



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Esineiden internet v2023

Lauri Heikka

Konetekniikka
Kandidaatintyö
Maaliskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Esineiden internet v2023

Lauri Heikka

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 37 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Yrjö Louhisalmi

Esineiden internet eli IoT on ollut todella suuressa kasvussa viime vuosien aikana eikä kasvulle näy loppua. Tämän työn tarkoitus on tutustua esineiden internetin nykytilanteeseen käyttäen mahdollisimman uusia artikkeleita aiheeseen liittyen. Aihetta on kuitenkin rajattu sen verran, että pysytään lähinnä arkisissa ja jokapäiväisissä sovelluksissa.

Työn alussa tutustutaan yleisesti esineiden internetiin ja sen historiaan. Tämän jälkeen selvitetään tilastojen kanssa muutamia erilaisia ohjelmointialustoja, ohjelmointikieliä sekä tiedonsiirtotapoja. Tämän lisäksi otetaan kaikista näistä muutamia eniten käytettyjä vaihtoehtoja ja tutustutaan niiden tämänhetkisiin ominaisuuksiin hieman tarkemmin. Sen jälkeen käydään läpi muutama konkreettinen esimerkki sovelluksista, joita on juuri tällä hetkellä käytössä. Lopuksi mietitään hieman tulevaisuuden näkymiä.

Asiasanat: Esineiden internet, IoT

ABSTRACT

Internet of Things in 2023

Lauri Heikka

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2023, 37 pp.

Supervisor(s) at the university: Yrjö Louhialmi

The internet of things, or IoT, has been growing at significantly fast over the past few years and there is no end in sight. The purpose of this work is to review the current state of the internet of things. It is done by using the most recent articles of the IoT. However, the topic has been limited mainly to the ordinary and everyday applications.

The work begins with a general introduction to the internet of things and its history. This will be followed with a statistical review of some different programming platforms, programming languages and methods of data transfer. This is followed by a selection of some of the most widely used options of those and a closer look at their current features. After that we look at a few concrete examples of applications that are in use right now. Finally, a little reflection on the future of IoT.

Keywords: Internet of things, IoT

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 Johdanto	6
2 Esineiden internet	7
2.1 Esineiden internetin aikajana	9
2.2 Esineiden internetin haasteet	11
3 Ohjelmointialustat	12
3.1 AWS IoT	13
3.2 Blynk IoT	15
3.3 Microsoft Azure IoT	17
4 Suosituimmat ohjelmointikielet	19
4.1 Java	19
4.2 Python	19
4.3 Swift	20
5 Tiedonsiirto	21
5.1 Yhteystyypit	21
5.2 Tiedonsiirtoprotokollat	22
6 Käyttökohteet	24
6.1 Nykyajan käyttökohteita	24
6.2 Philips Hue	24
7 Esineiden internetin tulevaisuus	30
8 Yhteenveto	31
LÄHDELUETTELO	32

MERKINNÄT JA LYHENTEET

AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
AWS	Amazon Web Services
CoAP	Constrained Application Protocol
DDS	Data Distribution Service
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IEC	International Electrotechnical Commission
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LTE	Long Term Evolution
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NFC	Near Field Communication
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol

1 JOHDANTO

Työn aiheena on tehdä katsaus esineiden internetin nykyhetkeen. Aihe on valittu sen vuoksi, että saadaan pieni tilannekatsaus juuri tämänhetkiseen tilanteeseen. Tätä voidaan sitten käyttää vertailuna joihinkin menneisiin tai tuleviin katsauksiin. Esineiden internet eli IoT (Internet of Things) kehittyy jatkuvasti, joten seuraavat katsaukset voivat olla jo hyvinkin erottuvia tästä.

Aloitin työn tutkimalla useista lähteistä nykyhetken IoT trendejä. Tämän perusteella valitsin muutamia IoT-palveluiden tuottajia ja tutustuin heidän sivujen kautta IoT:n nykyhetken tilanteisiin. Joten työssä käytetty tutkimusaineisto koostuu enimmäkseen esineiden internetin nykyhetken tilannetta tarkastelevista artikkeleista sekä palveluiden tuottajien nettisivuista.

Työtä on rajattu sen verran, että katsaus nykyhetkeen tehdään lähinnä ohjelmointialustoja, ohjelmointikieliä sekä tiedonsiirtotapoja tutkien. Joitakin näistä mainitaan vain nimeltä, mutta joihinkin tutustutaan myös hieman tarkemmin. Tarkemmin tutustuttaviksi valitsin enimmäkseen suosituimpia palveluita. En halunnut kuitenkaan pelkästään kaikista käytetyimpiä ottaa tarkasteltavaksi, vaan valitsin myös muutaman hieman vähemmän käytetyn, joissa itse näen tulevaisuuden kannalta potentiaalia. Esimerkkinä näistä valinnoista ohjelmointialustoista Blynk ja ohjelmointikielistä Swift.

Työssä käydään läpi myös hieman tämän hetken arkisista sovelluksista esimerkkejä, joihin olen itse päässyt tutustumaan myös käytännössä. Työn lopussa pohditaan myös vähän sitä, että minkälainen tulevaisuus voisi olla, ja mitä kaikkea uutta se voisikaan tuoda mukanaan. Tämän hetken tilanteen perusteella minä ainakin odotan innolla, että mitä kaikkea tulevaisuus tuokaan tullessaan.

2 ESINEIDEN INTERNET

Esineiden internet tarkoittaa ihan yksinkertaisuudessaan asioiden ja esineiden liittämistä internetiin. Tavallinen IoT-laite koostuu monista fyysisistä elementeistä, joihin on sulautettu ohjelmistoja, prosessointikykyä ja liitettävyyttä internetiin. Monissa IoT-laitteissa on myös jonkinlaisia antureita, jotka keräävät tietoa ympäristöstään kuten sisäilman lämpötilasta tai kosteudesta (Empirica 2023; Sakovich 2023).

Internetin välityksellä laitteet pystyvät jakamaan sekä vastaanottamaan dataa eli tietoa toisilleen. Yleisesti IoT-laitteiden tarkoitus on helpottaa aivan normaaleja arkisia asioita. Tämä tapahtuu siten, että laitteet vastaanottavat tietoa ja tekevät saamallaan tiedolla jotain. Nykyään melkein mistä tahansa kotoa löytyvästä laitteesta voi tehdä IoT-laitteen (Burgess 2018; Empirica 2023).

IoT-laitteet voivat olla yksi- tai kaksisuuntaisia. Yksisuuntainen tarkoittaa sitä, että laite pystyy ainoastaan tuottamaan dataa. Kaksisuuntainen puolestaan tarkoittaa sitä, että se voi myös vastaanottaa ulkopuolelta dataa ja tehdä sillä jotain (Empirica 2023).

Esimerkki yksisuuntaisesta IoT-laitteesta on lämpötila-anturi, joka mittaa ympäristönsä lämpötilaa. Tämän jälkeen anturi lähettää tiedon toiseen laitteeseen. Vastaanottava laite voisi olla esimerkiksi puhelimessa oleva sovellus, josta henkilö voisi tarkastaa lämpötilan tai jokin ilmastointilaitte, joka säätäisi lämpötilaa saamaansa tiedon mukaan.

Esimerkki kaksisuuntaisesta IoT-laitteesta on minultakin kotoa löytyvä älyvaaka, joka näkyy kuvassa 1. Vaaka toimii Bluetooth-yhteydellä ja se yhdistetään sitä kautta puhelimen sovellukseen. Vaaka tuottaa dataa siten, että se lähettää mitatut arvot puhelimen sovellukseen. Vaaka voi myös vastaanottaa tietoa esimerkiksi siten, että käyttäjä asettaa sovelluksessa pituutensa ja sukupuolensa. Näiden saatujen tietojen avulla vaaka osaa sitten laskea esimerkiksi rasvaprosentin hieman tarkemmin.

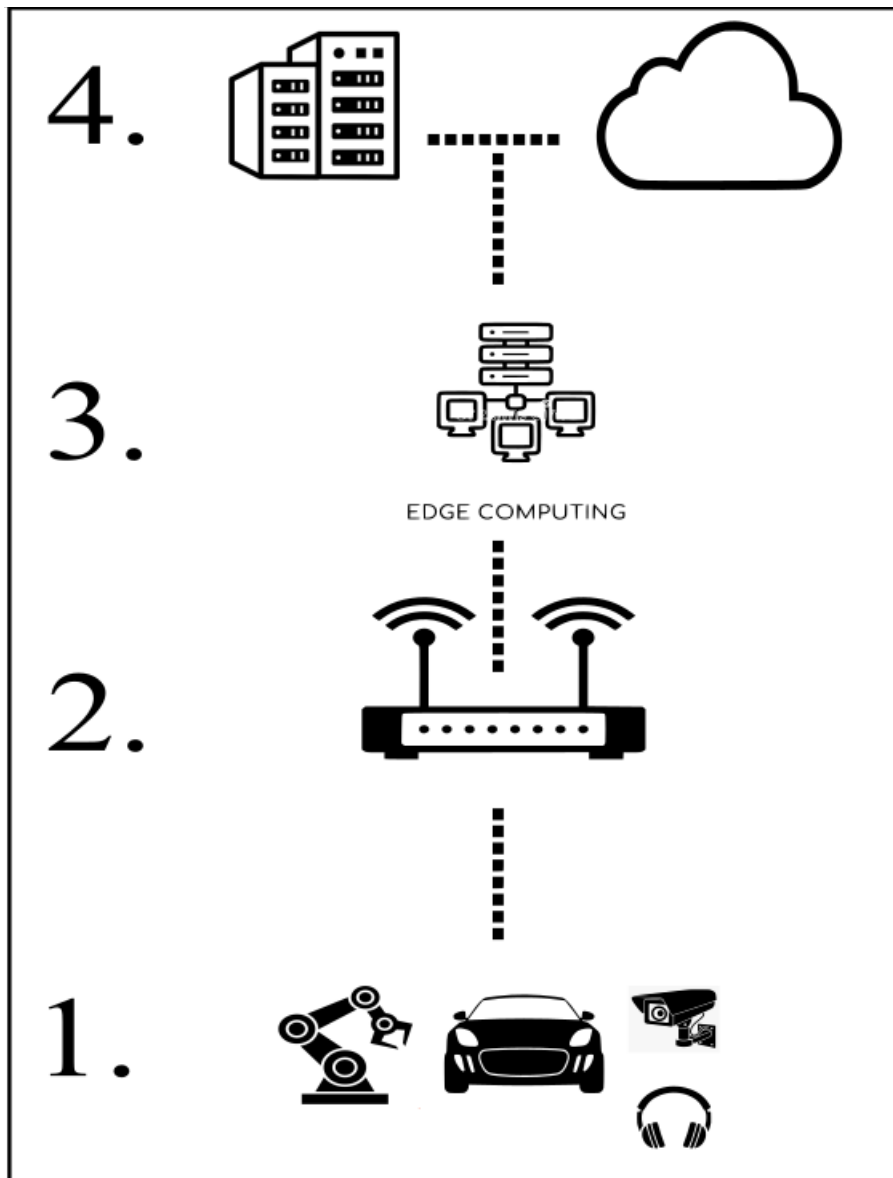


Kuva 1. Älyvaaka.

IoT-laitteet muodostavat yleisesti jonkin järjestelmän. Järjestelmä voi olla esimerkiksi älykoti, terästehdas tai itseohjautuva auto. Näissä on tärkeää, että tieto saadaan siirrettyä mahdollisimman nopeasti, jotta saatua tietoa voidaan hyödyntää. Tällainen järjestelmä koostuu neljästä eri tasosta:

1. **Anturit ja toimilaitteet:** keräävät dataa ympäristöstään.
2. **Internet-käytävät ja tiedonkeruusysteemit:** muuttavat kerätyn tiedon digitaaliseksi.
3. **Reunalaskentasyteemit:** varmistavat, että tieto käsitellään mahdollisimman lyhyellä viiveellä eli mahdollisimman lähellä tiedonkeräys paikkaa.
4. **Palvelinkeskukset ja pilvet:** analysoivat ja tallentavat kerättyä tietoa.

Kuvassa 2 on havainnollistettu näiden eri tasojen toimintaa. Ensimmäisessä tasossa on muutamia yleisiä laitteita, jotka keräävät tietoa. Toisessa tasossa internet käytävät. Kolmannessa tasossa reunalaskenta tietokoneet ja ylimmässä tasossa palvelinkeskukset sekä pilvet (Jahnke 2020; Telia 2020).



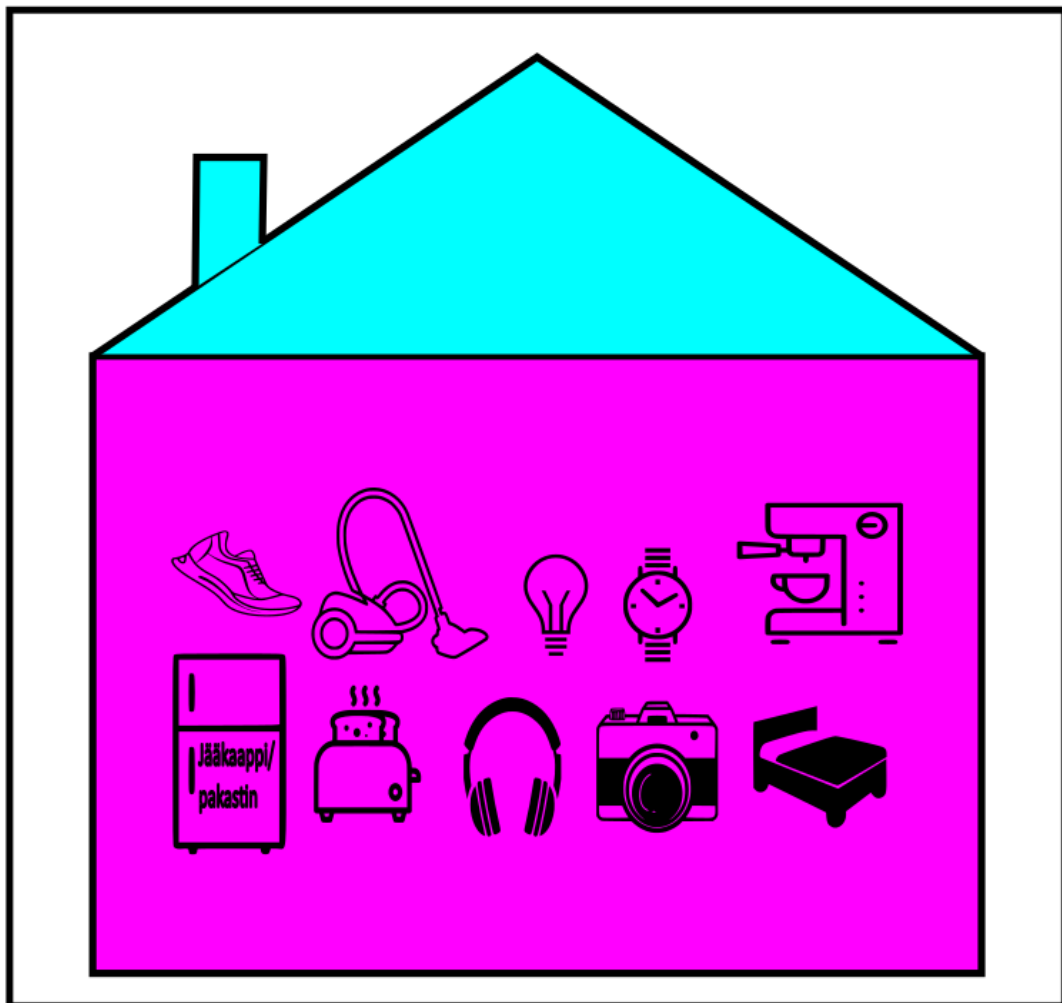
Kuva 2. IoT-järjestelmien tasot (mukailen Telia 2020).

2.1 Esineiden internetin aikajana

Ensimmäinen internetiin yhdistetty esine oli Coca Cola-automaatti vuonna 1982, kun eräs Carnegie Mellonin yliopiston opiskelija halusi juomista. Automaatti oli kuitenkin toisella puolella rakennusta ja hän tiesi, että hänen kanssapöskelijänsä juovat myös paljon Coca Colaa. Hän alkoi sitten miettimään, että olisiko tähän minkäänlaista ratkaisua. Loppujen lopuksi muutaman muun opiskelijan kanssa he onnistuivat yhdistämään automaatin internetiin siten, että se kertoi reaaliaikaisesti juomien saatavuuden sekä niiden lämpötilan (Teicher 2018).

Ensimmäinen virallinen IoT-laite oli puolestaan vuonna 1990 rakennettu leivänpaahdin. Paahdin tunnisti leivän ja osasi aloittaa automaattisesti sen paahdamisen sekä nostaa leivän ylös sen valmistuttua. Tästä meni noin yhdeksän vuotta ennen kuin IoT-termi otettiin ensimmäisen kerran käyttöön Kevin Ashtonin toimesta. Kunnolla IoT:n katsotaan kuitenkin syntyneen vasta 2008 aikoihin, kun internetiin kytkettyjen laitteiden määrä ylitti ihmisten lukumäärän (Empirica 2023).

Vuoden 2022 loppuun mennessä IoT-laitteita oli valmistettu jo noin 43 miljardia. Tästä määrästä internetiin yhteydessä on hieman yli 13 miljardia (Galov 2023). Nykyään IoT-laitteita tulee jatkuvasta lisää ja kuten aikaisemmin todettiin, niin käytännössä mistä tahansa laitteesta tai esineestä voi nykyisin tehdä IoT-laitteen. Kuvassa 3 näkyy muutama yleisiä esineitä, joista on viime vuosien aikana tehty myös IoT-versioita.



Kuva 3. Arkisia esineitä, joista on lähivuosina tehty IoT-versioita (Burgess 2018; Empirica 2023).

2.2 Esineiden internetin haasteet

IoT on tuonut elämän helpottamisen lisäksi myös ikävämpiä asioita ihmisille. Suurin huoli juuri tällä hetkellä on tietoturva. Kaikki mikä on yhteydessä internetiin, voidaan hakkeroida ja se ei tee poikkeusta nykyaikaistenkaan IoT-laitteiden kohdalla. Muutama vuosi takaperin tehdyn tutkimuksen mukaan peräti 89 prosenttia IoT-laitteista lähetti dataa kolmansille osapuolille (Claburn 2023).

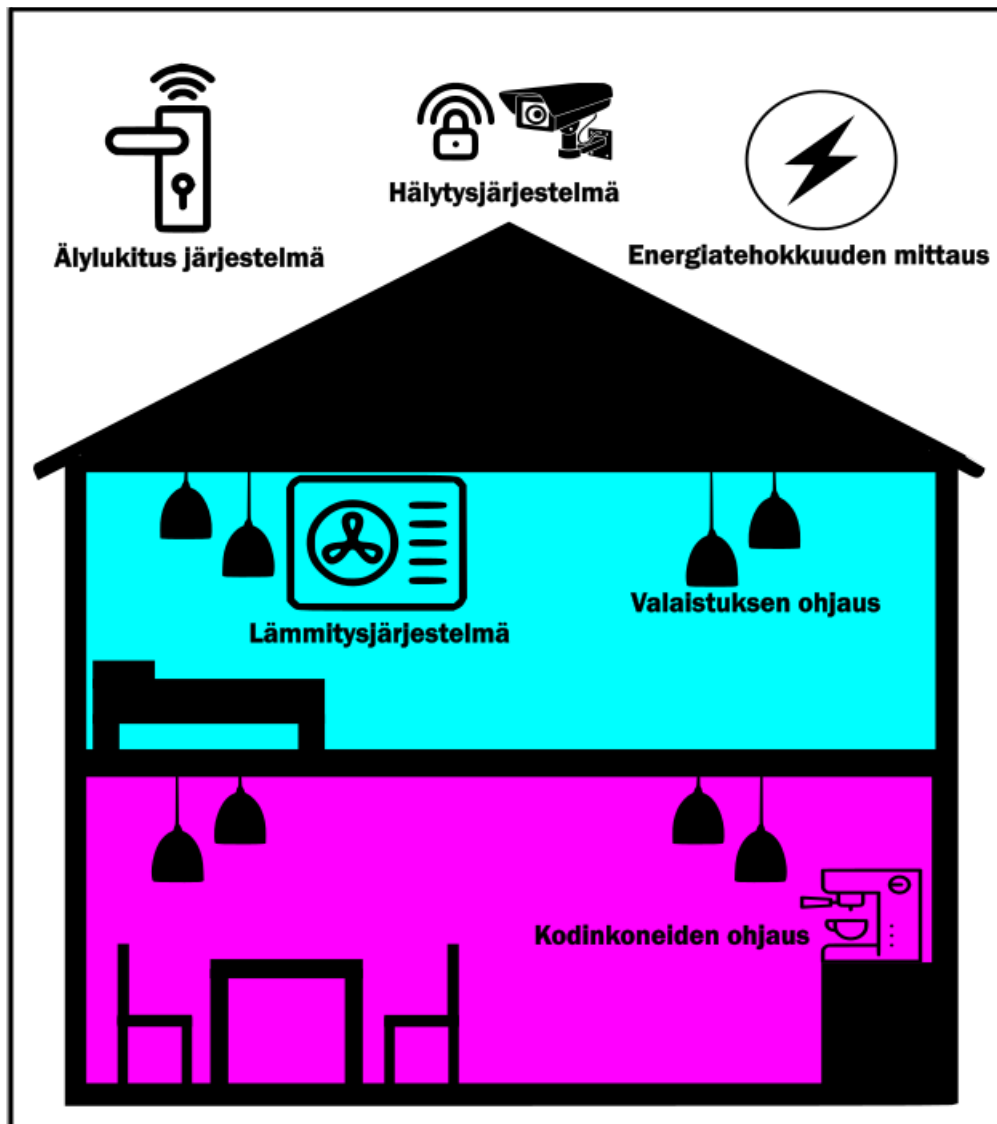
Suurin syy IoT-laitteiden huonoon tietoturvaan se, että niillä on heikot sisäänrakennetut suojaukset tai ei ollenkaan sisäänrakennettua suojausta. Suuremmat yritykset kuten Apple, Google ja Microsoft ovat kuitenkin jo suhteellisen kehittyneitä tietoturvan kanssa, mutta ongelma onkin se, että uusilla yrityksillä, joilla on pienempi budjetti, ei ole varaa tietoturvan kehittämiseen (Trend Micro 2021; Claburn 2023).

Esineiden on useasti sanottu keräävän ja lähettävän turhaa tietoa. Tästä hyvä esimerkki on erään ohjelmistoarkkitehdin havaitsema tilanne, jossa hänen uuninsa sekä mikroaaltouuninsa kytkeytyivät internetiin. IoT-laitteiden pitää yleensä pystyä tarkistamaan, että onko Wi-Fi yhteys saatavilla, jotta ne pystyvät tekemään tehtävänsä. Tätä varten isommilla yrityksillä on omat päätepiteensä, joissa yhteydet tarkastetaan. Ohjelmistoarkkitehdin ostamissa laitteissa tätä ei kuitenkaan ole, vaan ne tarkistavat kolme julkista verkkosivustoa viiden minuutin välein. Nämä verkkosivustot ovat google.com, baidu.cn ja yandex.ru. Tämä ympäri maailmaa tapahtuva yhdistely johtuu siitä, että pienemmillä yrityksillä ei ole resursseja tehdä omia päätepiteitä (Claburn 2023).

IoT-laitteiden tietoturvaan voi vaikuttaa sekä tuotteiden valmistajat että tuotteiden käyttäjät. Valmistajat voivat esimerkiksi nimetä jonkin asiantuntevan henkilön tehtävään, jossa parannetaan suojausta. Sitten hänen ympärilleen voidaan rakentaa tiimi, joka parantaa tietoturvaa. Käyttäjät itse voivat monillakin keinoilla vaikuttaa turvallisuuteen. Näitä keinoja ovat muun muassa Wi-Fin ja internetin suojaaminen, salasanojen vaihtaminen useasti, pilven suojaaminen ja erilaisten viestintäprotokollien valitseminen (Trend Micro 2021).

3 OHJELMOINTIALUSTAT

IoT:ssa ohjelmointialustat ovat sovelluksia, joihin voi kytkeä useita esineitä ja käyttää niitä sitä kautta. Ohjelmointialustojen tarkoituksena on yleisesti auttaa ihmisiä ja varsinkin yrityksiä siten, että tieto siirtyy nopeasti ja vaivattomasti. Alusta toimii IoT-laitteiden ja pilven välikätenä. Toisin sanoen alustan tehtävänä on siis tuoda esineet yhteen paikkaan, josta niitä kaikkia on helppo kontrolloida. Esimerkki tällaisesta tilanteesta voisi olla älykoti, jolloin muun muassa älylamppuja, älylukkoja ja älyturvakameroita kontrolloitaisiin yhdestä sovelluksesta. Tätä on havainnollistettu kuvassa 4 (Rayes ja Salam 2022, s. 179; Sakovich 2023).



Kuva 4. Esimerkki älykodissa olevista järjestelmistä (mukaihen WebNMS 2023).

Ohjelmointialustojen tärkeimpänä tehtävänä on integroida kaikki olennaiset komponentit ja teknologiat yhteiseen, avoimeen monisovellusympäristöön. Alustojen tarjoamiin ominaisuuksiin kuuluu tavallisesti ainakin IoT-laitteiden käyttöönotto, konfigurointi eli asetus, vianmääritys, suojaus, hallinta ja valvonta. Monet alustat tarjoavat myös paljon maksullisia lisäominaisuuksia kuten mahdollisuuden parempaan tietoturvaan tai laitteiden etähallintaan suuremmassa mittakaavassa (Rayes ja Salam 2022, s. 179; Amazon 2023a).

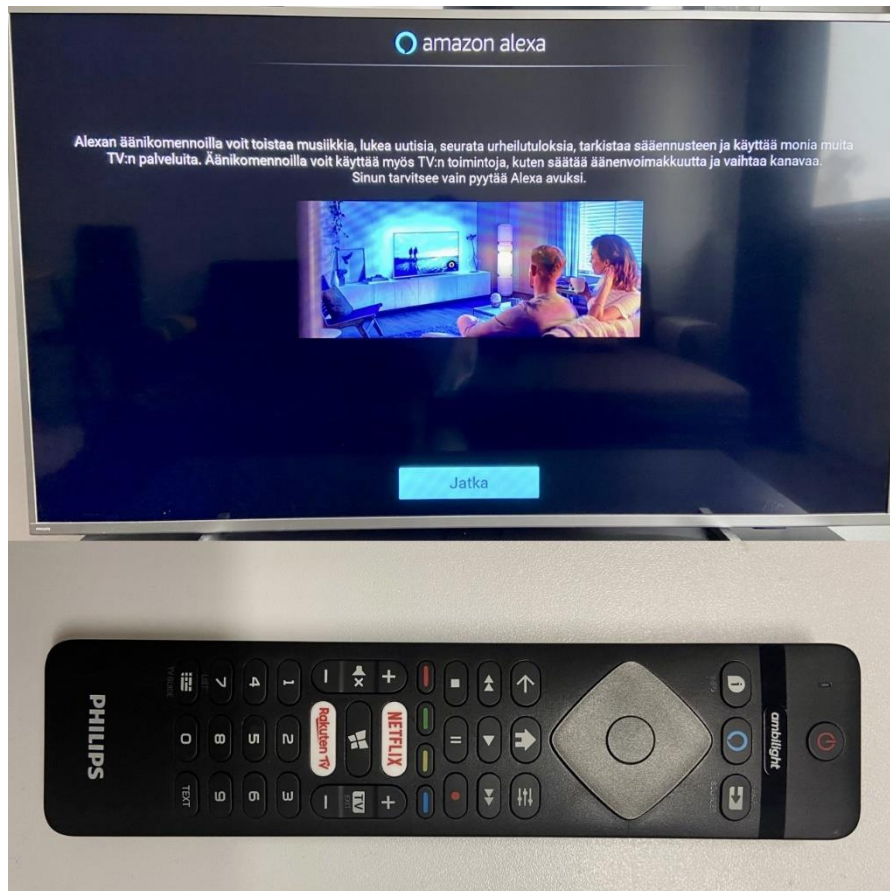
IoT:lle on olemassa todella paljon ohjelmointialustoja. Tarkkaa määrää on hankala sanoa, koska niitä tulee koko ajan lisää ja myös vanhoja alustoja lopetetaan. Statistan mukaan julkisesti saatavilla olevia alustoja oli hieman yli 600 vuonna 2019. Kasvu ei ole kuitenkaan kovin suurta ollut, koska monet alustat ovat vakiinnuttaneet paikkansa todella käytettyinä, joten voidaan olettaa, että alustoja on edelleenkin vähintään noin 600, vaikka tarkkaa tietoa asiasta ei löydykään (Statista 2019).

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi muutama suosittu alusta juuri tällä hetkellä. Monia listauksia tarkastellessani huomasin, että muutama alusta esiintyy jokaisessa listauksessa: Microsoft Azure IoT, Google Cloud IoT sekä AWS IoT. Näistä kuitenkin Googlen tarjoamat palvelut ovat käytännössä vain isommille yrityksille ja kaupungeille, joten päätin jättää sen tarkastelun pois. Sen sijaan lähemmin tarkasteltaviksi valitsin kaksi muuta edellä mainittua ja näiden lisäksi Blynk IoT:n, joka löytyi myös monista listauksista ja, jonka itse tiesin jo etukäteen. Näiden lisäksi muita suosittuja ohjelmointialustoja tällä hetkellä ovat muun muassa: Cumulocity IoT, Cisco IoT, Oracle IoT, Salesforce IoT, IRI Voracity, Particle sekä IBM Watson IoT (Libson 2022; Sakovich 2023; Software Testing Help 2023).

3.1 AWS IoT

AWS eli Amazon Web Services on Amazonin perustama palvelu, joka tarjoaa tällä hetkellä 238 erilaista tuotetta, joista 15 on IoT-alustoja. Näiden lisäksi lähes kaikkia näitä tuotteita voidaan käyttää alustojen lisäosina. AWS:n alustoihin voi lisätä melkein mitä tahansa laitteita, mutta helpointa on pysyä sellaisissa, jotka ovat valmiiksi yhteensopivia. Tätä varten AWS:lla on paljon isoja asiakkaita kuten Volkswagen, Bayer, LG ja Philips, joiden kanssa he yhdessä tekevät laitteita, joissa voidaan hyödyntää AWS:n alustoja sekä

muita tuotteita. Esimerkiksi Philipsin televisiot tarjoavat suoraan mahdollisuuden Alexa ääniohjaukseen, kuten kuvasta 5 näkyy (Amazon 2023b, 2023c, 2023d, 2023e).



Kuva 5. Philipsin televisiot tarjoavat Amazonin kehittämän Alexa ääniohjauksen.

Tässä kappaleessa tutustutaan hieman AWS:n tällä hetkellä mahdollisesti suosituimpaan alustaan: AWS IoT Coreen. Sitä voidaan käyttää muun muassa älykodeissa, sähköautoissa, teollisuuden ohjauksessa sekä liikenteen seurannassa. Mutta käytetään sitä tämän lisäksi myös esimerkiksi maailman suurimpien urheiluliigojen toimesta pelien, pelaajien ja erilaisten tilastojen analysointiin (Amazon 2023d, 2023f).

AWS IoT Core tarjoaa paljon erilaisia mahdollisuuksia, joista tietenkin tärkein on esineiden yhdistäminen pilveen. Pilveen voi yhdistää miljardeja laitteita ja lähettää triljoonia viestejä. Laitteita pystyy hallitsemaan helposti ja laitteet pystyvät kommunikoimaan sekä keskenään että erilaisten AWS:n tarjoamien sovellusten kanssa. Coren mukana tulee jo valmiina monia sovelluksia kuten jo aiemmin mainittu Alexan ääniohjaus ja tämän lisäksi muun muassa koodauksen helpottamiseen tarkoitettuja

paketteja, kirjastoja eri ohjelmointikieliin sekä Amazon Sidewalk integrointi. Amazon Sidewalk on sovellus, joka laajentaa verkkoa. Jos Core olisi käytössä esimerkiksi älykodissa, Sidewalk laajentaisi kotiverkkoa siten, että kotiverkon ulkopuolellakin olevat laitteet pystyvät viestimään muiden laitteiden sekä pilven kanssa (Amazon 2023d, 2023g, 2023h).

Tämän lisäksi Coreen pystyy yhdistämään muita AWS:n tarjoamia sovelluksia kuten aikaisemmin jo mainittiin. Jos oletetaan tilanne, jossa Core on käytössä älykodissa, tekemäni tutkimuksen mukaan hyvä lisäosa voisi olla esimerkiksi AWS IoT Device Defender. Se antaa suojaa internetiin liitetuille esineille. Sen avulla pystyy muun muassa tarkastelemaan laitteiden asetuksia, havaitsemaan poikkeavuuksia ja vastaanottamaan hälytyksiä (Amazon 2023h).

Tiedonsiirtoon AWS tarjoaa monipuolisia vaihtoehtoja. Kotona esineitä voi yhdistää esimerkiksi Wi-Fi:n sekä Bluetoothin avulla. Laitteiden välinen viestintä tapahtuu enimmäkseen MQTT:n tai HTTPS:n kautta tai MQTT:llä WebSockettien yli. Näistä yleisin on MQTT, koska se minimoi koodijalanjäljen laitteissa ja vähentää verkon kaistanleveysvaatimuksia. LoRaWAN on puolestaan suuremmille teollisuuden yrityksille hyvä valinta Wi-Fi:n sijasta, koska se ulottuu huomattavasti pidemmälle. Tämän lisäksi se on myös salattu eikä kuluta paljon energiaa (Amazon 2023d).

AWS IoT Coren hinnoittelusta on vaikea antaa kunnon arvioita, koska se on pay-as-you-go -tyylinen malli eli maksetaan siitä, mitä käyttää. Tein kuitenkin pienen esimerkin käyttäen heidän laskuriaan ja otin vertailukohtaksi Microsoft Azure IoT Hubin kalleimman paketin, joka esitellään kappaleessa 3.3. Tämän mukaan laitoin viestien määräksi 300 miljoonaa päivässä ja viestin kooksi keskimäärin 4 kilobittia. Hinnaksi muodostui noin 8400 dollaria, joka on yli kolminkertainen Azuren tarjoamaan hintaan. AWS:n laskurilla oli helppo tehdä nopeasti laskuja ja huomasinkin, että vaikka se onkin näillä arvoilla kalliimpi, niin sen tarjoama pay-as-you-go -tyyli voi tehdä isoja säästöjä monenlaisiin käyttötarkoituksiin (Amazon 2023j).

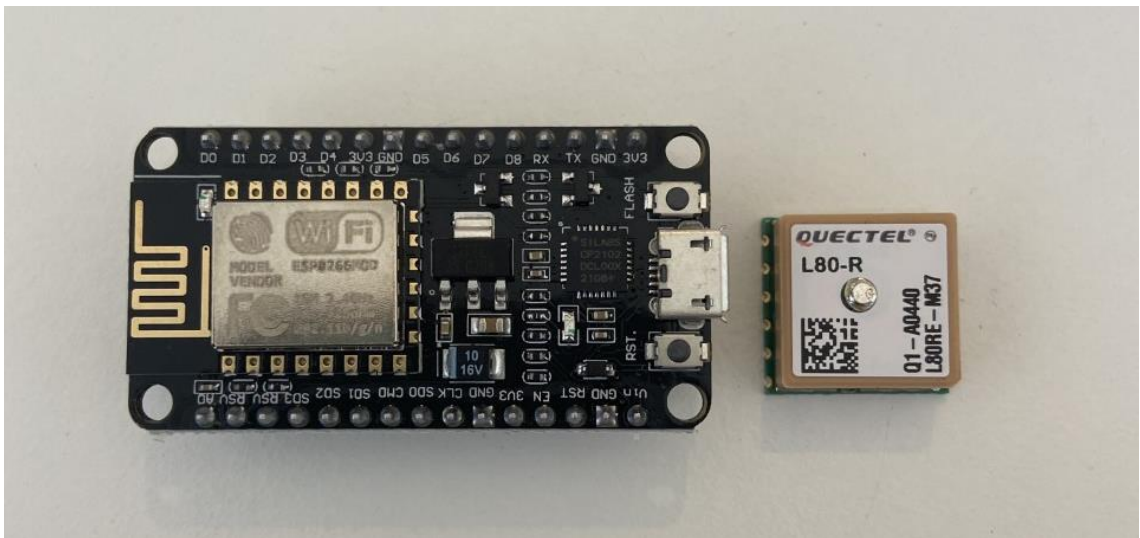
3.2 Blynk IoT

Blynk on suosittu ohjelmointialusta varsinkin älypuhelinien käyttäjille. Sen tarjoamat ohjelmistopakettit sopivat melkein mihin tahansa käyttötarkoitukseen. Niitä käytetään

muun muassa älykodeissa sekä älykaupungeissa. Mutta tämän lisäksi ne sopivat myös harrastelijoille sekä pienemmille ja hieman suuremmillekin yrityksille (Blynk 2023a).

Blynkiä käyttäekseen käyttäjän tai yrityksen pitää tavallisesti itse rakentaa fyysinen laitteisto, mutta Blynk tarjoaa kaiken muun. Blynk tarjoaa mahdollisuuden tehdä koodittomia iOS-, Android- sekä verkkosovelluksia. Tämä on varsinkin IoT-harrastelijoille hyvä, koska sovelluksen valmistuttua, sen voi julkaista helposti esimerkiksi App Storessa tai Google Playssa, josta muut ihmiset voivat myös ottaa sen käyttöön. Tämä mahdollistaa esimerkiksi sellaisen tilanteen, että perheenjäsenistä jokainen pystyy omalla puhelimellaan hallitsemaan älykotia, kun ohjelma on kerran saatu kuntoon (Blynk 2023a).

Blynkiin yhdistettävät fyysiset laitteistot voivat harrastelijoilla olla esimerkiksi mikrokontrollereita, joihin voi yhdistää erilaisia moduuleja. Blynk tukee yli 400 erilaista laitteistomoduaalia, joihin kuuluu muun muassa kaikki Arduinon sekä Raspberry Pi:n moduulit, ja näiden lisäksi esimerkiksi erilaiset ESP8266:t kuten NodeMCU, joka näkyy kuvassa 6 vasemmalla puolella. Tämän tyyppisiin mikrokontrollereihin voi tehdä lukemattomia erilaisia sovelluksia. Kun mikrokontrolleriin yhdistää esimerkiksi kuvassa 6 oikealla puolella näkyvän Quectel L80-R GPS-moduulin ja rakentaa sille Blynkillä yksinkertaisen ohjelman sekä elektroniikalle jonkinlaisen kotelon, käyttäjä pystyy tarkkailemaan esimerkiksi pyöränsä sijaintia (Blynk 2023b).



Kuva 6. NodeMCU-mikrokontrolleri ja Quectel L80-R GPS-moduuli.

Blynkiä on helppo käyttää useissa erilaisissa tilanteissa, koska se tarjoaa todella paljon erilaisia yhdistämistapoja. Tuetut langattomat tavat ovat: WiFi, GSM, 2G, 3G, 4G, LTE ja Bluetooth. Tämän lisäksi harrastelijoille hyviä yhdistämistapoja ovat ainakin sarjaportti sekä USB. Myös Ethernet yhteyteen on mahdollisuus, mikä on varsinkin suuremmille yrityksille hyvä, koska se takaa todella luotettavan internet-yhteyden (Blynk 2022a).

Blynkin hinnoittelu on suhteellisen maltillinen verrattuna muihin tutkimiini alustoihin. Jo ilmaisella versiolla harrastelijat pystyvät tekemään jonkinlaisia prototyyppisiä. Halvin lisäosia sisältävä paketti on Plus-paketti, jonka hinta lähtee 4,99 dollarista kuukaudessa. Sillä harrastelijat pystyvät luomaan jo vähän edistyneempiäkin sovelluksia omaan käyttöön. Pro-paketin hinta lähtee 42 dollarista kuukaudessa ja se on yhteensopiva kaupallisille sovelluksille sekä pienemmille yrityksille. Business-paketti tarjoaa mahdollisuudet käytännössä ihan mihin vaan. Yrityksillä on business-paketin ostettua rajoittamaton käyttö Blynkin ominaisuuksiin ja mahdollisuus myös esimerkiksi brändätyihin IoT-sovelluksiin. Business-paketin hinta vaihtelee alkaen 499 dollarista 1299 dollariin asti. Blynk on huomattavasti edullisempi kuin monet muut alustat, joita olen tutkinut (Blynk 2022b).

3.3 Microsoft Azure IoT

Azure on Microsoftin perustama pilvialusta, johon kuuluu AWS:n tapaan yli 200 tuotetta. Näistä 22 on tehty suoraan IoT-laitteille ja lähes kaikkia muita tuotteita voi käyttää lisäosina IoT:n rakentamisessa. Tässä kappaleessa tutustutaan hieman tarkemmin yhteen Azuren suosituimmista alustoista: Azure IoT Hubiin. Hubia voidaan käyttää muun muassa toimitusketjujen hallinnassa, ennakoivassa kunnossapidossa, älykodeissa sekä lähes kaikissa muissakin teollisuuden sovelluksissa (Microsoft 2022a, 2023a).

Azure IoT Hub tarjoaa melko samanlaiset ominaisuudet kuin AWS IoT Core. Se tarjoaa mahdollisuuden yhdistää laitteet pilveen sekä niistä suojattujen viestien lähettämisen pilveen. Lisäksi se tarjoaa esimerkiksi mahdollisuuden laitekohtaisten tilatietojen tallentamiseen, valmiita kirjastoja suosituimmille ohjelmointikielille sekä mahdollisuuden yhdistellä muita Azuren tuotteita kuten aiemmin todettiin. Näitä tuotteita voisivat olla esimerkiksi Azure Machine learning koneoppimista varten tai Azure OpenAI Service tekoälyä varten. Sovelluksista löytyy myös paljon erilaisia suojaustapoja muun muassa laitteille ja pilvelle (Microsoft 2022b, 2023b).

Azuren alustat tukevat lähes kaikkia tapoja yhdistää laitteita pilveen. Laitteiden ja pilven väliseen kommunikointiin löytyy myös paljon eri protokollia, joita ovat: MQTT, MQTT WebSockettien yli, AMQP, AMQP WebSockettien yli sekä HTTPS. Azuren mukaan HTTPS on näistä heikoin ja sitä tulisi käyttää vain laitteille, jotka eivät tue muita edellä mainittuja kommunikointiprotokollia (Microsoft 2022c).

Taulukossa 1 näkyy Azure IoT Hubin juuri tämänhetkinen hinnoittelu Pohjois-Euroopassa. Hub tarjoaa yhteensä seitsemää erilaista IoT-yksikköä, joista kaikki paitsi Standard Free tarjoavat rajattoman määrän yhdistettäviä laitteita. Taulukkoa katsoessa voisi tulla mieleen kysymys, että miksi Standardin eri tasot ovat kalliimpia kuin Basicin, vaikka niissä on sama viestimäärä sekä viestien koko. Ero tulee siinä, että Standardin mukana tulee lisäosia, joihin kuuluu laitteiden esikatselu, mahdollisuus lähettää pilvestä dataa laitteisiin sekä muutamia lisäsovelluksia: IoT Edge, Device Management, Device Twin ja Module Twin (Microsoft 2023c).

Taulukko 1. Azure IoT Hubin hinnoittelu (Microsoft 2023c).

Azure IoT Hub hinnoittelu	<i>Basic</i>			<i>Standard</i>			
	1	2	3	Free	1	2	3
Hinta kuukaudessa (\$)	10	50	500	0	25	250	2500
Viestien määrä päivässä	400 000	6 000 000	300 000 000	8 000	400 000	6 000 000	300 000 000
Viestien koko (KB)	4	4	4	0.5	4	4	4

4 SUOSITUIMMAT OHJELMOINTIKIELET

Jotta IoT-laitteet toimivat, kuten niiden valmistajat ja omistajat haluavat, tarvitaan ohjelmointiosaamista. IoT-laitteiden ohjelmoijille on tarjolla useita hyviä ohjelmointikieliä. Kaikki tunnetuimmat ja käytetyimmät kielet kuten Python, Java, JavaScript, C ja C++ toimivat moniin sovelluksiin. On myös olemassa jonkin verran uudempia kieliä, joita käytetään jatkuvasti enemmän ja enemmän. Tällaisia ovat esimerkiksi Go ja Swift. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi muutamia yleisesti käytettyjä ohjelmointikieliä ja tarkastellaan sitä, miksi ne ovat hyviä IoT-sovelluksiin (Long 2023).

4.1 Java

Java on yleisesti ottaen suosituin ohjelmointikieli IoT-laitteiden parissa työskenteleville. Javan parhaimpia ominaisuuksia on sen tarjoama kyky koodata kerran ja suorittaa missä tahansa. Eli ohjelmoijan kirjoitettua koodin kerran, sen voi suorittaa millä tahansa laitteella, joka tukee Javaa (Long 2023).

Javassa käytetään olio-ohjelmointia, jonka vuoksi sillä voi kirjoittaa laitteiden lisäksi ohjelmia myös reunalaskentasysteemeille sekä pilvelle. Javalla on myös laajat kirjastot sekä laajennettavat toiminnot, jotka tekevät siitä sopivan IoT-laitteiden ohjelmointiin. 2020 vuonna tehdyn IoT-ohjelmointikielten suorituskykyjen testissä Java oli varsinkin paljon parametreja sisältävissä ohjelmissa nopein ja varmin kieli (Abbade ym. 2020; Long 2023).

4.2 Python

Python on IoT-sovelluksissa laajasti käytetty varsinkin sen takia, koska se on helpoimpia kieliä oppia. Sitä opetetaan monissa korkeakouluissa ja internetistäkin löytyy todella paljon sivuja, joissa ihmiset kyselevät apua sekä auttavat toisiaan. Edellisessä kappaleessa mainitun tutkimuksen mukaan Python ei kuitenkaan ole kovin tehokas kieli varsinkaan silloin, kun parametreja on paljon käsiteltävänä (Abbade ym. 2020; Long 2023).

Pythonin hyviä puolia on edellä mainitun internetistä helposti saatavan tuen lisäksi muun muassa suhteellisen laajat kirjastot sekä se, että sitä voidaan integroida muihin kieliin.

Python on tulkittu kieli, jonka vuoksi se toimii monilla ohjelmointiparadigmoilla. Pythonissa voi Javan tapaan käyttää olio-ohjelmointia ja tämän lisäksi esimerkiksi funktionaalista sekä strukturoitua ohjelmointia. Vaikka Python ei tehokkain kieli olekaan, se on varsinkin pienemmille ja yksinkertaisemmille IoT-sovelluksille todella hyvä vaihtoehto (Long 2023).

4.3 Swift

Swift on suhteellisen uusi ohjelmointikieli. Se on todella erilainen verrattuna kahteen aiemmin mainittuun, koska sillä on todella paljon suppeampi käyttökohte. Se on tarkoitettu yksinomaan Applen valmistamille iOS-laitteille. Itse kuitenkin näen Swiftissä potentiaalia nousta todella käytetyksikin kieleksi, koska Applen laitteet keräävät jatkuvasti lisää suosiota, joka samalla nostaa varmasti myös Swiftin suosiota ohjelmoijien parissa (Apple 2023).

Swiftissä on Pythonin tapaan yksinkertainen syntaksi, joten se on varsinkin aloittelijoille hyvä kieli. Apple on yleisesti tunnettu turvallisuudestaan ja Swiftiäkin he mainostavat turvallisena. Swift rakennettiin heti alusta alkaen todella nopeaksi kieleksi. Kieli muunnetaan optimoiduksi konekoodiksi, joka saa kaiken irti nykyaikaisista laitteistoista. Vaikka Swiftin käyttökohteet eivät hirveän laajat olekaan, sillä on kuitenkin nykyajan markkinoilla oma käyttökohteensa, johon juuri se on paras kieli (Apple 2023).

5 TIEDONSIIRTO

Tässä kappaleessa tutustutaan tämän hetken käytetyimpiin tiedonsiirtotapoihin. Jokainen IoT-laite tarvitsee tiedonsiirtoa, koska tiedon siirtäminen esineistä eteenpäin on koko IoT:n idea. Tämän hetken käytetyimpiä yhteystyyppejä sekä tiedonsiirtoprotokollia näkyy taulukossa 2. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan muutamista niistä hieman tarkemmin. Läpi käytäviksi valitsin enimmäkseen sellaisia, joita mainittiin myös ohjelmointialustojen esittelyiden yhteydessä.

Taulukko 2. IoT:ssa yleisesti käytettyjä tiedonsiirtotapoja (Collin ja Saarelainen 2016, s. 171–189; Mendizábal 2022a).

Yhteystyytit	Bluetooth	Mobiiliverkot	LoRaWAN	NFC	Sigfox	Wi-Fi	Zigbee	Z-Wave	Ethernet
Tiedonsiirtoprotokollat	MQTT	HTTPS	CoAP	DDS	Websocket	AMQP	XMPP	OPC UA	Modbus

5.1 Yhteystyypit

Yhteystyyppien tehtävä on yhdistää laitteet toisiinsa sekä verkkoihin ja pilveen. Niiden avulla IoT-laitteet kommunikoivat toistensa kanssa. Yhteystyyppiä valittaessa on hyvä tutustua hieman erilaisiin tapoihin ja niiden ominaisuuksiin, jotta tietää mikä olisi paras juuri omaan käyttötarkoitukseen. Huomioon otettavia asioita ovat muun muassa lähetettävän tiedon määrä, tiedon suojaus, kustannukset sekä etäisyydet kommunikoivien laitteiden välillä. Seuraavissa kappaleissa käydään lyhyesti läpi Bluetooth, NFC sekä LoRaWan (Collin ja Saarelainen 2016, s. 163–164).

Bluetooth on todella yleisesti käytetty varsinkin arkisissa sovelluksissa. Nykyaikana puhelimissa, tableteissa ja tietokoneissa on lähes poikkeuksetta Bluetooth, joten onkin helppoa yhdistää laitteet Bluetoothin kautta näihin ja ohjata niitä sitä kautta. Se sopii sellaisiin sovelluksiin, joissa laitteiden väliset etäisyydet ovat suhteellisen lyhyet. Bluetooth ei myöskään hirveästi vaadi energiaa. Itsekin käytän silloin tällöin älyranneketta, jonka yhdistän Bluetoothilla puhelimeeni ja en ole huomannut oikeastaan juuri mitään eroa puhelimeni akun kestossa (Mendizábal 2022b).

NFC on vielä huomattavasti lyhyemmän kantaman yhteys kuin Bluetooth. Sitä käytettäessä laitteiden välinen etäisyys voi olla korkeintaan noin 7 senttimetriä. NFC:tä

käytetään esimerkiksi maksukorteissa, joissa on lähimaksuominaisuus. Nykyään maksukortteja saa myös matkapuhelimiin, joten puhelimissakin käytetään nykyisin yleensä NFC teknologiaa (Collin ja Saarelainen 2016, s. 181).

LoRaWan on kahden edellä mainitun vastakohta ainakin etäisyyden suhteen. LoRaWan käyttää matalaa datanopeutta sekä virrankulutusta, joten se on hyvä varsinkin paristo- ja pienakkukäyttöisille IoT-laitteille. Tavallisimmat käyttökohteet sille ovatkin esimerkiksi älykaupungit, teollisuuden-, maatalouden- ja logistiikan sovellukset, koska näissä tarvitaan pidempiä etäisyyksiä sekä hyvää energiatehokkuutta (Collin ja Saarelainen 2016, s. 178).

5.2 Tiedonsiirtoprotokollat

Tiedonsiirtoprotokollien tehtävänä on edellisissä kappaleissa mainittujen yhteistyyppien kautta lähettää sekä vastaanottaa tietoa esineiden ja pilvien välillä. Niiden tehtävänä on tehdä tämä turvallisesti sekä tehokkaasti. Tiedonsiirtoprotokollien välillä on hyvinkin suuria eroja ja useasti varsinkin suurempien yritysten pitää ottaa useampikin protokollia käyttöön. Oikeanlaisten tiedonsiirtoprotokollien avulla esimerkiksi tehtaissa toimivat laitteiden etäohjaukset sekä automaatiojärjestelmät. Seuraavissa kappaleissa selostetaan lyhyesti AMQP sekä MQTT (Collin ja Saarelainen 2016, s. 182–183).

AMQP eli Advanced Message Queuing Protocol on vuonna 2003 julkaistu viestintäprotokolla. Siitä tuli vuonna 2014 ISO/IEC-standardi. Se perustuu viestijonoihin sekä julkaisija-tilaaja-malliin, joka tarkoittaa tilannetta, jossa yhdestä laitteesta lähetetään viesti yhteen paikkaan, josta kaikki laitteet voivat sen lukea. Sen tavoite on, että joka ikinen viesti menee ongelmitta perille. Sitä käyttämällä voi välittää todella suuren määrän pieniä viestejä lyhyessä ajassa. AMQP:n vahvuuksia ovat yksinkertaisuus, varmuus, tietoturva sekä yhteentoimivuus. Tämän protokollan käyttäjiä ovat 3 kappaleessa mainittujen lisäksi muun muassa Google, Nasa sekä monet pankit ympäri maailmaa (Collin ja Saarelainen 2016, s. 188).

MQTT eli Message Queue Telemetry Transport on viestintäprotokolla, josta on tullut hyvin suosittu varsinkin IoT:n parissa. Siitä tuli vuonna 2016 ISO/IEC-standardi. Se on tehty telemetriadatan keräämiseen, etävalvontaan sekä -mittaukseen. MQTT:llä voi kerätä dataa isosta määrästä laitteita ja viedä sen johonkin suurempaan järjestelmään

kuten pilveen. Se ei kuitenkaan toimi laitteiden välisessä keskinäisessä viestinnässä eikä suorassa tiedonsiirrossa useammalle vastaanottajalle. AMQP:n tapaan se perustuu julkaisija-tilaaja-malliin, mutta se ei tue viestijonoja, joten datan lähettäjän sekä vastaanottajan tulee olla tietoisia ja valmiita lähettämään sekä vastaanottamaan viestejä. MQTT:n tavoitteena on luotettava tietovirta ja sitä käytetään enimmäkseen isojen kokonaisuuksien valvontaan kuten valaistuksen hallintaan tai öljyputkien vuodon tarkkailemiseen (Collin ja Saarelainen 2016, s. 187–188).

6 KÄYTTÖKOHTEET

6.1 Nykyajan käyttökohteita

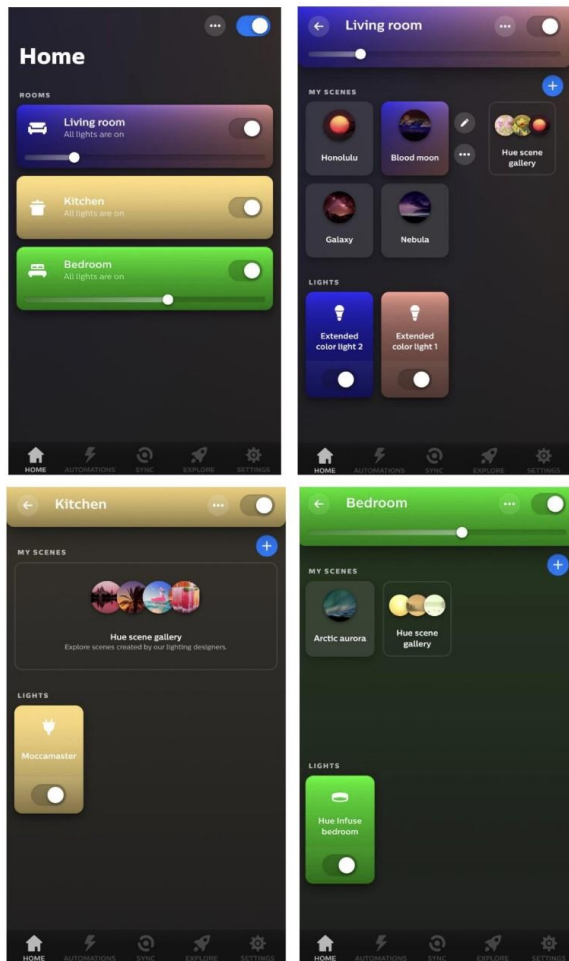
IoT:ta voidaan tätä nykyä soveltaa lähes mihin tahansa esineeseen. Kappaleessa 2.1 esiteltiin jo hieman arkisia esineitä, joista on lähivuosina tehty IoT-versioita. Yleisimpiä ihmisiltä kotoa löytyviä esineitä ovat ainakin älylamput sekä -kaiuttimet. Yhdysvalloissa noin joka kolmannelta asunnosta löytyy jo älykaiutin (Galov 2023).

Seuraavassa kappaleessa esitellään, että mihin kaikkeen Philips Hue -älyvalojärjestelmä pystyy. Vaikka se aluksi suunniteltiin vain valaistukseen, se on kehittynyt huomattavasti lähivuosien aikana. Uuden teknologian ja erilaisten yhteistyökumppaneiden kanssa Philips on kehittänyt siitä järjestelmän, joka sopii lähes jokaiselle, joka on miettinyt haluavansa älykodin.

6.2 Philips Hue

Philips Hue on Philipsin kehittämä älyvalojärjestelmä, jonka pääasiallisena tehtävänä on tuoda kodin valaistus yhden helppokäyttöisen sovelluksen hallittavaksi. Sovelluksen nimi on yksinkertaisuudessaan Philips Hue ja sen toimintaa kaksiossa on havainnollistettu kuvissa 7 ja 8. Hue kasvattaa jatkuvasti suosiotaan, mikä näkyy esimerkiksi siinä, kun menee johonkin elektroniikkakauppaan kiertelemään. Hue tuotteita saa nykyään lähes jokaisesta tällaisesta liikkeestä. Minunkin lähipiirissäni useat omistavat ainakin muutamia Huen valaisimia.

Huen valoihin saa lähes mitä tahansa sävyjä. Joihinkin hieman hintavampiin valaisimiin on tarjolla myös erilaisia efektejä ja jotkin valaisimet pystyvät toimimaan jopa musiikin mukana. Tämä onnistuu siten, että liittää Spotify käyttäjän Hue sovellukseen, jolloin musiikkia soittaessa valot toimivat melkein kuin discovaloina. Sovellus tarjoaa myös muun muassa valaistuksen ajastamista ja valaistuksen automaattista himmentämistä tai kirkastamista tiettyyn kelloon aikaan (Philips 2023a).



Kuva 7. Philips Hue sovellus kaksiossa, jossa on kolme Hue valaisinta sekä yksi älypistoke.



Kuva 8. Makuu- sekä olohuoneen Hue valaistus.

Hue tarjoaa kahta erilaista yhteystapaa esineille: Bluetooth ja Zigbee. Bluetoothin tarjoamat ominaisuudet ovat kuitenkin huomattavasti kapeammat. Bluetoothin avulla sovellukseen voi yhdistää 10 valaisinta. Jos haluaa saada laajemman käyttökokemuksen, kannattaa ottaa Zigbee käyttöön, jolloin tulee ostaa kuvassa 9 näkyvä Hue Bridge. Se tarjoaa liittämismahdollisuuden 50 laitteelle, joihin kuuluu valaisinten lisäksi myös Huen tarjoamia lisätarvikkeita. Hue Bridge yhdistetään Wi-Fi-verkkoon Ethernet-kaapelilla. Kun puhelin, tabletti tai tietokone on samassa verkossa Hue Bridgen kanssa, on yhdistäminen Philips Hue sovellukseen yksinkertaista (Philips 2023b, 2023c).



Kuva 9. Philips Hue Bridge.

Aiemmin mainitun Spotifyn lisäksi Huen yhteistyökumppaneihin lukeutuu esimerkiksi lähes kaikki suurimmat puheohjausta tarjoavat järjestelmät kuten Amazon Alexa, Apple HomeKit, Samsung SmartThings sekä Microsoft Cortana. Yhteistyökumppanit mahdollistavat monia lisäsovelluksia Hueen. Edellä mainitut yhteistyökumppanit tarjoavat nimenomaan ääniohjausta, jolloin käyttäjä saa esimerkiksi olohuoneeseensa valot päälle sanomalla: ”Hei Alexa, laittaisitko olohuoneen valot päälle” (Philips 2023d).

Muihin yhteistyökumppaneihin lukeutuu esimerkiksi Yale, joka tarjoaa älylukitusjärjestelmiä kotiin. Yale tarjoaa Huen kautta yhteensopivuutta Yale Linus - älylukolle. Linus on lukko, joka mahdollistaa avaimettoman kulun. Lukon voi avata usealla tavalla, mutta yleisin tapa on aukaista se puhelinsovelluksella. Sovellusta ei tarvitse edes avata, jos puhelin on yhdistetty samaan Wi-Fi verkkoon kuin Linus-lukko. Ihmisen saavuttua kotipihallensa, puhelin tavallisesti yhdistää kotiverkkoon ja tällöin Linus tunnistaa tämän ja avaa lukituksen automaattisesti. Talon omistaja voi antaa virtuaaliavaimia kenelle vaan ja seurata itse, että kuka ovesta kulkee milloinkin. Hue toimii Linuksen kanssa siten yhteydessä, että se voi omistajan tekemän yksinkertaisen ohjelman mukaan sammuttaa valot kotoa lähtiessä sekä laittaa valot päälle kotiin saapuessa (Philips 2023e; Yale 2023).

Hue myy valaisimien lisäksi myös jonkin verran lisätarvikkeita kuten jatkokaapeleita ulkokäyttöön, älypistokkeita, liiketunnistimia sekä erilaisia kaukosäätimiä. Kaikki nämäkin laitteet ovat suunniteltu valaisimien käyttöön. Liiketunnistimilla pystyy ottamaan valot käyttöön liikkeen mukaan ja sammuttamaan ne automaattisesti jonkin tietyn aikamäärään kuluttua. Kaukosäätimistä ehkä yleisin on Dimmer Switch, joka näkyy kuvassa 10. Se toimii kuin tavallinen valokatkaisin. Sillä voi helposti syyttää, sammuttaa, himmentää sekä kirkastaa valaistusta (Philips 2023f).



Kuva 10. Ylhäällä Hue Dimmer Switch ja alhaalla tavallinen valokatkaisin.

Älypistokkeen Hue teki sitä varten, että mistä tahansa lampusta voisi tehdä älylampun. Älypistoke kytketään Hue sovellukseen ja tämän avulla esimerkiksi 1990-luvulla ostetusta pöytävalaisimesta voi tehdä helposti älyvalaisimen. Tietenkään siihen ei monia värejä voi saada, mutta sitä voi muiden valaisimien tapaan ohjata Hue sovelluksesta (Philips 2023g). Ihmiset ovat kuitenkin huomanneet, että älypistoketta voi käyttää paljon muuhunkin. Eräs kaverini käyttää tätä aamukahvin ajastamiseen (katso kuva 11), jolloin hän herää siihen, että kahvi on joka aamu valmiina kello 8:00.



Kuva 11. Älypistoketta hyödynnetty aamukahvin ajastamiseen.

7 ESINEIDEN INTERNETIN TULEVAISUUS

Kuten jo aikaisempien kappaleiden osalta on saattanut huomata, esineiden internet on nykyaikaa ja se on tullut jäädäkseen. Jatkuvasti tulee nähtyä ihmisillä yhä enemmän ja enemmän älyrannekkeita ja -kelloja. Uutisia lukiessa puolestaan törmää jatkuvasti uusiin artikkeleihin itseohjautuvista autoista. Varsinkin itseohjautuvien autojen kehittymisen nopeus on saanut minutkin huomaamaan kuinka suuri potentiaali IoT:lla on.

Jatkuvasti kehittyvän osaamisen ansiosta laitteista voidaan tehdä koko ajan entistä älykkäämpiä. Olen nyt jo nähnyt esimerkiksi sellaisia jääkaappeja, jotka osaavat kertoa, että onko maito esimerkiksi vähissä jääkaapista. Jotkut jääkaapit osaavat jopa lisätä tämän suoraan ostoslistaan. Uskon, että ei mene kovinkaan kauaa, kun jääkaappi osaa jo itse tilata maidon jostain sovelluksesta.

Yksi hieman pohdittu uudistus nykyaikaan on tilanne, jossa tietoja ei vietäisi niin paljon pilveen, vaan tieto prosessoitaisiin lähempänä tiedon keräämispaikkaa eli jo reunalaskentasysteemeissä. Tämä voisi nopeuttaa monenlaisia prosesseja, kun päätöksiä ja toimintoja voitaisiin tehdä viiveettömämmin. Tällaisessa tilanteessa pilveen tuotaisiin siis vähemmän tietoa, jolloin myös pilveen käytettävät kustannukset pienentyisivät (Collin ja Saarelainen 2016, s. 214–215).

Jos tulevaisuutta katsotaan numeroiden perusteella, on arvioitu, että vuoteen 2030 mennessä noin 30 miljardia IoT-laitetta on yhdistetty internetiin. Tällä hetkellä niitä on noin 13 miljardia, joten nykyinen määrä tulisi yli kaksinkertaistumaan seitsemässä vuodessa. Tästä määrästä iso osa menee teollisuuden käyttöön, koska teollisuudessa on tällä hetkellä menossa ”neljäs aikakausi”, jota kutsutaan nimellä Teollisuus 4.0. Sen tarkoituksena on ottaa teollisuuteen käyttöön esineiden internet ja paljon muitakin uusia teknologioita (Zezulka ym. 2016; Galov 2023).

Teollisuuden tapaan laitteiden määrä kasvaa myös tavallisten kuluttajien parissa jatkuvasti. Tällä hetkellä keskimääräinen internetiin yhdistettävien laitteiden määrä ihmisellä on noin 3,6. Pohjois-Amerikassa keskiarvo on jo yli 13 laitetta (Galov 2023). Minä tein omista esineistäni laskun ja sain tulokseksi yhdeksän, joista viisi on IoT-laitteita. Vielä kolme vuotta sitten minulla ei ollut yhtään IoT-laitetta ja tavallisten internetiin yhdistettävien laitteidenkin määrä oli vain kolme.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä käytiin läpi tiivistetysti ja muutamia esimerkkejä katsoen läpi esineiden internetin nykyhetki. Aluksi tutustuttiin hieman siihen, että mitä esineiden internet on. Sen jälkeen tutustuttiin yleisesti käytettyihin ohjelmointialustoihin, ohjelmointikieliin ja tiedonsiirtotapoihin. Lopuksi käytiin vielä käytännön esimerkkejä läpi ja pohdittiin hieman tulevaisuuden näkymiä.

Useat yritykset kuten Amazon ja Microsoft tarjoavat laadukkaita IoT-alustoja. Alustojen tarjoajat tekevät usein yhteistyötä muiden IoT-palveluja tuottavien yritysten kanssa, minkä ansiosta on pystytty tuottamaan laadukkaita ja helppokäyttöisiä tuotteita ja palveluita kuluttajille. Varsinkin lähivuosina tuotteet ovat keränneet lisää suosiota ja yhä useammilta ihmisiltä löytyy kotoa jonkinlaisia internetiin yhdistettäviä esineitä.

IoT-laitteiden toimintojen toteutuksiin on tarjolla todella paljon erilaisia vaihtoehtoja. Ohjelmointikieliä sekä tiedonsiirtotapoja on useita ja yleisesti IoT-sovellukset tukevat useampaa kuin yhtä ohjelmointikieltä tai tiedonsiirtotapaa. Tämän vuoksi tuotteita ja palveluita voidaan valmistaa koko ajan helpommin, kun on tarjolla useita hyviä vaihtoehtoja. Näitäkin kehitetään koko ajan lisää, mikä tuo vielä enemmän mahdollisuuksia tulevaisuutta ajatellen.

Tulevaisuus näyttää esineiden internetin osalta valoisalta. Palveluiden tuottajat lisääntyvät jatkuvasti ja markkinoille tulee koko ajan uusia tuotteita. Tuntuu siltä, että valmistajilta eivät ideat lopu kesken ja se on hyvä asia. Esineiden internet on tällä hetkellä todella kiehtova asia ja jään odottamaan innolla, mitä tulevaisuus tuo tullessaan.

LÄHDELUETTELO

- Abbade, L. R., da Cruz, M. A. A., Rodrigues, J. J. P. C., Lorenz, P., Rabelo, R. A. L. & Al-Muhtadi, J., 2020. Performance comparison of programming languages for Internet of Things middleware. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies* [verkkodokumentti], 31 (12), e3891. Saatavissa: <https://onlinelibrary-wiley-com.pc124152.oulu.fi:9443/doi/full/10.1002/ett.3891> [Viitattu 14.2.2023].
- Amazon, 2023a. *AWS IoT Core Getting Started - Amazon Web Services* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://aws.amazon.com/iot-core/getting-started/?nc=sn&loc=5&dn=1> [Viitattu 18.2.2023].
- Amazon, 2023b. *Cloud Products* [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://aws.amazon.com/products/?hp=tile&so-exp=below&aws-products-all.sort-by=item.additionalFields.productNameLowercase&aws-products-all.sort-order=asc&awsfree%3AInvent=*all&awsfree%20Tier%20Type=*all&awsf.tech-category=tech-category%23iot [Viitattu 19.2.2023].
- Amazon, 2023c. *IoT for Connected Homes | Home Automation, Home Security & Monitoring, Home Networking | AWS IoT* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://aws.amazon.com/iot/solutions/connected-home/?nc=sn&loc=3&dn=4> [Viitattu 19.2.2023].
- Amazon, 2023d. *AWS IoT Core* [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://aws.amazon.com/iot-core/?did=ap_card&trk=ap_card [Viitattu 19.2.2023].
- Amazon, 2023e. *IoT Device Management - AWS IoT Device Management - Amazon Web Services* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://aws.amazon.com/iot-device-management/?nc=sn&loc=2&dn=4> [Viitattu 19.2.2023].
- Amazon, 2023f. *AWS for Sports | Customer Case Studies | AWS* [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://aws.amazon.com/sports/case-studies/?aws-sports-cards.sort-by=item.additionalFields.sortOrder&aws-sports-cards.sort-order=desc&awsf.aws-sports-filter-category-content-type=*all&awsf.aws-sports-filter-sport-type=*all [Viitattu 20.2.2023].

- Amazon, 2023g. *AWS IoT Core Getting Started - Amazon Web Services* [verkkodokumentti]. Available from: <https://aws.amazon.com/iot-core/getting-started/?nc=sn&loc=5&dn=1> [Viitattu 19.2.2023].
- Amazon, 2023h. *Amazon.com: Amazon Sidewalk: Amazon Devices & Accessories* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.amazon.com/Amazon-Sidewalk/b?ie=UTF8&node=21328123011> [Viitattu 19.2.2023].
- Amazon, 2023i. *IoT Security Management – AWS IoT Device Defender – Amazon Web Services* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://aws.amazon.com/iot-device-defender/?nc=sn&loc=2&dn=5> [Viitattu 19.2.2023].
- Amazon, 2023j. *Securely Connect IoT Devices – AWS IoT Core Pricing – Amazon Web Services* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://aws.amazon.com/iot-core/pricing/?nc=sn&loc=4> [Viitattu 19.2.2023].
- Apple, 2023. *Swift - Apple Developer* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://developer.apple.com/swift/> [Viitattu 17.3.2023].
- Blynk, 2022a. *Blynk for Developers* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://blynk.io/developers> [Viitattu 18.2.2023].
- Blynk, 2022b. *Pricing | Blynk IoT Platform* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://blynk.io/pricing> [Viitattu 18.2.2023].
- Blynk, 2023a. *Introduction - Blynk Documentation* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://docs.blynk.io/en/> [Viitattu 18.2.2023].
- Blynk, 2023b. *Supported Boards - Blynk Documentation* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://docs.blynk.io/en/blynk.edgent-firmware-api/supported-boards> [Viitattu 18.2.2023].
- Burgess, M., 2018. *What is the Internet of Things? WIRED explains | WIRED UK* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.wired.co.uk/article/internet-of-things-what-is-explained-iot> [Viitattu 2.2.2023].

- Claburn, T., 2023. *Smart ovens do dumb stuff to check for Wi-Fi availability • The Register* [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.theregister.com/2023/01/26/smart_ovens_do_dumb_stuff/ [Viitattu 28.2.2023].
- Collin, J. & Saarelainen, A., 2016. *Teollinen internet*. Talentum.
- Empirica, 2023. *Mikä on IoT? Esineiden internet yksinkertaisesti selitettynä* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.empirica.fi/iot/> [Viitattu 2.2.2023].
- Galov, N., 2023. *How Many IoT Devices Are There in 2023?* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://techjury.net/blog/how-many-iot-devices-are-there/#gref> [Viitattu 9.2.2023].
- Jahnke, A., 2020. *The 4 Stages of IoT Architecture | Digi International* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.digi.com/blog/post/the-4-stages-of-iot-architecture> [Viitattu 16.2.2023].
- Libson, S., 2022. *Best Internet of Things (IoT) Platforms 2022* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.kellton.com/kellton-tech-blog/best-iot-platforms> [Viitattu 2.2.2023].
- Long, M., 2023. *Top Programming Languages For Internet Of Things (IoT) Development - Groove Technology - We Build Amazing Software For Your Business* [verkkodokumentti]. 2022. Saatavissa: <https://groovetechnology.com/blog/top-programming-languages-for-iot/> [Viitattu 28.1.2023].
- Mendizábal, I., 2022a. *IoT Communication Protocols—IoT Data Protocols - Technical Articles* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/internet-of-things-communication-protocols-iot-data-protocols/> [Viitattu 14.3.2023].
- Mendizábal, I., 2022b. *IoT Communication Protocols—Network Protocols - Technical Articles* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/internet-of-communication-communication-protocols-network-protocols/> [Viitattu 16.3.2023].

- Microsoft, 2022a. *IoT concepts and Azure IoT Hub* | *Microsoft Learn* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-concepts-and-iot-hub> [Viitattu 23.2.2023].
- Microsoft, 2022b. *Concepts overview for Azure IoT Hub* | *Microsoft Learn* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-hub-devguide> [Viitattu 23.2.2023].
- Microsoft, 2022c. *Azure IoT Hub communication protocols and ports* | *Microsoft Learn* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-hub-devguide-protocols> [Viitattu 20.2.2023].
- Microsoft, 2023a. *What is Azure—Microsoft Cloud Services* | *Microsoft Azure* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-azure/> [Viitattu 23.2.2023].
- Microsoft, 2023b. *Directory of Azure Cloud Services* | *Microsoft Azure* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://azure.microsoft.com/en-us/products/> [Viitattu 23.2.2023].
- Microsoft, 2023c. *Pricing—IoT Hub* | *Microsoft Azure* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://azure.microsoft.com/en-gb/pricing/details/iot-hub/> [Viitattu 20.2.2023].
- Philips, 2023a. *Tunnelmaa älyvalaistuksella: Bluetooth ja silta* | *Philips Hue FI* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.philips-hue.com/fi-fi/explore-hue/propositions/personal-mood-lighting> [Viitattu 5.3.2023].
- Philips, 2023b. *Miten älyvalaistus toimii?* | *Philips Hue FI* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.philips-hue.com/fi-fi/explore-hue/how-it-works> [Viitattu 6.3.2023].
- Philips, 2023c. *How to set up a Hue Bridge* | *Philips Hue FI* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.philips-hue.com/fi-fi/support/connect-hue-product/accessories/hue-bridge> [Viitattu 6.3.2023].

- Philips, 2023d. *Works with Philips Hue | Philips Hue FI* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.philips-hue.com/fi-fi/explore-hue/works-with> [Viitattu 5.3.2023].
- Philips, 2023e. *Philips Hue -yhteensopivat älykotilaitteet | Philips Hue FI* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.philips-hue.com/fi-fi/explore-hue/works-with/smart-home> [Viitattu 6.3.2023].
- Philips, 2023f. *Philips Hue -älyvalaistustarvikkeet | Philips Hue FI* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.philips-hue.com/fi-fi/products/smart-light-accessories?page=2&sort=relevance> [Viitattu 6.3.2023].
- Philips, 2023g. *Hue Älypistoke | Philips Hue FI* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.philips-hue.com/fi-fi/p/hue-alypistoke/8719514342309> [Viitattu 6.3.2023].
- Rayes, A. & Salam, S., 2022. *Internet of things from hype to reality: the road to digitization*. 3rd ed. Springer.
- Sakovich, N., 2023. *10 Best IoT Platforms for 2023 | SaM Solutions* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sam-solutions.com/blog/top-iot-platforms/> [Viitattu 29.1.2023].
- Software Testing Help, 2023. *10 Best IoT Platforms To Watch Out In 2023* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.softwaretestinghelp.com/best-iot-platforms/> [Viitattu 11.2.2023].
- Statista, 2019. *Number of IoT platforms worldwide 2015-2019 | Statista* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.statista.com/statistics/1101483/global-number-iot-platform/> [Viitattu 17.2.2023].
- Teicher, J., 2018. *The little-known story of the first IoT device - Industrious* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/> [Viitattu 15.2.2023].

- Telia, 2020. *Näin yrityksesi voi hyödyntää reunalaskentaa* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.telia.fi/yrityksille/artikkelit/artikkeli/nain-yritykset-voivat-hyodyntaa-reunalaskentaa> [Viitattu 12.2.2023].
- Trend Micro, 2021. *IoT Security Issues, Threats, and Defenses - Security News* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/news/internet-of-things/iot-security-101-threats-issues-and-defenses> [Viitattu 14.2.2023].
- WebNMS, 2023. *Smart Home | WebNMS IoT Platform| Internet of Things* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.webnms.com/iot/smart-buildings-home-automation.html> [Viitattu 23.3.2023].
- Yale, 2023. *Yale Linus -älylukko | Yale* [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.yalehome.com/fi/fi/products/smart-locks/yale-linus> [Viitattu 6.3.2023].
- Zeulka, F., Marcon, P., Vesely, I. & Sajdl, O., 2016. Industry 4.0 – An Introduction in the phenomenon. *IFAC-PapersOnLine*, 49 (25), 8–12.