäiset järjestelmät ovat tunkeutujille liian vieraita, tai että oma laitos ei ole tarpeeksi mielenkiintoinen tunkeutumisen kohde. Mikään näistä ei kuitenkaan suojaa hyökkääjiltä, kuten osoittaa vaikkapa 2014 sattunut tapaus Saksassa, jossa terästehtaan tuotantoverkkoon tunkeuduttiin kohdennetulla sähköpostilla (Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2014. 2014: 31).

IoT-kuluttajatuotteiden tietoturvan puutteesta suurinta huomiota ovat saaneet valvontakameroihin kohdistuneet tunkeutumiset. Esimerkiksi argentiinalaisen tietoturvatutkijan Ezequiel Fernandezin mukaan kokonaisuin valvontakamerajärjestelmiin voi päästä käsiiksi tiettyjen tallennuslaitteiden haavoittuvuuden avulla. Järjestelmänvalvojan tunnukset sai selville verkon kautta evästeen otsikon avulla (Cimpanu. 2018). Omaksi turvaksi hankittu laite voi näin osoittautua turvallisuushaksi.

Ihmisten luottamus IoT-ratkaisujen tietoturvaan on ehkä IoT:n suurin haaste. Googlen, Facebookin ja vastaavien toimijoiden harjoittama ihmisten profilointi ja seuranta – sekä konkreettinen että verkossa tapahtuva – epäilyttää yhä suurempaa joukkoa ihmisiä. Kotiautomaattoratkaisuissa joudummekin luottamaan johonkin tuntemattomampaan palveluntarjoajaan, että se on hoitanut tiedon suojauksensa hyvin, eikä käytä meistä hankkimiaan tietoja moraalittomasti.

2.10 Kasvihuoneet ja esineiden internet

Tuotannollisessa kasvihuoneviljelyssä automatiikka on ollut todellisuutta jo jonkin aikaa, mutta varsinainen esineiden internetin hyödyntäminen on vielä tulossa vääjäämättä – langattomat sensoriverkot, reaaliaikainen ohjaus ja kertyvän datan hyödyntäminen tulee lisäämään tuottavuutta ja energiatehokkuutta entisestään. (Liu ym. 2015: 487.)

Pienessä mittakaavassa, kuten harrastajakasvihuoneissa edullinen automatiikka ja etäseuranta tuovat kaiken muun lisäksi joustavuutta harrastukseen. Ilman automatiikkaa kasvihuone vaatii jatkuvaa tarkkailua ja huolenpitoa, ja helposti koko sadon voi menettää

alle viikon poissaolon vuoksi. Kotiautomaatiossa kasvienhoidon automatisointi voisikin olla ensimmäisiä todella käyttökelpoisia esineiden internetin sovelluksia.

3 Kasvihuonekasvatuksen periaatteet

Tässä opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan harrastelijakäyttöön tarkoitettuun kasvihuoneautomaatioon, ja jätetään vähälle huomiolle kaupallisen tuotannon erityisvaatimukset, kuten esimerkiksi taudit, sienet ja tuholaiset. Esineiden internet -ajatuksessa myös sensorien langattomuus on tärkeä seikka, joka ei ole minikasvihuoneen tapauksessa aina välttämätöntä luotettavuuden parantamiseksi ja hinnan pysymiseksi kohtuudessa.

On kuitenkin syytä selvittää, mitkä seikat ovat kaikista kriittisimmät kasvien näkökulmasta.

3.1 Kasvien kasvattamisen yleiset vaatimukset

Kasvuun vaikuttavat tekijät voidaan erotella viiteen yhtä ratkaisevaan osaan, joita ovat ilma, valo, kasvualusta, vesi ja ravinteet. Nämä kasvutekijät pyritään säätämään niin, että kasvi kaikissa kasvunsa vaiheissa pystyisi yhteyttämään mahdollisimman tehokkaasti. (Alm & Palmstierna. 1995: 59-60.)

3.2 Valo

Kasvien fotosynteesi eli valoenergialla tapahtuva yhteyttäminen sitoo auringon valoenergiaa kemialliseksi energiaksi. Toisin sanoen hiilidioksidi ja vesi muuttuvat valoenergian avulla hapeksi, tärkkelykseksi ja sokereiksi.

Sisätiloissa olevalle kasvihuoneelle keinovalon koostumus on erityisen tärkeää. Tavallinen valaistukseen käytettävä LED-valo ei sisällä oikeita aallonpituuksia. Yhteyttämiselle

välttämätöntä 400 – 700 nm:n aallonpituusalueetta kutsutaan fotosynteesiksi aktiiviseksi säteilyksi. Erityisesti sinisen (425 – 475 nm) ja punaisen (625 – 675 nm) valon aallonpituudet ovat kasveille tärkeitä kasvun kannalta. Sinisen valon on todettu tekevän kasveista tiiviitä ja kompakteja, kun taas punainen valo saa kasvin varren kasvamaan pituutta. Punaisen valon pieni määrä suhteessa kaukopunaiseen (700 – 800 nm) valoon saa kasvit hakeutumaan valoa kohti. Vihreän valon merkitys kasveille on pienempi, mutta toisaalta se heijastuu ylemmistä lehdistä ja osittain läpäisee niitä, ja pystyy tunkeutumaan usean heijastuksen kautta syvemmälle kasvustossa, jolloin kasvin alemmatkin lehdet saavat tarvitsemaansa valoa. (Anderson. 2010: 9.)

Kasvit saavat tietonsa vuorokausirytmistä ja vuodenaikarytmistä valon ja pimeyden keston perusteella. Näin kasvit voivat esimerkiksi laskea lehtensä yöllä, kun valoenergiaa ei ole tarjolla eikä ylimääräistä lämpöä tarvitse haihduttaa lehtien kautta. Muuttuva päivän pituus puolestaan vaikuttaa kasvien eri kehitysvaiheisiin. Esimerkiksi joulutähti vaatii kukkiakseen vähintään viidenkymmenen päivän jakson, jolloin päivän pituus on alle 12 tuntia. Kasvihuonevalaistusta suunniteltaessa tuleekin ottaa huomioon viljeltävän lajikkeen tarpeet valotuksen suhteen. (Anderson. 2010: 12.)

3.3 Ilma ja lämpötila

Ilman normaali hiilidioksidipitoisuus on 340 ppm (miljoonasosaa). Fotosynteesin käynnistyessä auringon noustessa kasvihuoneen ilman hiilidioksidi kuluu nopeasti, jolloin kasvu hidastuu. Ilman toimenpiteitä hiilidioksidipitoisuus laskee jopa alle 100 ppm, jolloin kasvu lakkaa. Niinpä kasvihuoneen hiilidioksidimäärää pitää nostaa tuulettamalla, tai vaihtoehtoisesti ammattimaisessa kasvatuksessa kaasupulloista saatavalla lisähiilidioksidilla. Optimaalinen taso vaihtelee kasvien välillä, mutta taso 600 - 1000 ppm voi olla suuntaa-antava. Keinovalaistuksen yhteydessä hiilidioksidin lisääminen on erityisen tärkeää. (Lisää satoa hiilidioksidin avulla. 2014.)

Tiede-lehti siteeraa alun perin Nature Communications -lehdessä julkaistua tutkimusta, jonka mukaan ilmastotutkijoiden mittausten mukaan ilmakehässä on vähemmän hiilidioksidia kuin ilmastomallien mukaan pitäisi. Hiilidioksidipäästöjen kasvu on tällä vuositu-

hannella kiihtynyt, ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut, mutta ei siten kuin päätöt edellyttäisivät. Epäsuhdan voi selittää maapallon kasvillisuus, ja näyttääkin siltä, että kasvit ovat sitoneet hiiltä paljon enemmän kuin aikaisempina aikoina. Ilman kohonnut hiilidioksidimäärä on edistänyt kasvien kasvua ja ne ovat yhteyttäneet ja kasvaneet aiempaa paremmin. Näin ollen ne ovat myös sitoneet ilmakehän hiilidioksidia tehokkaammin. Vielä 1950-luvulla maanpäällinen kasvillisuus imi hiilidioksidia yhdestä kahteen miljoonaa megatonnia vuodessa. 2000-luvulla kasvillisuus on imenyt hiiltä tuplasti eli kahdesta neljään miljoonaa megatonnia. Vertailun vuoksi ihmisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat olleet 9–10 miljoonan megatonnin luokkaa vuosittain. (Maapallon kasvit imenevät hiilidioksidia 2000-luvulla jopa kaksi kertaa entistä enemmän. 2018.)

Tomaatti- ja kurkkusatoa voidaan kasvattaa jopa 50 % lisäämällä hiilidioksidia. 30 %:n tuotannon kasvu on tavallista salaatile. Suuremman sadon lisäksi hiilidioksidin lisääminen johtaa parempaan kasvien vastustuskykyyn ja nopeampaan kasvuun. (Lisää satoa hiilidioksidin avulla. 2014.)

3.4 Kasvualusta, ravinteet ja vesi

Kasvien kasvualustana voivat olla monentyypiset ainekset. Myytävänä on erilaisia multaseoksia, jotka ovat kotikasvatuksessa suosituimpia. Vaihtoehtoina on erilaisia turvesekoituksia, tai vaikkapa kookoskuitu. Vesiviljelyyn on saatavilla vaikkapa kivivillaa, perliittiä, vermikuliittia ja hydrosoraa (Kasvualustat. 2015.). Koska tässä projektissa tavoitteena on hallita kasvualustan kosteutta, tavallinen kasvumulta valikoituu helpoimmaksi valinnaksi. Mullan kosteudenmittaus onnistuu helposti ja edullisesti sähkönjohtavuuteen perustuvalla anturilla.

Kasvit käyttävät mullan sisältämät ravinteet, joten ravinteita täytyy lisätä. Helpon automaatiota ajatellen lisääminen käy sekoittamalla ravinteet kasteluveteen. Kaupalliset lannoitteet lupaavat tarjota kaikki aineet samassa lannoitteessa. Esimerkkinä seuraavassa luettelossa pääaineet Biolan-kastelulannoitteessa:

Taulukko 1. Kastelulannoitteen tuoteseloste. (Kastelulannoite. Biolan.)

Ravinnepitoisuudet	(% kok. paino):
Kokonaistyyppi (N)	15 %
Nitraattityppi (NO ₃ -N)	8,6 %
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N)	2,4 %
Ureatyyppi (NH ₂ -N)	4,1 %
Veteen ja neutraaliin ammoniumsitraattiin liukoinen fosfori (P)	2,2 %
Vesiliukoiset:	
Kalium (K)	25 %
Rikki (S)	3,9 %
Magnesium (Mg)	1,7 %
Rauta (Fe)	0,1 %
Mangaani (Mn)	0,05 %
Boori (B)	0,03 %
Sinkki (Zn)	0,03 %
Kupari (Cu)	0,01 %
Molybdeeni (Mo)	0,003 %

Tällä lannoitteella voi sisäoloissa lannoittaa vuoden ympäri. Ulkona käytettäessä kasveja autetaan talveen valmistautumisessa lopettamalla lannoitus jo heinäkuun lopussa.

Kasvualustan happamuus eli pH-arvo on tärkeä erityisesti keinotekoisissa kasvuoloissa. Lähes kaikki kasvit nauttivat hiukan happamista pH-arvoista välillä 5,2–6,5. Luontaisia maaperiä käytettäessä taas ihanteelliset pH-arvot ovat lähellä neutraalia 6,2–7,0. (pH- ja EC-arvon seuranta. 2015.)

3.5 Mitä kannattaa mitata ja säätää

Tutkimalla kaupallisia kasvihuoneita, sekä anturien saatavuutta ja hintoja, päädyin siihen, että minikasvihuoneessa kannattaa mitata ainakin lämpötilaa, ilmankosteutta, valon määrää sekä maankosteutta.

Ilman hiilidioksidimäärällä on kasvien kasvulle merkittävä vaikutus. Kasvit hengittävät hiilidioksidia, joten suurempi pitoisuus edistää kasvien kasvua. CO₂-sensorit ovat kalliita,

mutta toisaalta pitoisuuden seuraaminen voisi olla mielenkiintoinen lisä. Päädyin kuitenkin olemaan mittaamatta hiilidioksidipitoisuutta reaaliaikaisesti, mutta koska minikasvihuoneen hiilidioksidi kuluu nopeasti liian alhaiseksi, aion arviopohjalta tuulettaa sinne lisää hiilidioksidipitoista ilmaa muutaman kerran päiväsaikaan.

Lämpötilaa kannattaa säätää tuulettamalla, koska sisätiloissa ollessaan minikasvihuone tuskin koskaan kylmenee liikaa. Oletettavasti lämpötila on lähes kaikkien kasvien kannalta ihanteellinen, eli 20–25 °C.

Valon määrän mittaus vaatii myös tiedon vuorokaudenajasta. Kesäisin valon määrän ollessa riittävä luonnostaan ei keinovaloa tarvitse käyttää. Pimeämpinä vuodenaikoina valo täytyy ajoittaa olemaan palamatta yöaikaan. Näin noudatetaan sekä kasvien että ihmisten vuorokausirytmisiä.

Maankosteuden mittauksen perusteella kasvualustan kosteutta voi säätää kastelemalla vedellä tai vesi-lannoiteseoksella. Kastelu tulee toimimaan siten, että mullan kuivuttua tietyn raja-arvon alle, se kastellaan ajastetulla pumpppauksella. Koska kokemuksen pohjalta pumpppaus on äänekkäs toimenpide, se pitää ajoittaa ihmisten valveillaolon mukaan.

Kasvualustan pH-arvo ei normaalitilanteessa muutu nopeasti, vaan esimerkiksi silloin, kun mineraalipohjaiset lannoitteet kertyvät kasvualustaan pitkällä aikavälillä. Tämän vuoksi pH-arvon mittaaminen reaaliajassa ei ole järkevin valinta, kun valitaan vain tärkeimmät mittauskohteet.

4 Prototyypin suunnittelu ja soveltuvuustutkimus

4.1 Laitteiston valinta ja periaatekaavio

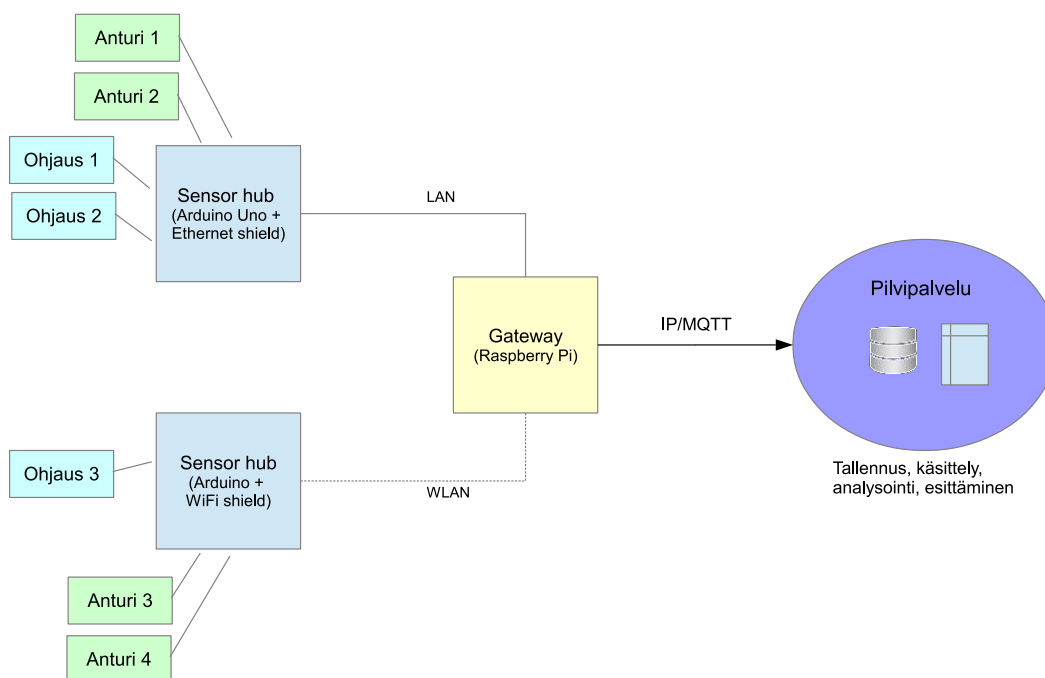
Kasvihuoneen mittaukset ja ohjaus pyritään toteuttamaan Arduino-pohjaisella laitteella. Laitteeseen kytketään sensorit, jotka mittaavat valitut suureet kasvihuoneen sisältä ja

mullasta. Sama Arduino säätää myös valaistusta, tuuletusta ja päästää kasteluvettä multaan. Tämän lisäksi laite lähettää valitun datan pilvipalveluun tallennettavaksi ja käsiteltäväksi.

Vaihtoehtona on käyttää kahta Arduinoa, jos se esimerkiksi luotettavuuden ja laitteiden rajallisen kapasiteetin vuoksi osoittautuisi tarpeelliseksi. Koska ajatuksena on demota myös ns. gateway- eli yhdyskäytävälaitetta, joka kokoaa sensoridataa ja jalostaa sitä pilvipalveluun lähetettäväksi, vaikuttaisi kahden sensorikeskittimen (sensor hub) vaihtoehto tarkoituksenmukaisemmalta.

Datan lähetys pilvipalveluun toteutetaan usein erillisellä gateway- eli yhdyskäytävälaitteella. Arduino puolestaan on helposti liitettävissä Raspberry Pi -korttitietokoneeseen. Raspberry Pi -tietokoneelle löytyy paljon ohjeita datan välittämiseksi useaan pilvipalveluun. Helpoin tapa liittää Arduino-laite Raspberry Pi -laitteeseen on USB-sarjaliitäntä. Langallinen ja langaton Ethernet-liitäntä on hieman vaativampi, mutta ilmentää realistisemmin sitä, kuinka antureilta kerätään dataa, kuinka sitä käsitellään reunaverkossa (Raspberry Pi) ja kuinka jalostettu data lähetetään valikoidusti pilvipalveluun.

Kuva 3 esittää hahmottelemaani periaatekaaviota ja sitä, kuinka kaikkea tarvittavaa voisi demota: laitteisto sisältäisi kaksi sensorikeskittintä (sensor hub), jotka poimivat sensorien tiedot sekä yhdyskäytävän (gateway), jonka kautta sensorikeskittimet lähettävät kerätyt tiedot pilvialustan tallennus- ja analysointipalveluun.



Kuva 3. Ensimmäinen hahmotelma järjestelmästä

Suunnittelu- ja kokeiluvaiheessa kokeilin erilaisia tapoja yhdistää Raspberry Pi pilvipalveluihin. Aikaisempi kokemukseni oli yhdistää se helppoon demoilu ympäristöön Thingspeakiin (www.thingspeak.com) sekä vaativampaan ja ammattimaisempaan Microsoftin Azure -palveluun. Koska opinnäytetyön yksi tarkoitus on uuden tiedon löytäminen, ajatukseni oli tehdä varsinainen toteutus jollain muulla palvelulla, joka on ilmainen tai erittäin edullinen. Tutkin myös muita opinnäytetöitä ja pyrin löytämään sellaisen yhdistelmän, jota ei ole vielä tehty.

Ajatuksena oli hyödyntää halpoja ja helposti saatavia laitteita, sekä niille vapaasti saatavia ohjeita ja ohjelmia, ja lopuksi integroida niistä kokonaisuus. Samoille laitteille löytyy myös monia ohjeita, joilla ne voidaan liittää eri pilvipalveluiden rajapintoihin. Pilvipalvelut puolestaan lupaavat monenlaisia datan hyödyntämistapoja, kuten tallennusta, älykästä käsittelyä ja tulosten esittämistä mitä hienoimmilla tavoilla.

Taulukko 2 listaa laitteiden ja sensorien tyypit, joita suunnittelin mahdollisuuksien mukaan käyttää. Lisäksi tarvitaan teholähteet, kaapelit ja kiinnitystarvikkeet sekä tietenkin itse kasvihuone.

Taulukko 2. Alkuperäisen suunnitelman luettelo käytettävissä olevista laitteista

Tarkoitus	Laite
Ilman lämpö ja kosteus	DHT22/AM2302
Valoisuus	TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor
Maan kosteus	YL-39 + YL-69 Soil Humidity Sensor
Kasvihuoneen mittaukset ja ohjaus	WeMos D1 (Arduino Uno + WiFi)
Kasvihuoneen mittaukset ja ohjaus	Arduino UNO
Yhdyskäytävä pilvipalveluun	Raspberry Pi 3

4.2 Pilvialustan soveltuvuustutkimus

Aluksi valitsin testausalustaksi vapaasti käytettävän ThingSpeak-palvelun (<https://thingspeak.com/>), koska se on entuudestaan tuttu, sekä yksinkertainen ja ilmainen käyttää. ThingSpeak sisältää vapaan lähdekoodin esineiden internetin ohjelmointirajapinnan, joka käyttää HTTP-protokollaa tiedonsiirtoon. Sen perusti alun perin ioBridge vuonna 2010 palveluksi tukemaan esineiden internet -sovelluksia. Tämä alusta on erittäin helppokäyttöinen ja opettavainen, ja kokemus rohkaisi siirtymään vaativampien alustojen pariin.

Seuraavaksi aloitin kokeilut, miten muihin pilvialustoihin kytkeydytään. Raspberry Pi -laitteen yhdistäminen demotarkoituksissa useampaan pilvialustaan sujui varsin hyvin, kun käytettiin eri ohjelmointikieliä. Erityisesti keskityin Azure- ja Bluemix-alustoihin, mutta arvioin myös esimerkiksi Thingworx-, Samsung Artik- ja SiteWhere-alustoja. Ohjeita seuraamalla Raspberry Pi -laitteen pystyi kytkemään tavallisena laitteena tai myös yhdyskäytävänä. Vaikutti siltä, että tämän lisäksi tarvitsi vain rakentaa kasvihuonejärjestelmä, datan analysointi sekä datan esittäminen käyttäjäystävällisessä muodossa.

4.3 Pilvi- ja IoT-alustan valinta

Alustan valinta kaupalliseen tarkoitukseen on tärkeä ja mahdollisesti myös vaikea, koska ainakin tällä hetkellä alustojen toiminnallisuus on hajanaista, eikä niille ole olemassa mitään standardia. Se, mitä alustalla tarkoitetaan, vaihtelee tuotteesta toiseen, eikä myöskään toimintaa ole juuri yhdenmukaistettu. Luettelossa 2 esimerkialustat on jaettu kaupallisiin ja avoimen lähdekoodin alustoihin.

Kaupallisia alustoja:

- Thingworx
- GE Predix
- IBM Watson IoT, IBM Bluemix
- Microsoft Azure IoT
- Intel IoT
- Bosch IoT Cloud
- Ericsson Device Connection Platform, IoT Framework
- IoTivity
- EvryThng
- Citrix Octoblu
- Amazon IoT
- Zatar
- RTI Connecxt DDS
- Cumulocity
- Ayla
- Ignition, Inductive Automation
- PrismTech Vortex
- Arrayent
- Brains, Intellisense
- Xively
- Samsung Artik.

Avoimen lähdekoodin alustoja:

- ThingSpeak
- Kaa IoT
- OpenRemote
- SiteWhere
- Zephyr Project
- DeviceHive.

Omaan projektiin sopivia alustoja on riittävästi, joten tein oman valintani kiinnostukseni mukaan. Koska olen käyttänyt omakohtaisesti kaupallista Microsoftin Azurea ja avoimen lähdekoodin ThingSpeakia, nämä olivat poissa vaihtoehdoista. Tässä vaiheessa kävin IBM BusinessConnect -seminaarissa Helsingissä, ja innostuin IBM:n Bluemixistä ja etenkin Watson IoT -alustasta. Päätin aloittaa toteutuksen tekemisen tästä, koska huomasin, että kuukauden kokeilu-aika on ilmaista, ja pienimuotoinen käyttö on senkin jälkeen ilmaista tai hyvin edullista.

Tällä kertaa jätin lukemisen vähemmälle, ja menin melko pian kokeilemaan käytännön ohjeita alustan käyttämiseksi. Näitä ohjeita kutsutaan IBM:n kielessä nimellä "Recipe", eli valmistusohje. Aloitin ohjeella, jossa käytetään virtuaalisia laitteita, ja onnistun vähäisin vaikeuksin. Huomasin jo tässä vaiheessa, että Bluemix ja Watson IoT ovat muuttuneet viime aikoina, ja valmistusohjeet eivät pidä täysin paikkaansa. Toisaalta tämä ilmiö pakottaa paneutumaan itse asiaan siten, että on pakko ymmärtää, mitä on tekemässä. Bluemixin ominaisuuksien tutkimiseksi hankin käyttööni Texas Instrumentsin evaluointilaitteen nimeltä TI Simplelink SensorTag Development Kit (CC2650). Tälle laitteelle on yksinkertainen valmistusohje, jossa gateway eli yhdyskäytävä Bluemix-palveluun on android-puhelin, ja CC2650-SensorTagin ja puhelimen välinen yhteys muodostetaan Bluetooth low energy -tekniikalla. Sain tehtyä valmistusohjeen mukaisen toteutuksen, ja sain mittaustulokset visualisoitua Bluemixissä. Kokeilin myös järjestelmää, jossa käytettiin Raspberry Pi -laitetta android-puhelimen sijaan, mutta kokeilu päättyi, kun CC2650-laitteen firmware-päivityksen epäonnistuttua se muuttui käyttökelvottomaksi (lopulta laitteen sai pelastettua kyllä hankkimalla debugger-laitteen, jolla uudelleenohjelmointi onnistui).

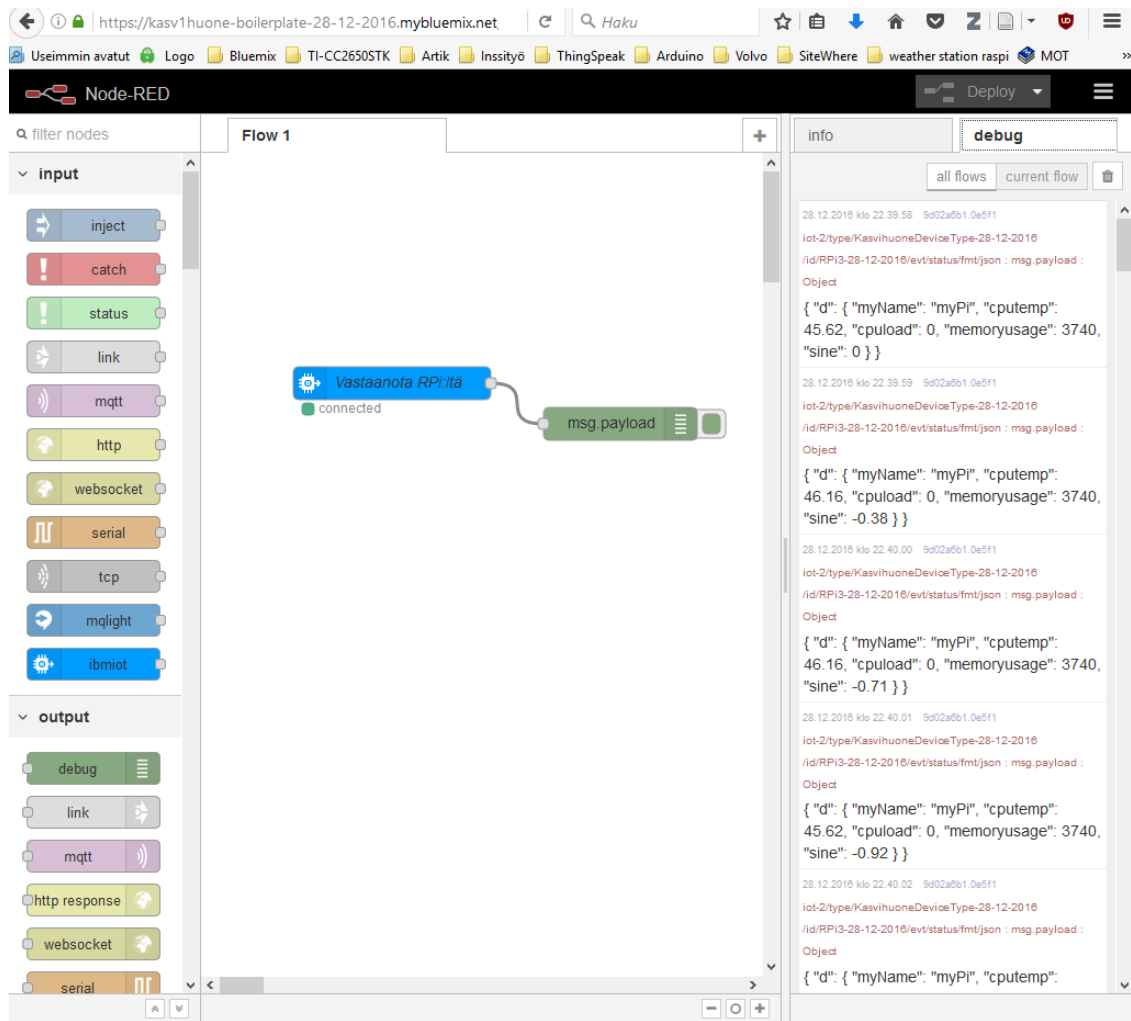
4.4 IBM Bluemix ja IBM Watson IoT

Tätä työtä viimeisteltäessä IBM Bluemix ja IBM Softlayer ovat uudelta yhteiseltä nimeltään IBM Cloud. Bluemix kyllä esiintyy edelleen yleisesti mm. verkkosivujen osoitteissa. IBM Cloud on avoimeen lähdekoodiin perustuva pilvipalvelualusta, joka tarjoaa PaaS- ja IaaS-palveluita (Platform as a Service ja Infrastructure as a Service). Palvelu tarjoaa valikoiman tuotteita, joita ovat esimerkiksi eri palvelinvaihtoehdot, tiedon tallennusvaihtoehdot, verkon työkalut sekä tietoturvalikoima. Palvelun yhteydessä toimii laaja yhteisö, joka kehittää järjestelmää ja tukee muita loppukäyttäjiä.

Watson IoT:n kerrotaan tarjoavan yksinkertaisia mutta tehokkaita sovelluksia IoT-laitteille ja muulle datalle. Se tarjoaa monia tapoja datan analysointiin, visualisointiin sekä käytettäväksi mobiilisovelluksissa.

Tarjottavista tietokannoista esimerkiksi Cloudant NoSQL DB ja Compose for MongoDB ovat NoSQL-pohjaisia, ja Compose for MySQL on SQL-tietokanta.

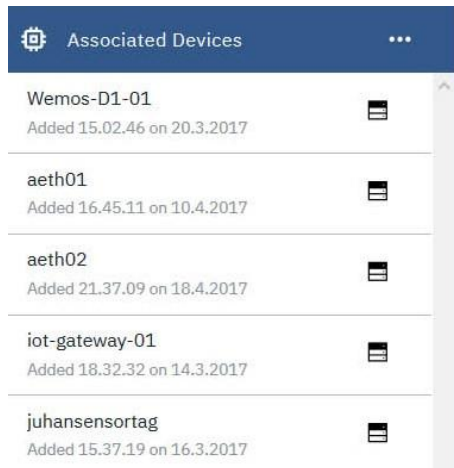
Node-RED on IBM:n kehittämä ohjelmointityökalu laitteiden, sovellusliittymien ja onlinen palvelujen yhdistämiseen uusilla ja mielenkiintoisilla tavoilla. Se tarjoaa selainpohjaisen visuaalisen editorin, jonka avulla voi käsitellä datavirtoja käyttäen valmiita ohjelmakomponentteja. (Karaila. 2015) Node-RED koostuu Node.js pohjaisesta runtime-ohjelmasta. Node-RED-sovellusta voi ajaa paikallisesti vaikkapa Raspberry Pi -koneessa tai Bluemix-palvelussa.








Kuva 4. Demo-ohjelma Node-RED-selainnäkyssä, Raspberry Pi lähettää dataa

Node-RED oli hyvin lupaavaan tuntuinen ohjelmointitapa sellaiselle, joka ei ole kokenut ohjelmistoasiantuntija, ja ohjattujen demojen tekeminen oli valaisevaa. Internet of Things Platform Starter -sovelluksen avulla demoympäristön tekeminen käy vaivattomasti. Oman sovelluksen tekeminen lopulta kuitenkin vaatii melko hyvää JavaScript-osaamista.

Laitteiden yhdistäminen Watson IoT -palveluun onnistui monella tavalla. Seuraavassa kuvassa laitteina on WeMos eli Arduinon Wifi-pohjainen laite, kaksi Ethernetillä liitettyä Arduinoa, Raspberry Pi -yhdyskäytävä ja CC2650 SensorTag -yhdyskäytävä (Texas Instruments -yhtiön evaluointisarja).



Associated Devices	
Wemos-D1-01 Added 15.02.46 on 20.3.2017	
aeth01 Added 16.45.11 on 10.4.2017	
aeth02 Added 21.37.09 on 18.4.2017	
iot-gateway-01 Added 18.32.32 on 14.3.2017	
juhansensortag Added 15.37.19 on 16.3.2017	

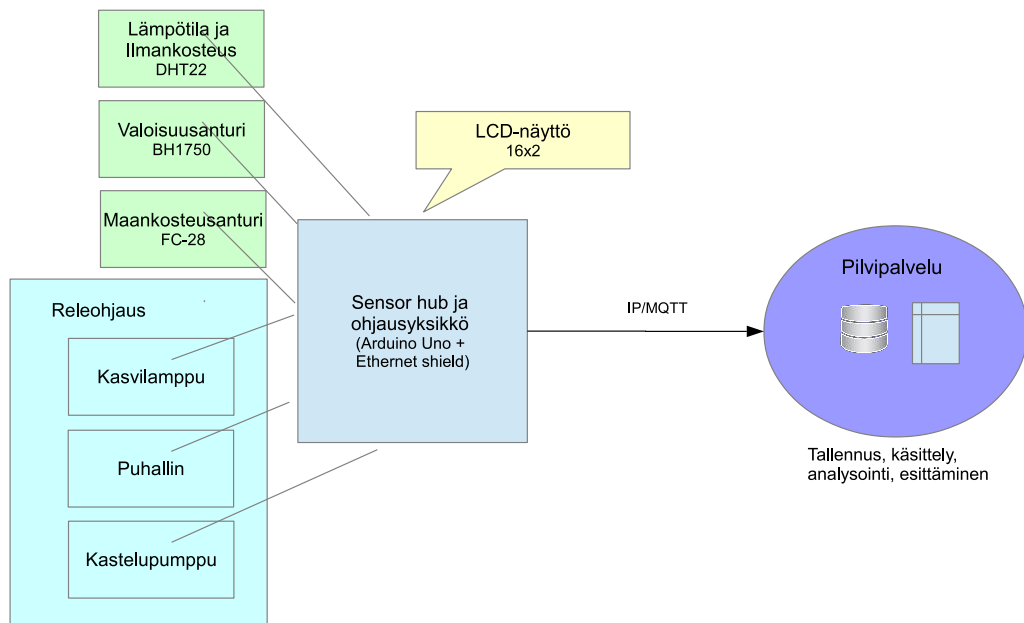
Kuva 5. Erityyppisiä laitteita Watson IoT -palvelussa

5 Prototyypin rakentaminen

Arduino-alustoille löytyy runsaasti ohjelmointi- ja kytkemisesimerkkejä sekä kirjastoja, joilla digitaaliset ja analogiset sensorit saadaan kytkettyä niihin helposti. Arduinon omista ohjeista löytyvät perustapakukset (<https://www.arduino.cc/>) ja esimerkiksi Instructables-sivustolta ohjeet, kuinka mitataan lämpötila ja kosteus ja tulostetaan näytölle (Pauls. 2016).

5.1 Toteutettu suunnitelma

Tiedon hankinnan ja kokeilujen jälkeen vaihdoin toteutustapaa kahteen otteeseen. Aluksi huomasin, kuinka monimutkainen alkuperäisen suunnitelman (ks. kuva 3 ensimmäinen suunnitelma) mukainen on, vaikka kaavio onkin yksinkertainen. Aluksi jätin pois WiFi-toiminnallisuuden sisältävän WeMos-mallin. Tässä vaiheessa huomasin, että Raspberry Pi 3 -tietokone ainoastaan vastaanottaa Arduinon datan ja välittää sen eteenpäin – varsinaisia järkeviä reunaverkon toimintoja eli datan käsittelyä järkevästi ei tarvittu. Lisäksi huomasin, että Arduino Uno lisättynä Ethernet-piirillä pystyi lähettämään tarpeellisen määrän tietoa pilvipalveluun itsenäisesti. Opin myös käyttämään antureita yksinkertaisemmin. Näin päädyin kuvan 6 mukaiseen suunnitelmaan.



Kuva 6. Jalostunut suunnitelma

Suunnitelman kirkastuttua tarvittavien laitteiden luettelo täsmentyi, ks. taulukko 3.

Taulukko 3. Jalostunut laiteluettelo

Tarkoitus	Laite
Ilman lämpö ja kosteus	DHT22/AM2302
Valoisuus	BH1750 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor
Maan kosteus	FC-28 Soil Humidity Sensor
Kasvihuoneen mittaukset ja ohjaukset	Arduino Uno R3
Ethernet-yhteys	Ethernet Shield W5100 R3
Reaaliaikakello	DS1302
Releyksikkö	SRD-05VDC-SL-C
LCD-näyttö	2 x 16
Kastelupumppu	Auton tuulilasinpesuri, yleismalli
Kasvilamppu	12 V LED
Valo- ja tuuletinteholähde	12 V 500 mA
Kastelutehonlähde	18,5 V 6,5 A

5.2 Ethernet-liitäntä

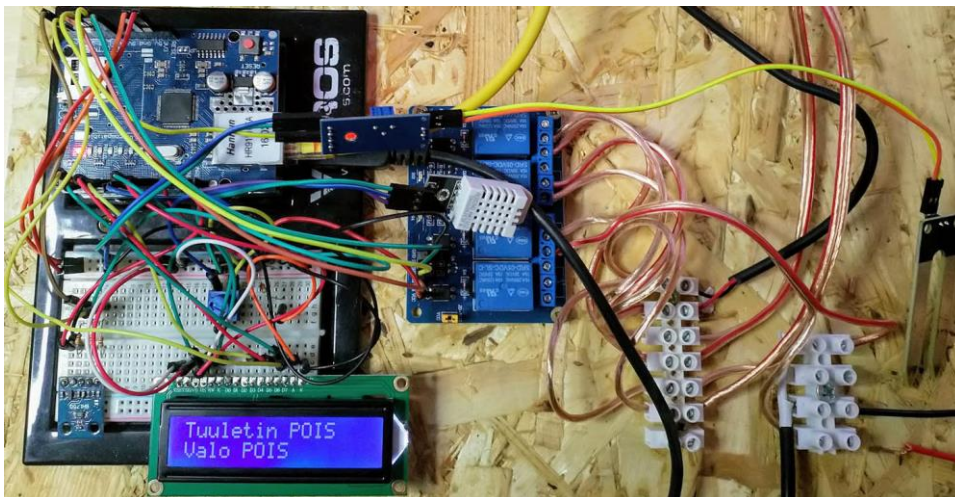
Arduinon kytkemiseksi Ethernetiin vaadittiin niin sanottu Ethernet shield, eli Arduinon päälle kytkettävä lisäpiirilevy. Ethernet-ohjelmistokirjaston avulla Arduinolle pystyi antamaan arvot IP-verkossa toimintaa varten, kuten MAC-osoitteen, yhdyskäytävän osoitteen ja oman IP-osoitteen.

5.3 MQTT-protokolla

Arduinolle löytyi MQTT-ohjelmakirjasto PubSubClient, jonka avulla Arduino pystyi toimimaan MQTT-asiakkaana ja lähettämään dataa Watson IoT -palveluun JSON-muodossa. Lähetys tapahtui suojaamatonta tilaa käyttäen. En saanut suojattua tilaa toimimaan helposti, ja katsoin, että tässä tapauksessa suojaamaton tila riittää.

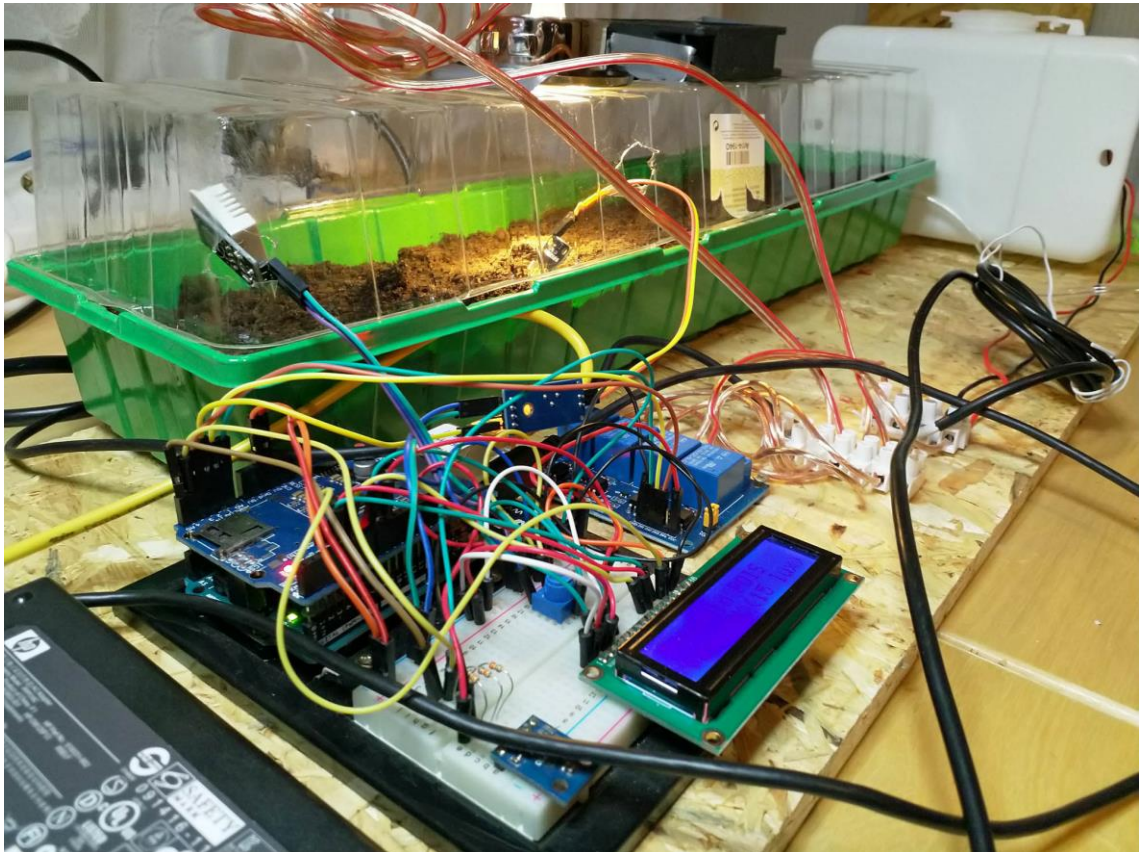
5.4 Valmis toteutus

Kuvassa 7 on minikasvihuoneeni mittaus- ja ohjausyksikkö eli Arduino UNO -yksikkö, johon on kytketty päälle Ethernet shield -piirilevy. Näihin on kytketty sensorit ja LCD-näyttö sekä neljän releen yksikkö ohjauksia varten.



Kuva 7. Arduino-pohjainen minikasvihuoneen ohjausyksikkö

Kasvihuoneeksi hankin kuitupuualustalleni sopivan laatikon, jota oli helppo työstää. Valoksi laitoin tavallisen 12 V:n LED-lampun, jonka voi vaihtaa tarvittaessa kasvilampuksi sopivaan. Tuuletin on tietokoneen 12 V:n kotelotuuletin. Tuulettimelle ja valolle riitti vanhasta ulkovalosarjasta säästetty teholähde. Vesipumpuksi hankin yleismallisen auton tuulilasipesimen, joka vei sen verran enemmän virtaa, että laitoin sille erillisen vanhasta kannettavasta tietokoneesta jääneen 18,5 V:n tehölähteen.



Kuva 8. Minikasvihuone toiminnassa

5.5 Ohjelman toiminta Arduinossa

Aluksi Ethernet otetaan käyttöön ja laitteelle asetetaan kiinteä IP-osoite (191.68.1.151), MAC-osoite lähiverkossa liikennöimiseen sekä oletusyhdyskäytävä.

MQTT-protokolla otetaan käyttöön ja annetaan Bluemixin MQTT-broker-palvelun vaatimat tunnukset:

organisaatio: 22bmnv
deviceType: adt
deviceId: aeth02
Topic: iot-2/evt/status/fmt/json
Laitekohtainen token: <salainen>

Tämän jälkeen määritellään muuttujat, LCD-näyttö, sensorit ja releet.

Varsinaisessa ohjelmassa luetaan sensoreilta arvot, ja lukemien perusteella tehdään ohjaukset, eli kytketään valo päälle/pois, tuuletin päälle/pois, ja jos maankosteus on alle raja-arvon, suihkautetaan pari sekuntia vettä.

Tämän jälkeen muodostetaan JSON-viesti lähetettävistä suureista. Keinovalon tila "valo" ja tuuletuksen tila "tuulet" on jätetty pois luotettavuuden parantamiseksi:

```
// JSON-stringin muodostaminen
String buildJson() {
    String data = "{";
    data+="\n";
    data+= "\"d\": {";
    data+="\n";

    data+= "\"myName\": \"aeth02\", ";
    data+="\n";

    data+= "\"lampo\": ";
    data+=lampo;
    data+= ", ";
    data+="\n";

    data+= "\"ikost\": ";
    data+=int(ikost);
    data+= ", ";
    data+="\n";

    data+= "\"lux\": ";
    data+=lightMeter.readLightLevel();
    data+= ", ";
    data+="\n";

    data+= "\"mkost\": ";
    data+=mkost;
    // data+= ", ";
    data+="\n";
    /*
    data+= "\"valo\": ";
    data+=valo;
```

```

data+= ",";
data+="\n";

data+="\"tuulet\": ";
data+=tuulet;
data+="\n";
*/
data+="}";
data+="\n";
data+="}";
return data;
}

```

Seuraavaksi lähetetään JSON-viesti pilvipalveluun:

```

// Lahetys Watson Iot:iin
char clientStr[34];
  clientName.toCharArray(clientStr,34);
char topicStr[26];
topicName.toCharArray(topicStr,26);
// getData();
if (!client.connected()) {
  Serial.println("\nYhdistetaan: ");
  Serial.println(clientStr);
  client.connect(clientStr, authMethod, token);
}
if (client.connected() ) {
  String json = buildJson();
// char jsonStr[200];
char jsonStr[180];
// json.toCharArray(jsonStr,200);
json.toCharArray(jsonStr,180);
boolean pubresult = client.publish(topicStr,jsonStr);
  Serial.print("\nYritetaan lähettää ");
  Serial.println(jsonStr);
  Serial.print("Topiciin: ");
  Serial.println(topicStr);
  //lcd.clear();
  //lcd.print("Datan lahetys");
  if (pubresult) {
  Serial.println("Lahetys onnistui.");
  //lcd.setCursor(0, 1);
  //lcd.print("pilveen onnistui");
  }
  else {
  Serial.println("Lahetys epaonnistui.");
  //lcd.setCursor(0, 1);
  //lcd.print("pilveen epaonn.");
  }
}
delay(delayValue3);
}

```

Virheiden korjausta ja muuta ohjelman toimintaa voi seurata kätevästi Arduinon sarjamonitorilla. Kuvassa 9 on onnistunut mittaus, säätö ja lähetys sarjamonitorin ikkunasta nähtynä.

```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
Arduino_Ethernet_Watson_iot_05
IP-osoite: 192.168.1.151

Lampotila: 22.70 C
Ilmankosteus: 44.50 %
Tuuletin POIS
Valoisuus: 277 luxia
Valo POIS
500
Maan kosteus: 0 %
Vesipumppu PAALLA
Vesipumppu POIS

Yhdistetaan:
d:22bmv:adt:aeth02

Yritetaan lähettää {
"d": {
  "myName": "aeth02",
  "lampo": 22.70,
  "ikost": 44,
  "lux": 278,
  "mkost": 0
}
}
Topiciin: iot-2/evt/status/fmt/json
Lähetys onnistui.
```

Kuva 9. Arduinon sarjamonitori on kätevä apu ohjelman toiminnan seuraamisessa

5.6 Datavirta Bluemix-palvelussa

Arduinossa toimiva ohjelma lähettää tekemänsä mittaustulokset JSON-muodossa Watson IoT -palveluun. Lähetys tapahtuu MQTT-protokollaa käyttäen IP-yhteyden päällä.

Bluemix-palvelussa loin Internet of Things Platform Starter -toiminnolla KoeAppsi-nimisen sovelluksen, jolle tehtiin samalla iotf-palvelu (Internet of Things Foundation) nimeltä iot-service-kasvihuone ja KoeAppsi-iotf-service sekä NoSQL-tietokanta KoeAppsi-cloudantNoSQLDB.


Cloud Foundry Applications				
Name ^	Region	CF Org	CF Space	Status
KoeAppsi	US South	juha.haastola	Space1	● Running (1/1)

Cloud Foundry Services				
Name ^	Region	CF Org	CF Space	Plan
IoT-service-kasvihuone	US South	juha.haastola	Space1	iotf-service-free
KoeAppsi-cloudantNoSQLDB ↻	US South	juha.haastola	Space1	Lite
KoeAppsi-iotf-service	US South	juha.haastola	Space1	iotf-service-free
availability-monitoring-auto	US South	juha.haastola	Space1	Lite
spark-fm	US South	juha.haastola	Space1	ibm.SparkServic...

Kuva 10. KoeAppsi-sovellus ja Cloud Foundry -palvelut


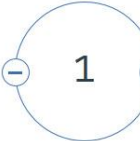


Kuvassa 11 on kuvakaappaus Internet of Things Platform Starter -toiminnolla luodusta Cloud Foundry -sovellus nimeltä KoeAppsi. Visit App URL -linkistä pääsee Node-RED-ohjelmointinäkömään.




Cloud Foundry apps /

 **KoeAppsi** ● Running [Visit App URL](#) Routes ▾

Org: juha.haastola **Location:** US South **Space:** Space1

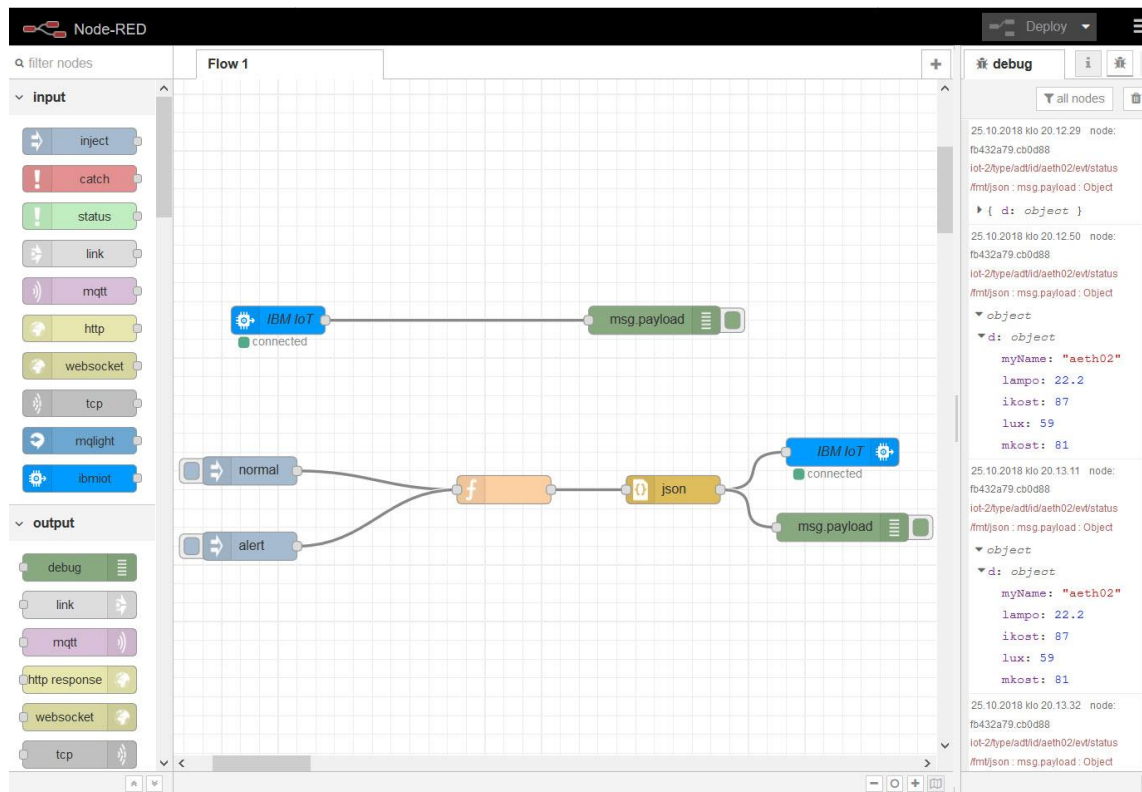
Runtime

			
BUILDPACK	INSTANCES	MB MEMORY PER INSTANCE	TOTAL MB ALLOCATION
Internet of Things Platform Starter	All instances are running Health is 100%		511.5 GB still available

<p>Connections (3)</p> <ul style="list-style-type: none">  IoT-service-kasvihuone <li style="background-color: #e6f2ff;"> KoeAppsi-cloudantNoSQLDB  KoeAppsi-iotf-service 	<p>Runtime cost</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">20,60 \$</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">20,60 \$</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 10pt;">Current charges for billing period</td> <td style="font-size: 10pt;">Estimated total for billing period</td> </tr> </table>	20,60 \$	20,60 \$	Current charges for billing period	Estimated total for billing period
20,60 \$	20,60 \$				
Current charges for billing period	Estimated total for billing period				

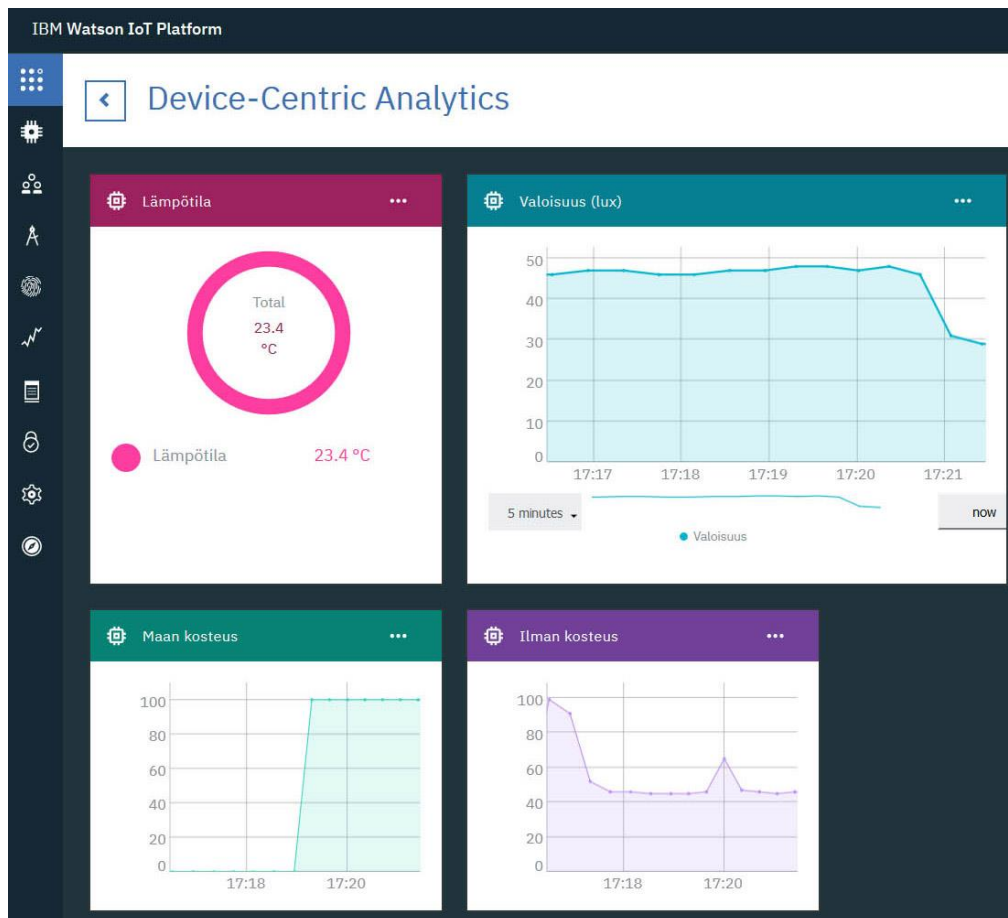
Kuva 11. KoeAppsi-sovelluksen yleisnäkökuva Bluemix-konsolissa

Kuvassa 12 on Node-RED-kuvakaappaus Bluemixistä, edellisen kuvan KoeAppsi-sovelluksesta. Yksinkertaisessa ohjelmassa otetaan vastaan JSON-muotoinen viesti ja puretaan se muuttujien arvoiksi (MyName, lampo, ikost, lux ja mkost). Debug-ikkunasta voi tarkastella, millaisessa muodossa data virtaa milläkin kohtaa.



Kuva 12. Node-RED-näkymä KoeAppsi-sovelluksesta

Datan visualisointi tehtiin Watson IoT -ympäristössä. Kuvassa 13 JSON-viestistä puretut tiedot visualisoidaan käyttäjän ymmärrettävässä muodossa.



Kuva 13. JSON-viestistä puretut suureet visualisoituna Watson IoT -palvelussa

5.7 Ongelmia pilvialustalla

Suurimman haasteen tarjosi se, että IBM:n pilvi- ja IoT-alusta oli ripeässä kehitystilassa opinnäytetyön tekemisen ajan. Monet reseptit, joilla kokeilin toimivuutta erilaisilla laite- ja ohjelmistoalustoilla eivät toimineetkaan ohjeen mukaan. Tästä johtuen jotkut demot jäivät kokonaan tekemättä, mutta suuremmalla ja pienemmällä selvittelyllä monet asiat selvisivät lopulta. Monista virhetilanteista oli vaikea selvittää, johtuivatko ne virheellisistä konfiguraatiosta vai alustan teknisistä ongelmista.

Pilvialustan logiikka osoittautui vaikeaselkoiseksi. Lisäksi olisin tarvinnut syvempää ohjelmointiosaamista, etenkin JavaScript-kielessä.

Yö- ja päivärytmin seuraamiseksi kasvihuoneen ohjauslogiikan olisi pitänyt seurata vuorokaudenaikaa. En saanut enää reaaliaikakelloa toimimaan samaan aikaan muiden Arduinon toimintojen kanssa, joten demolaitteen valaistus toimi samalla tavoin kaikkina vuorokaudenaikoina. En tosin jättänyt laitetta päälle vartioimatta muutenkaan.

Kastelun automatisoinnin hionta täytyi tehdä yritys-erehdys-menetelmällä. Ensinnäkin anturin mittaustapa oli epävarma, koska se perustuu kostean maan sähkönjohtavuuteen. Lisäksi se mittasi vain yhdestä kohtaa. Toiseksi käyttämäni auton tuulilasinpesuri oli aivan liian tehokas vesipumppu, koska pumppaus sai minikasvihuoneen mullat lentämään, ja pari sekuntia liian pitkä pumppausaika kasvihuoneen tulvimaan. Letku piti siis suunnata viisaasti eikä säiliöön kannattanut laittaa paljon vettä kerralla. Tehokas pumppu vaati myös tehokkaan virtalähteen, eikä valaistukseen ja tuulettimeen käytettävä laite riittänyt, vaan tarvitsin toisen tehokkaamman virtalähteen (kannettavan tietokoneen virtalähde).

Vaikka Arduino toimikin pitkiä aikoja luotettavasti, usean anturin ja Ethernet-shieldin käyttö vaikutti olevan USB-liitännän tuottaman virran rajoilla. Muunmuassa näyttö himmeni toimenpiteiden aikana. Lisäksi jokin häiriö sai joskus mittaustulokset näyttämään aivan uskomattomia lukemia. Tuollaiset häiriöt pitäisi vakavasti käytettävältä laitteelta suodattaa pois.

6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteet, eli minikasvihuoneen automaattiohjaus ja etävalvonta esineiden internetin periaatteita noudattaen, toteutuivat pääpiirteissään. Tärkeimmät asiat, kuten mittausten teko ja säätämisen automaatio, toimivat kuten odotettiin. Mittaustulosten lähettäminen pilvipalveluun onnistui monella tavalla, ja valitsin lopulliseksi tavaksi yksinkertaisimman tavan.

Pidin mielessäni työn aikana erilaiset kustannukset sekä sen, olisiko laitteesta aihoksi kaupalliselle tuotteelle. Työtä aloittaessani hyviä kaupallisia tuotteita ei ihme kyllä ollut, ainakaan sellaisia, joissa hintataso olisi ollut harrastajan hyväksyttävissä. Olen vakuutunut, että jos vastaava edullinen kaupallinen tuote ilmestyy lähiaikoina, sille löytyy tilausta. Kotiautomaation etenemistä on haitannut selkeästi laitteiston valmistajakohtaisuus. Tässä tapauksessa siitäkään ei olisi haittaa.

Insinöörityön kokemukset näyttävät, että valmiita malleja IoT-palveluiden toteuttamiseksi ei ole. Nykyisillä palveluilla voidaan rakentaa yksittäinen päästä-päähän pilottiratkaisu. Sen sijaan valmiita standardiratkaisuja ei ole selkeästi olemassa. Jos eri toimijoilla on olemassa halukkuutta standardien kehittämiseen ja yhteiseen sopimiseen, se ei näy yksittäiselle kehittäjälle. IoT- ja pilvialustayhtiöt pyrkivät edistämään omaa ratkaisuaan ja kamppailevat markkinaosuuksista, koska johtavat konsulttiyhtiöt ovat ennustaneet onnistujille suuria voittoja aivan lähivuosina. Monet pilvialustayhtiöt suosivat avoimen lähdekoodin ratkaisuja hankkiakseen mahdollisimman suuren kehittäjien ekosysteemin omien ratkaisujensa tueksi. Toiveena on saada asiakkaat omaan leiriin, ja kun asiakas on lopulta riittävän sitoutunut, pilvialustan vaihto voikin olla liian haastava tehtävä.

Vaikka työ oli mielestäni tarpeeksi rajattu ja mietitty ennen työhön ryhtymistä, työn edessä paljastui, että olin asettanut vaatimuksia, joiden toteuttaminen parhaalla mahdollisella tavalla olisi vaatinut enemmän taitoja ja aikaa. Itsenäisen työn sijaan uskon, että vastaava projekti kannattaisikin toteuttaa pienenä ryhmätyönä. Pahiten aliarvioin tarvetta omaehtoiseen ohjelmointiin; oletin, että yhteisöjen tekemiä ohjeita seuraamalla olisin löytänyt vinkkejä esimerkiksi parempaan datan käsittelyyn ja visualisointiin.

Työhön jäi muutama selvä puute. Vuorokausiajastus ei toiminut ohjelmallisesti, tosin tämän puutteen voisi ratkaista käyttämällä verkkosähköajastinta. Datan käsittely pilvipalvelussa ja esittäminen käyttäjäystävällisesti ei tullut toteutettua ajatellulla tavalla.

Jos aloittaisin työn uudestaan, tekisin kaksi asiaa eri tavalla. Ensiksikään en valitsisi pilvialustaksi käytettyä IBM Bluemix -alustaa. Valittu pilvialusta oli tarpeettoman monimutkainen ja vaikeaselkoinen käyttää. Palvelu oli näin pienessä käytössä ilmainen melkein loppuun saakka, vaikka välillä hinnoittelukin oli ymmärrettävyyden rajoilla. Microsoft Azure -kokeilujaksollani käytin ilmaisen 100 dollarin tilini parissa päivässä vahingossa,

joten osasin olla varovainen. Toiseksi, hiilidioksidimittaus olisi ollut mielenkiintoisempi mittauskohde kuin aluksi arvasin. Suljetussa järjestelmässä kasvit käyttävät hiilidioksidin ensimmäiseksi loppuun, ja luultavasti se voi olla pullonkaula kasvien kasvulle. Alun perin arvelin, ettei hiilidioksidiarvoihin voi paljoa vaikuttaa, mutta nyt ajattelen, että se on varsin kriittinen kasvutekijä. Saattaisiko se olla jopa niin kriittinen tekijä, että harrastelijankin kannattaisi käyttää lisähiilidioksidia pullosta?

Lähteet

Alm, Gustaf & Palmstierna, Inger. 1995. Kasvihuonekirja. Porvoo: WSOY.

Anderson, Janne 2010. LED-valaistus kasvihuoneisiin. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu.

Cimpanu, Catalin. New Hacking Tool Lets Users Access a Bunch of DVRs and Their Video Feeds. 2.5.2018. Verkkoaineisto. <<https://www.bleepingcomputer.com/news/security/new-hacking-tool-lets-users-access-a-bunch-of-dvrs-and-their-video-feeds/>>. Luettu 3.11.2018.

Collin, Jari & Saarelainen, Ari. 2016. Teollinen internet. Helsinki: Talentum.

Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2014. >. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Verkkoaineisto. <https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Lageberichte/Lagebericht2014.pdf?__blob=publication-File&v=2>. Luettu 3.11.2018.

Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things. Accenture. Verkkoaineisto. https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Driving-Unconventional-Growth-through-IIoT.pdf. Luettu 9.12.2016.

Gartner Says 6.4 Billion Connected 'Things' Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015. 2015. Gartner, Inc. Verkkoaineisto. <<http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>>. Luettu 9.12.2016.

IDC Launches Updated G20 Internet of Things Development Opportunity Index Ranking. Verkkoaineisto. <<http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41888616>>. Luettu 9.12.2016.

International Telecommunication Union. Y.2060. 2012 Overview of the Internet of things. Verkkoaineisto. <<http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559-en?locatt=format:pdf&auth>>. Luettu 28.9.2016.

IoT Report: How Greater China Is Set To Lead The Global Industrial IoT. 2018. GSMA. Verkkoaineisto. <https://www.gsma.com/iot/greater-china-industrial-iot-report/>. Luettu 8.11.2018.

Karaila, Mika. 2015. Joustava tapa integroida järjestelmiä Node-RED:llä visuaalisesti – Internet of Things & Industrial Internet. Verkkoaineisto. <<https://www.automaatio-seura.fi/site/assets/files/1550/f2028.pdf>>. Luettu 25.10.2018.

Kastelulannoite. Verkkoaineisto. Biolan. Verkkoaineisto. <<https://www.biolan.fi/tuotteet/puutarhatuotteet/lannoitteet/biolan-kastelulannoite.html>>. Luettu 23.10.2018.

Kasvualustat. Verkkoaineisto. <<https://pavunvarsi.fi/kasvualustat.html>>. Luettu 24.10.2018.

Lisää satoa hiilidioksidin avulla. 2014. Oy AGA Ab. Verkkoaineisto. <http://www.aga.fi/fi/images/AGA%20Greenhouses%20Brochure%20A4%20FI_tcm634-134673.pdf>. Luettu 24.10.2018.

Liu, Dan & Cao, Xin & Huang, Chongwei & Ji, Liangliang. 2015. Intelligent Agriculture Greenhouse Environment Monitoring System Based on IOT Technology. 2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City.

Maapallon kasvit imenevät hiilidioksidia 2000-luvulla jopa kaksi kertaa entistä enemmän. Verkkoaineisto. Tiede-lehti. <<https://www.tiede.fi/artikkeli/uutiset/maapallon-kasvit-imenevat-hiilidioksidia-2000-luvulla-jopa-kaksi-kertaa-entista-0>>. Luettu 23.10.2018.

Pauls, Richard. Arduino Greenhouse Control - Humidity and Temperature. Verkkoaineisto. <<http://www.instructables.com/id/Arduino-Greenhouse-Control-Humidity-and-Temperatur/>>. Luettu 20.9.2016.

pH- ja EC-arvon seuranta. Verkkoaineisto. <<https://pavunvarsi.fi/ph-ja-ec-arvon-seuranta.html>>. Luettu 22.10.2018.

Wallenberg ASP. Verkkoaineisto. <<http://wasp-sweden.org/>>. Luettu 9.12.2016.

What is Industrie 4.0?. Verkkoaineisto. <<http://www.plattform-i40.de/I40/Naviga-tion/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>>. Luettu 9.12.2016.

Winning with the Industrial Internet of Things. Accenture. Verkkoaineisto. <https://www.accenture.com/ng-en/~/_media/Accenture/Conversion-Assets/Dot-Com/Documents/Global/PDF/Digital_1/Accenture-Industrial-Internet-of-Things-Positioning-Paper-Report-2015.pdf>. Luettu 9.12.2016.