

Sami Pylkkänen

Kotiautomaatiojärjestelmien yhteensopivuusongelmat

Tietotekniikan
Pro gradu -tutkielma
6. joulukuuta 2023

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Kokkolan yliopistokeskus Chydenius

Tekijä: Sami Pylkkänen

Yhteystiedot: spylkkanen@live.fi

Puhelinnumero: 040-513 4179

Ohjaaja: Ismo Hakala

Työn nimi: Kotiautomaatiojärjestelmien yhteensopivuusongelmat

in English: Smart Home devices compatibility issues

Työ: Tietotekniikan Pro gradu -tutkielma

Sivumäärä: 75

Tiivistelmä: Kotiautomaatio on merkittävä Internet of Things (IoT) -sovellusalue, joka keskittyy kodin laitteiden ja järjestelmien automaattiseen hallintaan ja ohjaukseen. Se sisältää erilaisia toimintoja ja laitteita, kuten valaistuksen, lämmityksen, turvajärjestelmät ja viihdejärjestelmät. Kotiautomaatioratkaisut ovat yleensä valmiita paketteja, sisältäen keskittimen, toimilaitteita ja valmistajakohtaisen mobiilisovelluksen. Tutkimukset ovat osoittaneet kotiautomaation haasteita, erityisesti teknologioiden pirstoutumisen ja yhteensopivuuden suhteen. Tämä työ tarjoaa yleiskatsauksen kotiautomaation sovellusalueista, esitellen suurten laitevalmistajien järjestelmiä ja laitteita sekä valmistajariippumattomia alustoja. Työssä kuvataan myös kotiautomaatiojärjestelmän arkkitehtuuria ja keskeisiä tiedonsiirtoprotokollia. Lisäksi käsitellään kotiautomaatiojärjestelmien integraation ja yhteensopivuuden ongelmia sekä ehdotettuja ratkaisumalleja, kuten Matter-tekniologiaa. Työ päättyy käytännönläheiseen esimerkkiin, jossa älyteknologioiden integraatio tuottaa lisäarvoa kodin asukkaille.

Avainsanat: Kotiautomaatio, IoT, yhteensopivuus, IEEE 802.11, IEEE 802.15, WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Thread, Matter

Abstract: Smart Home is a significant application area in the Internet of Things (IoT), focusing on the automatic management and control of home devices and systems. It encompasses various functions and devices, such as lighting, heating, security systems, and entertainment systems. Smart Home solutions are typically ready-made packages, including a central unit, actuators, and a manufacturer-specific mobile application. Research has highlighted challenges in home automation, especially regarding the fragmentation and compatibility of technologies. This work provides an overview of home automation application areas, presenting systems and devices from major manufacturers as well as manufacturer-independent platforms. It also describes the architecture of home automation systems and key data transfer protocols. Furthermore, it addresses the problems of integration and compatibility in

home automation systems and proposed solutions, such as Matter technology. The work concludes with a practical example where the integration of smart technologies provides significant added value to home residents.

Keywords: Smart Home, IoT, compatibility, IEEE 802.11, IEEE 802.15, WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Thread, Matter

Copyright © 2023 Sami Pylkkänen

All rights reserved.

Sanasto

6LoWPAN	IPv6over Low-Power Wireless Personal Area Networks
AES	Advanced Encryption Standard
API	Application Programming Interface
ASK	Amplitude Shift Keying
BAN	Body Area Network
BLE	Bluetooth Low Energy
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
CCMP	Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol
CoAP	Constrained Application Protocol
CoRE	Constrained RESTful Environments
DTLS	Datagram Transport Layer Security
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
IETF	The Internet Engineering Task Force
IHC	Intelligent House Control
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet protocol version 6
J-PAKE	Password Authenticated Key Exchange by Juggling
JSON	JavaScript Object Notation
M2M	Machine to Machine
MeshCoP	Mesh Commissioning Protocol
MQTT	Message Queueing Telemetry Transport
O-QPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying

POE	Power over Ethernet
RFC	Request For Comments
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio frequency identification
SOA	Service Oriented Architecture
SOAP	Simple Object Access Protocol
SSL	Secure Sockets Layer
TCP	Transmission Control Protocol
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TLS	Transport Layer Security
UDP	User Datagram Protocol
WBAN	Wireless Body Area Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
WLAN	Wireless local area network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
WSN	Wireless sensor network
XML	Extensible Markup Language

Sisällys

Sanasto	i
1 Johdanto	1
2 Kotiautomaatio	3
2.1 Kotiautomaatiojärjestelmien sovelluskohteet	5
2.1.1 Luokittelu käyttökohteen perusteella	7
2.1.2 Kodin automaation tasot	9
2.2 Kotiautomaatiojärjestelmän toimintaperiaate	10
2.2.1 Arkkitehtuuri	10
2.3 Kotiautomaatiojärjestelmät	16
2.3.1 Valmistajakohtaiset ekosysteemit	18
2.3.2 Valmistajariippumattomat alustat	21
2.3.3 Valmistajakohtaiset alustaekosysteemit	24
3 Kotiautomaation tiedonsiirtoteknologiat	29
3.1 Tiedonsiirtoteknologiat	29
3.2 Teknologioiden soveltuvuus kotiautomaatioon	37
4 Kotiautomaation haasteet	41
4.1 Kotiautomaation haasteet	42
4.2 Kotiautomaation yhteensopivuusongelma	43
5 Esimerkki kotiautomaatioratkaisu	52
5.1 Kodin älyteknologiat	52
5.2 Valittujen älyratkaisuiden haasteet kotitaloudelle	57
5.3 Ratkaisu lämmityksen seurantaan	59
5.4 Johtopäätökset	65
6 Yhteenveto	67
Lähteet	68

1 Johdanto

Kotiautomaatio on yksi lupaavimmista Internet of Things (IoT) -sovelluskohteista. Kotiautomaatio viittaa teknologiaan, joka mahdollistaa kodin laitteiden ja järjestelmien automaattisen hallinnan ja ohjauksen. Se kattaa monenlaisia toimintoja ja laitteita, kuten valaistuksen, lämmityksen, turvajärjestelmät ja viihdejärjestelmät. Useimmissa kotitalouksissa käytetty kotiautomaatioratkaisu on tyypillisesti jokin valmis ratkaisu, joka sisältää keskittimen, toimilaitteita ja valmistajakohtaisen mobiilisovelluksen.

Kotiautomaatiolle on määritelty luokitukset, joilla määritellään kuinka pitkälle automaatio on viety kotitaloudessa [70]. Tutkimuksissa on myös esitetty kotiautomaatioon liittyviä haasteita, joista merkittävimmät liittyvät kotiautomaatiojärjestelmien teknologioiden pirstoutumiseen ja yhteensopivuuteen [60]. Tällä hetkellä kotiautomaatiojärjestelmissä käytetään useita erilaisia tiedonsiirtoprotokollia ja tietomalleja, jotka eivät ole yhteensopivia muiden kuin valmistajan oman järjestelmän kanssa. Tutkijat ja yritykset ovat yhdessä alkaneet selvittämään yhteensopivuusongelmaa eri näkökulmista, tavoitteena on määritellä kotiautomaatiojärjestelmiin yhteensopivia tiedonsiirtoprotokollia ja tietomalleja.

Tämän työn tavoitteena on antaa yleiskatsaus kotiautomaatiojärjestelmien sovel-
lusalueista sekä esitellä muutamien suurten laitevalmistajien, kuten Samsung Smart Things, Google Nest ja Philips Hue, tarjoamia järjestelmiä ja niiden laitteita. Lisäksi työssä esitellään Home Assistant ja openHAB valmistajariippumattomat alustat, joiden kehitys ja ylläpito perustuu kotiautomaatioyhteisön yhteiseen työpanokseen. Näiden lisäksi esitellään myös valmistajakohtaiset alustaekosysteemit Cozify ja Homey, jotka ovat kaupallistettuja älyteknologia-alustoja ilman omia valmistajakohtaisia laitteita.

Työssä esitellään kotiautomaatiojärjestelmän arkkitehtuuri käyttäen apuna referenssiarkkitehtuuria. Referenssiarkkitehtuuria hyödyntäen kuvataan kotiautomaatiojärjestelmän komponentit ja toimintaperiaate [60], jotka mahdollistavat älykkään kodin hallinnan ja valvonnan.

Lisäksi työ tarjoaa katsauksen kotiautomaatiojärjestelmissä tyypillisesti käytetyistä tiedonsiirtoprotokollista ja niiden ominaisuuksista. Esimerkiksi WiFi, Blue-

tooth, Zigbee, Thread ja Z-Wave ovat keskeisiä protokollia, jotka mahdollistavat toimilaitteiden kommunikoinnin kotiautomaatiojärjestelmissä. Työ antaa myös käsityksen tiedonsiirtoprotokollien soveltuvuudesta eri tarkoituksiin kuten videovalvontaan tai valaistuksen ohjaukseen.

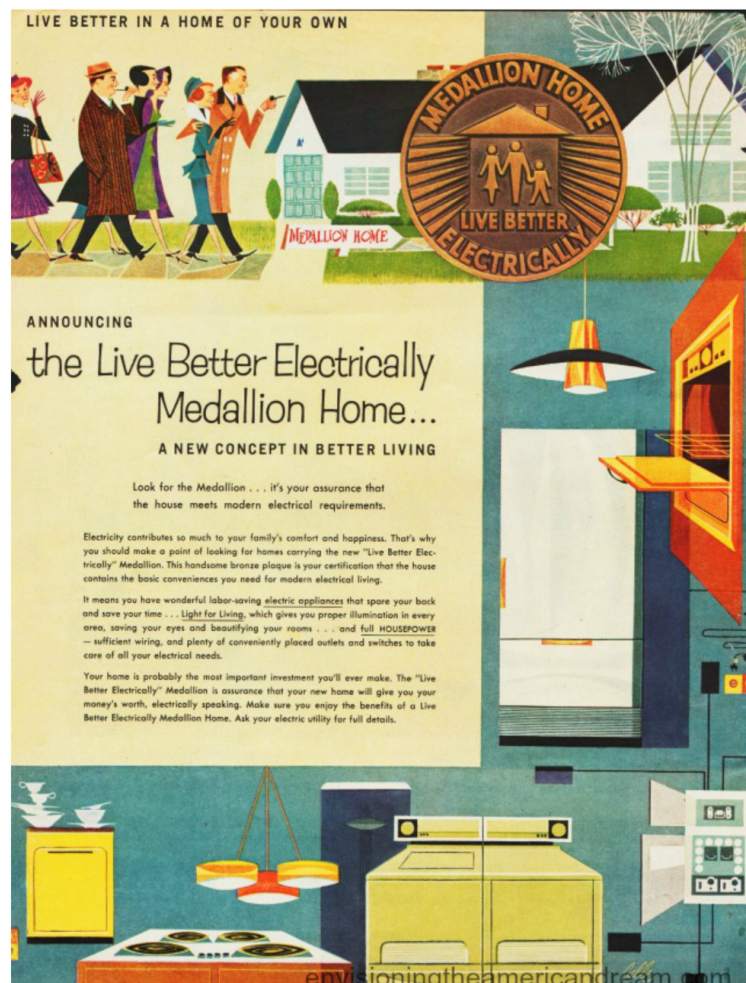
Työn tutkimusongelma keskittyy kuvaamaan kotiautomaatiojärjestelmien ja laitteiden integroitumiseen liittyvää yhteenliitettävyysoongelmaa [60] ja tähän johtaneita syitä. Ongelmien kuvaamisen lisäksi tässä työssä kuvataan tutkimuksissa ehdotettuja ratkaisumalleja, joilla voidaan vähentää yhteenliitettävyysoongelmaa. Tällaisia voimakkaasti kehittyviä teknologioita on Matter, jonka tarkoituksena tarjota ratkaisuja kotiautomaatiojärjestelmien yhteenliitettävyysoongelmiin.

Työn lopussa tutkimusongelmana kuvattua yhteensopivuusongelmaa käsitellään käytännön läheisen esimerkin avulla, jossa kodin älyteknologioiden yhteenliittämisellä voidaan tuottaa merkittävää lisäarvoa kodin asukkaille.

2 Kotiautomaatio

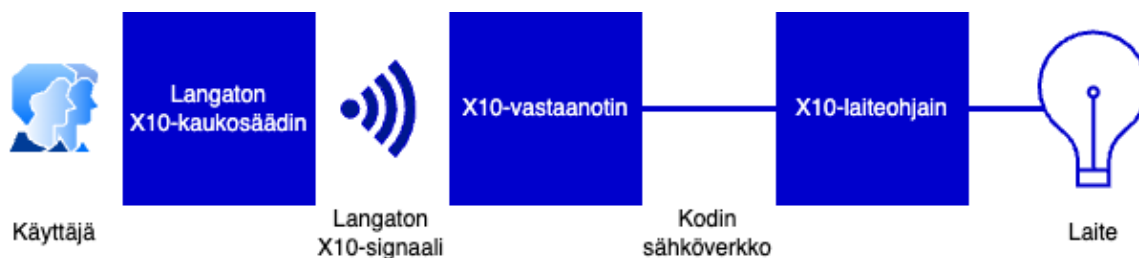
Kotiautomaation juuret voidaan jäljittää 1900-luvun alkupuolelle, jolloin ensimmäiset kodin laitteet, kuten pölynimurit ja sähköllä toimivat liedet, alkoivat ilmestyä kotitalouksiin.

Vuonna 1956 General Electric käynnisti *Live Better Electrically* kampanjan (kts. kuva 2.1), joka kuvasti uuden aikakauden *American Dream* kotitaloutta, jossa kaikki kodinkoneet toimivat sähköllä. Toki laitteet eivät kommunikoineet keskenään millään tavalla, mutta laitteet vapauttivat ihmisten aikaa arjessa muihin asioihin ja sitä kautta paransivat elämisen laatua.



Kuva 2.1: General Electric *Live Better Electrically*[23][56]

1970-luvulla kehitettiin ensimmäiset kotiautomaatiojärjestelmät, jotka perustui-
vat X10-protokollaan [42][5]. X10 protokolla mahdollisti laitteiden ohjauksen ja val-
vomisen sähköverkon kautta [67]. Vaikka nämä varhaiset järjestelmät olivat melko
rajoittuneita ja kalliita, ne kuitenkin edustivat ensimmäisiä askeleita kohti älykkäitä
koteja (kts. kuva 2.2). Tämän jälkeen kotiautomaation kehitys on edennyt huimaa
vauhtia kohti nykypäivän monipuolisia ja älykkäitä järjestelmiä.



Kuva 2.2: X10-protokollaan perustuva kotiautomaatio

Kun tullaan lähemmäksi nykypäivää 1990-luvun loppupuolelle niin brittiläinen
Kevin Ashton IoT teknologian pioneeri, jota usein myös kutsutaan Internet of Things
teknologian isänä, loi vuonna 1999 termin *Internet of Things (IoT)* kun hän työsken-
teli Procter & Gamblella ja kehitti RFID-teknologiaa kulutustavaroiden seurantaan
ja hallintaan. Ashtonin visiossa IoT viittaa esineiden ja laitteiden verkostoon, jotka
keräävät ja jakavat tietoja keskenään ja ihmisten kanssa, parantaen siten tehokkuut-
ta, turvallisuutta ja mukavuutta [40][52][44][48][14][55]. Internet of Things on ollut
merkittävä kotiautomaation kehityksen kannalta, koska se mahdollistaa laitteiden
liittämisen internetiin ja etäohjattavuuden.

Viime vuosina IoT:n nopea kehitys on johtanut kotiautomaation uuteen aikakau-
teen. Yhä useammat laitteet ovat yhdistetty internetiin, mikä mahdollistaa entistä
monimutkaisempien ja automatisoitujen toimintojen toteuttamisen. Samalla kotiau-
tomaatiojärjestelmien helppokäyttöisyys ja hinnat ovat halventuneet, mikä puoles-
taan on lisännyt niiden suosiota kuluttajien keskuudessa.

Nykyään älykotien kotiautomaatio on laajalti käytössä monissa kodeissa, ja sen
odotetaan kasvavan entisestään tulevaisuudessa. Uudet innovaatiot, kuten tekoäly
ja koneoppiminen, avaavat uusia mahdollisuuksia älykkäille kotijärjestelmille ja nii-
den sovelluksille. Tulevaisuudessa voimme odottaa yhä älykkäämpiä ja tehokkaam-
pia kotiautomaatiojärjestelmiä, jotka tekevät kodin hallinnasta helpompaa, muka-
vampaa ja energiatehokkaampaa.

Kestävän kehityksen huomiointi ja energiatehokkuuden huomiointi ovat tärkei-

tä näkökohtia kotiautomaatiojärjestelmien kehityksessä. Niiden avulla voidaan optimoida energiankulutusta ja vähentää hiilijalanjälkeä, mikä on erittäin tärkeää ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Esimerkiksi älykkäät termostaatit ja valaistusjärjestelmät voivat auttaa säästämään energiaa ja vähentämään kustannuksia.

2.1 Kotiautomaatiojärjestelmien sovelluskohteet

Kuluttajille suunnattuja kotiautomaatioratkaisuja on tarjolla valtavia määriä ja pelkästään Englannissa vuonna 2019 tehdyn tutkimuksen [70] mukaan tarjolla oli yhteensä 267 erilaista teknologiaa 13 kategoriassa, kuten kodinkoneet, valaistus, energia, viihde, terveys ja hyvinvointi, turvallisuus, vauva- ja lemmikkienvälvonta, älyvaatteet, ajoneuvot, kotirobotit, puutarhanhoito (kts. kuva 2.3 ja 2.1). Teknologioita tarjosi 113 eri yritystä, mukaan lukien suuret yritykset, kuten Apple, Amazon, Microsoft, Google, Nissan, Nike, Sony, Garmin, Samsung, Siemens ja Philips (kts. kuva 2.3).



Kuva 2.3: Kotiautomaatiokategorioita mukailleen kuvaa [70]

Tutkimuksessa käytiin läpi 37 kauppa, joista 29:stä löytyi älykkäitä turvallisuus- ja valvontalaitteita, 27:stä integroitua ratkaisuja, 27:stä älyvaatteita ja 25:stä älyvalaistusta. Tutkimuksen mukaan harvinaisimpia älykotitekniikan kategorioita olivat vauva- ja lemmikkimonitorit sekä puutarhanhoito. Näitä kategorioita edus-

ti vain viisi kauppa, mikä on havainnollisesti esitetty taulukon 2.1 tutkimuksen tuloksissa. Taulukosta ilmenee, että kotiautomaation älykotiteknologiat painottuvat pääasiassa älyvalaistukseen, energianhallintaan, viihdejärjestelmiin, turvallisuusratkaisuihin sekä järjestelmien integraatioon.

Taulukko 2.1: Kotiautomaatoratkaisujen jakautuma[70]

Shop Visit	Appliances	Lighting	Energy, gas and utility	Entertainment	Health and wellness	Safety and security	Integrated solutions	Vehicles and drones	Home robots	Baby and pet monitors	Gardening	Clothes and accessories	Others
1		x											
2						x							
3	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
4		x	x	x		x	x					x	
5	x	x	x	x	x	x	x					x	
6		x	x	x	x	x	x			x		x	
7		x	x										
8						x							
9						x							
10	x	x	x	x	x	x	x					x	
11		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
12				x								x	x
13		x	x	x	x	x	x			x		x	
14				x	x					x			
15	x	x	x	x		x	x					x	
16						x	x					x	x
17				x			x						
18		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
19	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
20						x	x					x	x
21		x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
22	x	x	x	x		x	x	x		x		x	
23						x							
24		x	x	x		x	x					x	
25				x			x					x	
26		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
27						x	x					x	x
28		x	x	x		x	x					x	
29		x	x	x		x	x					x	
30		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
31				x			x					x	
32		x	x	x	x	x	x		x	x		x	
33		x		x		x	x					x	
34							x					x	
35		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
36						x							
37						x							

Tutkimuksessa todettiin, että ainakin Euroopassa ja Iso-Britanniassa on käynnissä kotitalouksiin kohdistuva kotiautomaation vallankumous perustuen tutkimuksessa dokumentoituihin 267 kotiautomaatiolle tarjolla olevaan vaihtoehtoon. On kuitenkin epävarmaa miten käyttäjät tulevat omaksumaan ja hyväksymään laajan laitevalikoima kirjon.

Englannissa 2019 tutkimuksessa tehtyjen asiantuntijahaastattelujen ja akateemisen kirjallisuuden avulla kerättyjen tietojen perusteella teknologioiden hyväksymisprosessi on monimutkainen. Tutkimuksen mukaan teknologiaratkaisuissa tulisi keskittyä ainakin seuraaviin asioihin:

- Yksityisyyteen, turvallisuuteen liittyvät ongelmat.
- Kotiautomaatioteknologioiden tulee olla luotettavia ja intuitiivista.
- Käyttäjien on opittava hyödyntämään uusia teknologioita.
- Markkinoiden on oltava avoimia ja läpinäkyviä.
- Yhteensopivuus on varmistettava eri tasolla.
- Energiasäästö ja virrankatkaisu oltava mahdollista automatisoitujen toimintojen avulla.

2.1.1 Luokittelu käyttökohteen perusteella

Vuonna 2017 Thunderbird International Business Reviewissä julkaistussa artikkelissa [44] kotiautomaation sovellutuskohteet jaetaan kahteen pääalueeseen: palvelut asunnolle ja palvelut asukkaille, jota myös kuvassa 2.4 kuvataan.

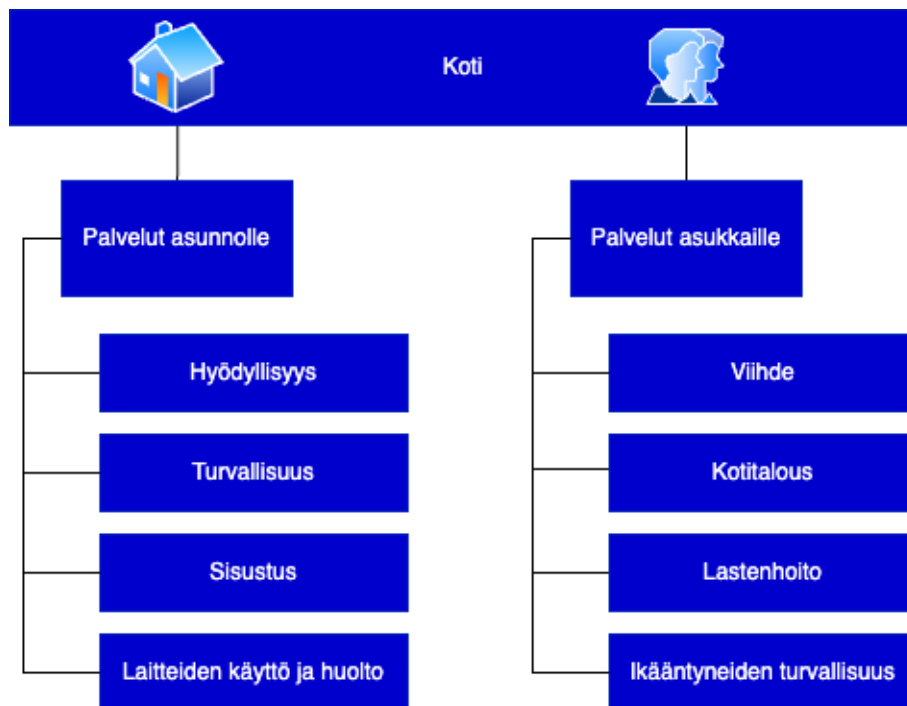
Palvelut asunnolle

- Hyödyllisyys - Älykkäät termostaatit voidaan ohjelmoida optimoimaan energiankulutusta, mikä vähentää kustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Valvottu pistorasiat ja laitteet voivat seurata energiankulutustottumuksia ja ehdottaa parannuksia suuremman tehokkuuden saavuttamiseksi.
- Turvallisuus - Kotiautomaatiojärjestelmät voivat sisältää ovi- ja ikkunatunnistimia, valvontakameroita ja liiketunnistimia, jotka parantavat kodin turvallisuutta.
- Sisustus - Älykkäät lamput voidaan ohjelmoida luomaan erilaisia tunnelmia tai synkronoitumaan musiikin kanssa, kun taas valaistusjärjestelmien etäkäyttö mahdollistaa valojen ohjaamisen mistä tahansa.

- Laitteiden käyttö ja huolto - Älykkäät kodinkoneet, kuten pesukoneet ja jääkaapit, voivat ilmoittaa asukkaille huoltotarpeista tai toimintahäiriöistä. Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden etäkäyttö mahdollistaa asetusten säätämisen kotoa pois ollessa.

Palvelut asukkaille

- Viestintä ja viihde - Kotiteatterit, älytelevisiot ja älykkäät äänentoistojärjestelmät voivat parantaa viihdekokemusta. Pelikonsolit voidaan integroida kotiautomaatiojärjestelmään saumattoman ohjauksen saavuttamiseksi.
- Kotitalous - Älyjääkaappi pystyy tunnistamaan puuttuvat tuotteet ja tekemään automaattisen tilauksen ruokakauppaan, kun taas jätehuollon optimointi voidaan yhdistää roskasäiliön täyttöasteeseen, jotta saadaan aikaan tehokkaampi tyhjennysrytmi.
- Lastenhoito - Etäkamerat ja kauitimet tarjoavat vanhemmille mielenrauhaa mahdollistaen lasten tarkkailun, vaikka he eivät itse olisi samassa tilassa.
- Henkilökohtainen turvallisuus - Kotiautomaatiojärjestelmät voivat sisältää kameroita ja henkilökohtaisia hälytyskytkimiä ikääntyneille.



Kuva 2.4: Kotiautomaatio sovelluskohteita

2.1.2 Kodin automaation tasot

Vuonna 2019 Englannissa tehdyssä tutkimuksessa [70] kotiautomaatioratkaisuja luokiteltiin automaatiotasojen perusteella asteikoilla 0-6 (kts. kuva 2.5), joista taso 0 edustaa kotia, jossa kodin laitteisiin ei liity älykoteknologiaa. Esimerkiksi koti, jossa on perinteinen televisio ilman internetyhteyttä, manuaaliset valokatkaisimet, perinteinen termostaatti ja mekaaniset lukot ovissa.

Tason 1 kodissa on muutamia älylaitteita kuten älytelevisio, joka mahdollistaa internet suoratoistopalvelujen käytön tai älypuhelimella monitoroitava vauvamonitori, joka lähettää videokuvaa ja ääntä vanhempien älypuhelimeen.

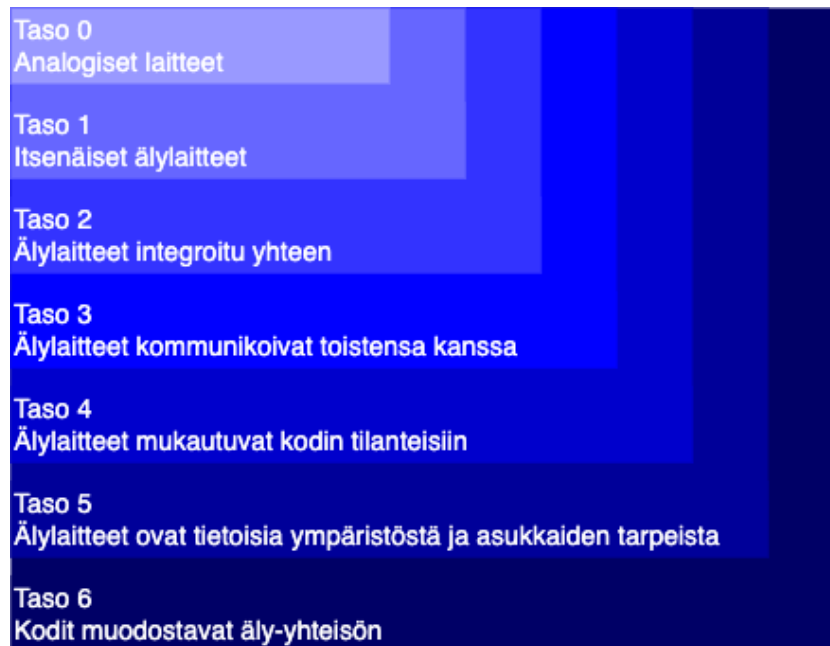
Tason 2 kodissa teknologiat on integroitu ja yhdistetty toisiinsa paremman käyttökokemuksen ja palvelun tarjoamiseksi asukkaille. Esimerkiksi viihdejärjestelmässä älytelevisio, internet-reititin, äänentoistojärjestelmä ja mobiililaitteet toimivat yhdessä joiden lisäksi kodissa voi olla myös älytermostaatti energiatehokkaan lämmityksen ohjaukseen ja optimointiin.

Tason 3 kodissa on automaatiota ja järjestelmien välistä kommunikointia on lisätty, kuten valaistusjärjestelmä, joka voidaan automatisoida ajastimen avulla. Vastaavasti pistorasioita, uunia, pesukonetta voidaan etähallinta älypuhelimella.

Tason 4 kodissa järjestelmät oppivat ja mukautuvat palvelujensa tarjoamiseen kontekstiin, kuten älykäs valaistusjärjestelmä, joka mukautuu vuorokaudenajan ja valoisuuden mukaan, kodin turvajärjestelmä, joka tunnistaa asukkaiden kasvot ja avaa lukot automaattisesti, sekä energianhallintajärjestelmä, joka optimoi sähkönkulutuksen ja ehdottaa energiansäästötoimenpiteitä.

Tason 5 koti puolestaan on jo lähes täysin tietoinen ympäristöstä, joka ennakoii asukkaiden tarpeita ja mukautuu heidän mieltymyksiinsä esimerkiksi erilaisten valaistusasetusten tai huonelämpötilojen suhteen. Tätä varten koti on varustettu modernilla kotiautomaatiojärjestelmällä, joka hallitsee kodin lämmityksen, valaistuksen, turvallisuuden ja kodinkoneet.

Tason 6 kotia luokitellaan älykkäiden kotien yhteisöksi, jossa useat tason 5 älykkäät kodit ovat yhteydessä toisiinsa ja muodostavat älykkään naapuruston, yhteisön tai kaupunginosan. Esimerkiksi asuinalue, jossa talojen älykkäät järjestelmät kommunikoivat keskenään energian, liikenteen ja palvelujen tehokkaamman hallinnan varmistamiseksi. Sekä ympäristön, jossa älykoteihin integroidut turvajärjestelmät valvovat koko aluetta mahdollistaen turvallisen ja mukautuvan ympäristön asukkaille.



Kuva 2.5: Kodin automaation tasot[70]

2.2 Kotiautomaatiojärjestelmän toimintaperiaate

Kotiautomaatio on järjestelmä, joka on suunniteltu automatisoimaan ja keskittämään kodin erilaisten laitteiden ja toimintojen hallintaa. Tämä sisältää valaistuksen, lämmityksen, ilmastoinnin, turvallisuusjärjestelmien ja muiden kodinkoneiden ohjaamisen ja valvonnan [22]. Kodin automaatiojärjestelmien avulla käyttäjät voivat seurata ja ohjata kodin laitteita etänä tai paikallisesti mobiililaitteella kuten älypuhelimella, tabletilla tai tietokoneella. Tällä tavoin kotiautomaatio parantaa asumismukavuutta, energiatehokkuutta ja turvallisuutta [5]. Kotitalouksissa käytettävä kotiautomaatiojärjestelmä on tyypillisesti jokin valmis tuote, joka sisältää yhdyskäytävän, toimilaitteita ja mobiilisovelluksen (kts. kuva 2.6) [60].

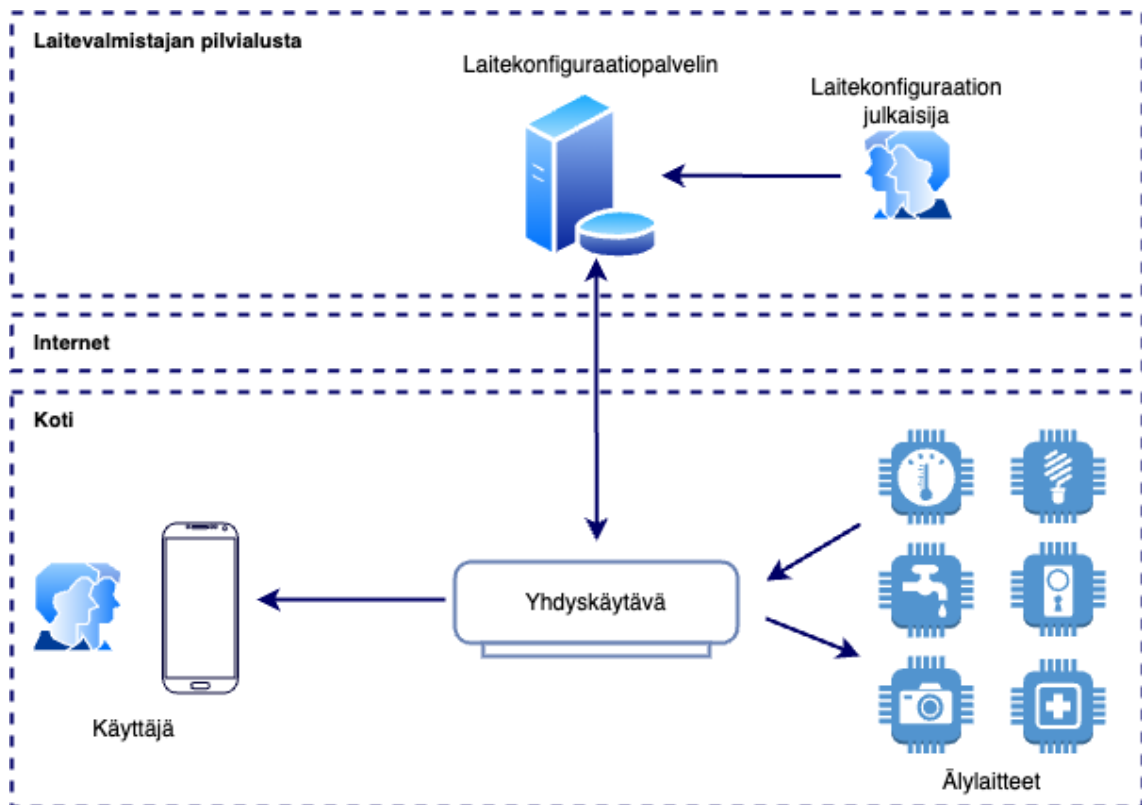
2.2.1 Arkkitehtuuri

Kotiautomaatiojärjestelmän arkkitehtuuri koostuu useista osista, jotka yhdessä mahdollistavat toimilaitteiden hallinnan, ohjauksen ja valvonnan yhden yhtenäisen järjestelmän kautta. Tutkimuksessa [60] on kuvattu kotiautomaatioarkkitehtuurin tyypilliset osat (kts. kuva 2.6):

- Toimilaitteet kotitaloudessa ovat laitteita, kuten valaistus, lämmitys, ilmas-

tointi, turvajärjestelmät ja kodinkoneet, jotka on varustettu sensoreilla.

- Yhdyskäytävä on laite, joka toimii kotiautomaatiojärjestelmän keskusyksikkönä. Yhdyskäytävän tehtävänä on yhdistää toimilaitteet ja tiedonsiirtoprotokollat järjestelmään. Se vastaanottaa käyttäjän komentoja ja ohjaa niitä järjestelmään liitetyille toimilaitteille. Yhdyskäytävässä on tyypillisesti useita eri tiedonsiirtoprotokolla komponentteja, jotka mahdollistavat kommunikoinnin toimilaitteisiin.
- Pilvipalvelut tarjoavat etäyhteyden kotiautomaatiojärjestelmään ja mahdollistavat laitteiden hallinnan ja valvonnan internetin kautta.
- Käyttöliittymä on sovellus, jonka avulla käyttäjät voivat ohjata ja valvoa kotiautomaatiojärjestelmän eri laitteita. Käyttöliittymä voi olla esimerkiksi mobiilisovellus, web-sovellus tai älykaiutin, joka ymmärtää puhuttuja komentoja.



Kuva 2.6: Referenssi kotiautomaatioarkkitehtuuri mukailen kuvaa [60]

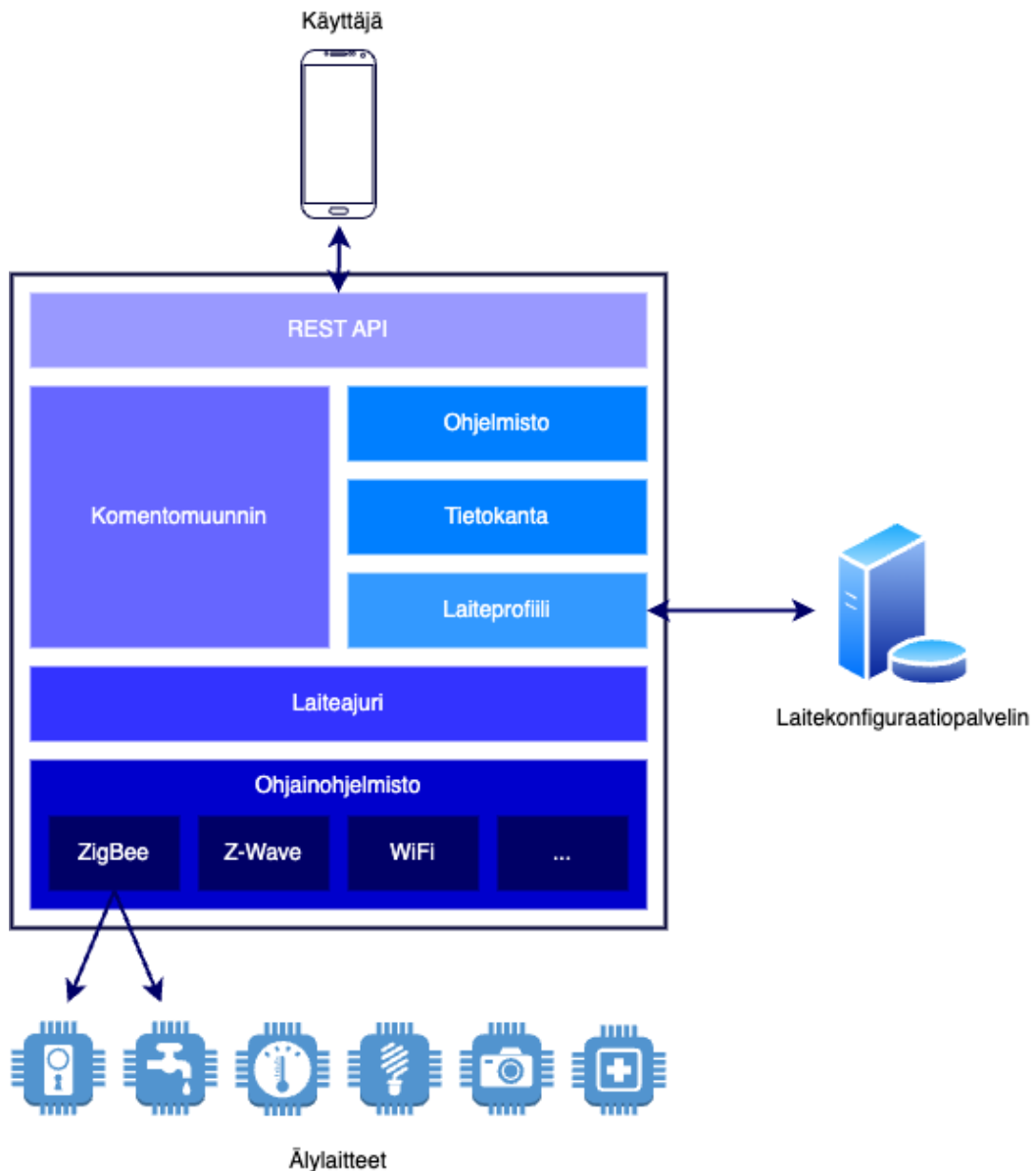
Yhdyskäytävä toimii kotiautomaatioarkkitehtuurin keskeisenä osana, ja sen olemassaolo on välttämätöntä järjestelmän toiminnalle. Tutkimuksessa [60] on esitetty

yksityiskohtaisesti yhdyskäytävän rakennetta ja toimintaa. Sen tarkoituksena on toimia kotiautomaatiojärjestelmän keskusyksikkönä, joka mahdollistaa toimilaitteiden välisen yhteyden ja viestinnän järjestelmässä. Lisäksi yhdyskäytävä toimii linkkinä laitteen ja kotiautomaatiovalmistajan pilvipalvelun välillä.

Yhdyskäytävä on laitteena pieni tietokone, joka on varustettu tarkoitukseen sopivilla komponenteilla, ohjelmistoilla ja radiolaitteilla.

- Suoritin ja siihen sisältyvä muisti vastaavat yhdyskäytävän toimintojen suorituksesta ja kyvystä käsitellä useita toimintoja yhdenaikaisesti.
- Yhdyskäytävä sisältää myös tallennustilan, jota käytetään konfiguraatietojen ja järjestelmän tilan tallentamiseen.
- Verkko- ja Radiomoduulit kuten WiFi, Zigbee, Z-Wave ja Bluetooth mahdollistavat yhteyksien muodostamisen eri toimilaitteiden välillä.
- Ohjelmistoilla hallitaan laitteen toimintoja, konfiguraatiota, laite inventaariota ja salausratkaisuja. Tähän kuuluu tyypillisesti laiteajurit, protokollakääntäjät, tietokanta ja REST API -tiedonsiirtorajapinta. Yhdyskäytävä on yhdistetty internetiin ja tyypillisesti siinä on huomioitu tietoturvasuoja ehkäisemään luvaton käyttöä. Tyypillisesti tietoturvaratkaisut sisältävät verkkoliikenteen salauksen-, tunnistautumisen- ja pääsynhallinnan.

Yhdyskäytävän ohjelmistorakenne sisältää ohjelmistoja, joilla on keskeiset käyttötarkoitukset yhdyskäytävän toimintojen kannalta. Kuvassa 2.7 on kuvattu yhdyskäytävän ohjelmistoarkkitehtuurin tyypilliset ohjelmistot, joita tyypillisesti ovat ohjainohjelmisto, laiteajuriohjelmisto, komentomuunnin, tietokanta, laiteprofiiliohjelmisto ja REST API -tiedonsiirtorajapinta [60].



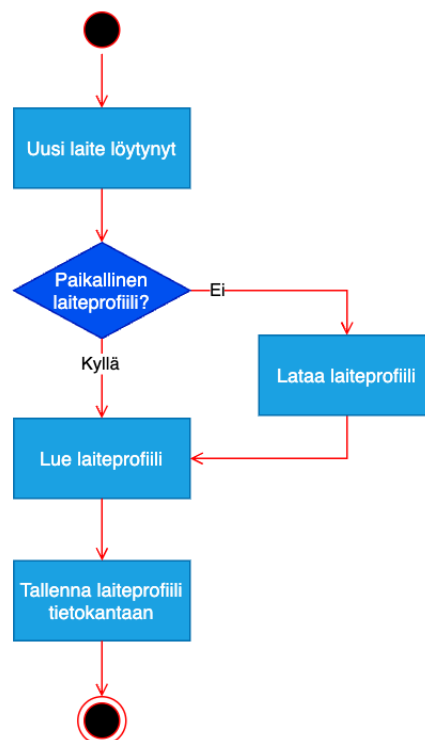
Kuva 2.7: Yhdyskäytävän ohjelmistoarkkitehtuuri mukailen kuvaa [60]

Yhdyskäytävän REST API -tiedonsiirtorajapinnan tehtävänä on välittää käyttäjän antamat komennot mobiilisovellukselta yhdyskäytävän käsiteltäväksi, jossa ne käsitellään ja välitetään toimilaitteelle. Vastaavasti toimilaitteen antamat viestit käsitellään yhdyskäytävässä ja välitetään käyttäjän mobiilisovellukseen. Esimerkiksi käyttäjä suorittaa mobiilisovelluksella komennon sytyttää valot ja toimilaitteen palauttama valojen tilatieto palautetaan käyttäjän mobiilisovellukseen.

Yhdyskäytävän tietokantaohjelmistolla on keskeinen rooli tallentaa toimilaitte-

profiileja ja toimilaitteiden tilaa ja kotiautomaatiojärjestelmän konfigurointeja. Tietojen tallentaminen myös mahdollistaa kotiautomaatiojärjestelmän toimintojen suorittamisen myös tilapäisesti ilman internet yhteyttä.

Laiteprofiiliohjelmisto hallinnoi laiteprofiileja ja mahdollistaa uusien laitteiden lisäämisen yhdyskäytävään. Liitettäessä kotiautomaatiojärjestelmään uutta laitetta järjestelmä hakee tietokantaan tallennetuista laiteprofiileista laitteelle sopivaa laiteprofiilia. Sopivan laiteprofiilin löytäminen tyypillisesti edellyttää, että laitteesta on tiedossa vähintään laitevalmistaja, laitemallinumero ja laitetyyppi. Laitetiedot muodostavat laitteelle yksilöllisen tunnisteen. Jos laiteprofiilivastaavuutta ei löydy yhdyskäytävän tietokannasta niin yhdyskäytävä hakee laiteprofiilia laitevalmistajan pilvipalvelusta käyttäen laitteen yksilöintitietoja (kts, kuva 2.8). Yhdyskäytävä tallentaa ladatut uudet tai päivitettyt laiteprofiilitiedot yhdyskäytävän tietokantaan. Laiteprofiilit sisältävät tietoja laitteista, kuten tiedonsiirtoprotokollan, toiminnot ja ohjauskomennot.



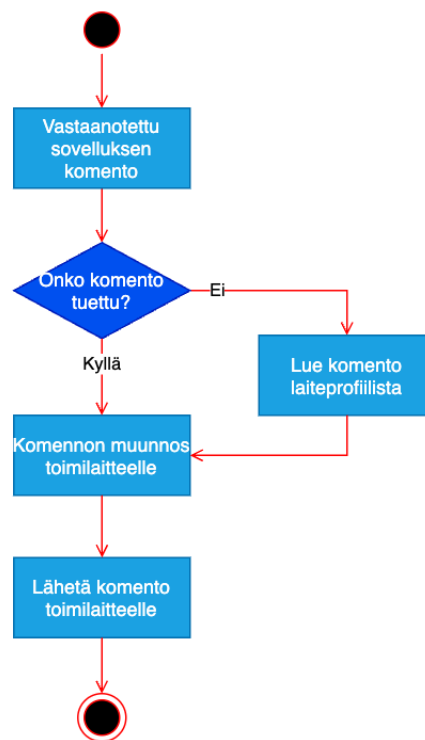
Kuva 2.8: Laitteen lisääminen mukailen kuvaa [60]

Toimilaitteeseen sopivan laiteprofiilin löydyttyä yhdyskäytävä on valmis kommunikoimaan toimilaitteen kanssa käyttäen laitteen edellyttämää tiedonsiirtopro-

tollaa ja komentoja.

Ohjainohjelmiston tehtävänä on muuntaa käyttäjän mobiilisovelluksen lähettämät REST API -komennot toimilaitteen tiedonsiirtoprotokollaa vastaaviksi komennoiksi. Tämä mahdollistaa sen, että yhdyskäytävän REST API -rajapinnan ja mobiilisovelluksen ei tarvitse tuntea yksityiskohtaisesti eri toimilaitteita ja niiden protokollien toimintaa. Toisin sanoen ohjainohjelmisto on eräänlainen protokollamuunnin, joka muuntaa REST API -rajapinnan datamallin ja komennot toimilaitteiden protokolliin soveltuviksi.

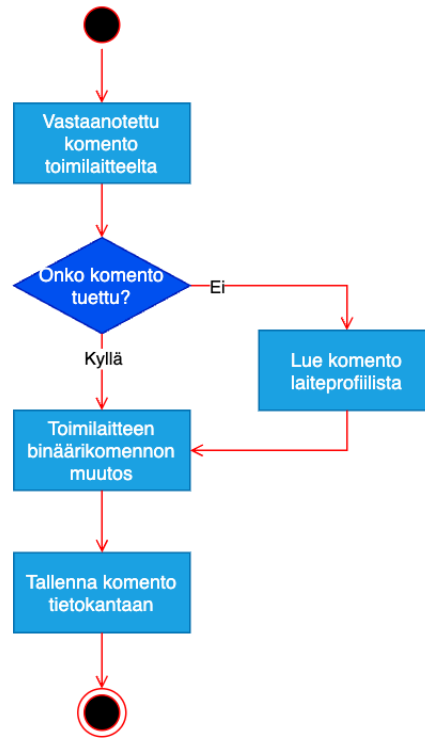
Yhdyskäytävän vastaanottaessa komennon mobiililaitteelta ohjainohjelmisto pyytää laiteprofiiliohjelmistolta konfiguraatiota laitteelle. Konfiguraatio sisältää ohjeet miten laitteen kanssa kommunikoidaan ja miten komennot pitää muuntaa laitteen protokollaan sopiviksi. Ohjainohjelmisto suorittaa pyydetylle komennolle ohjeiden mukaisen muunnoksen ja lähettää sen toimilaitteelle laiteajuriohjelmistoa käyttäen (kts, kuva 2.9).



Kuva 2.9: Komennon lähettäminen toimilaitteelle mukaillen kuvaa [60]

Vastavuoroisesti yhdyskäytävän laiteajuri muuntaa toimilaitteelta vastaanotetun komennon muunnosohjeen avulla tietokantaan, joka voi esimerkiksi sisältää toi-

milaitteen tilatiedon (kts, kuva 2.10). Toimilaitteen tilatieto ei automaattisesti päivity mobiililaitteelle vaan mobiililaitte hakee sen erikseen yhdyskäyvän tietokannasta.

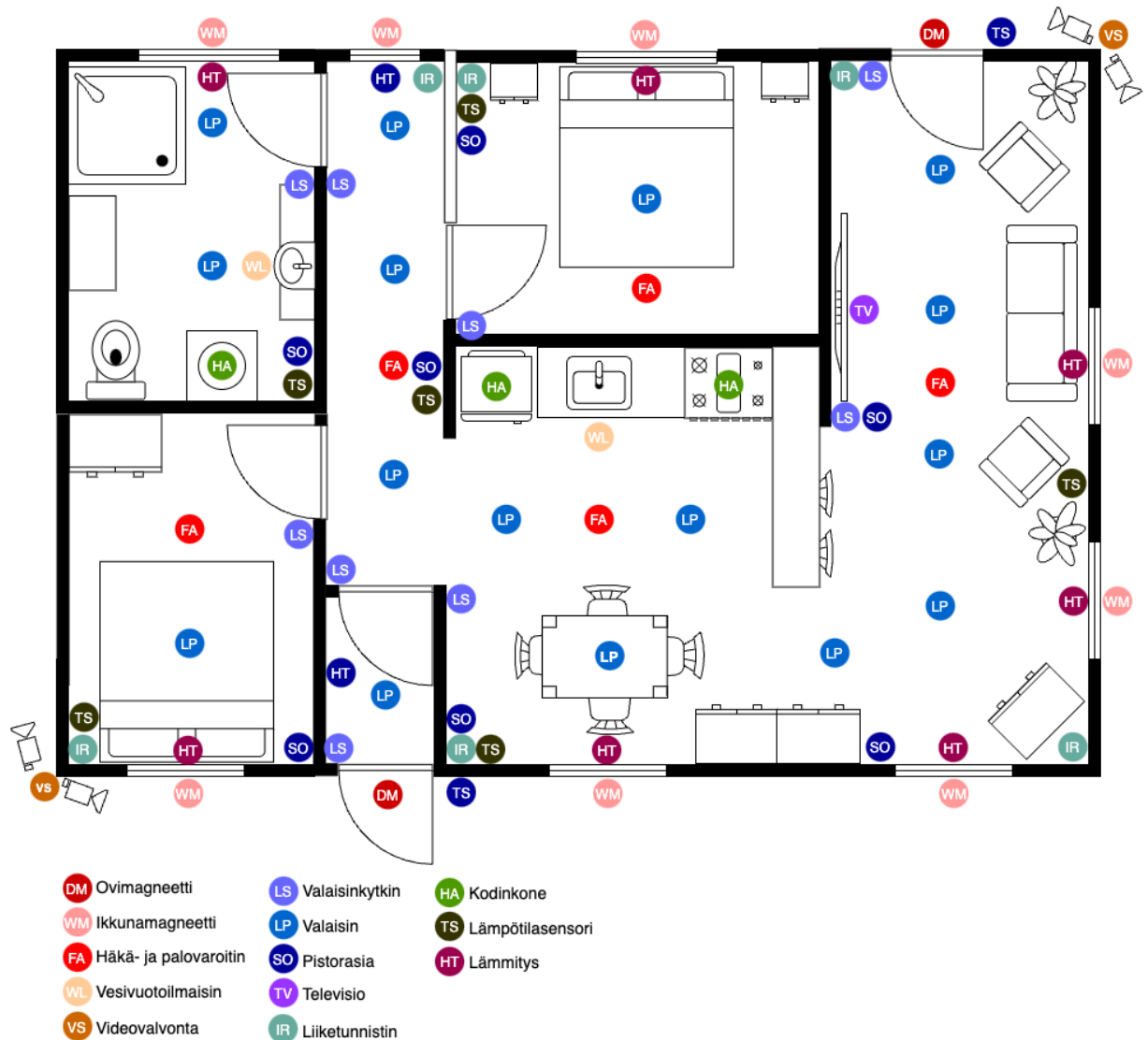


Kuva 2.10: Komennon vastaanottaminen toimilaitteelta mukailien kuvaa [60]

2.3 Kotiautomaatiojärjestelmät

Kotiautomaatioon on tarjolla useita erilaisia järjestelmiä, joista osa on valmistaja-kohtaisia ekosysteemejä ja osa laitevalmistajariippumattomia alustoja. Valmistaja-kohtaiset ekosysteemit ja valmistajariippumattomat alustat eroavat toisistaan siinä, että valmistajakohtaiset brändit tarjoavat valmiin ekosysteemin ja valmistajakohtaiset laitteet. Valmistajariippumattomat alustat puolestaan eivät sisällä laitteita vaan niiden pyrkimyksenä on mahdollistaa eri laitevalmistajien laitteiden yhdistäminen samaan järjestelmään. Edellä mainittujen lisäksi on olemassa välimuoto, jossa laitevalmistajalla on oma tuotteistettu alustaekosysteemi. Tämä tyypillisesti tarkoittaa sitä, että laitevalmistajalla on yhdyskäytävälaite ilman omaa laitekantaa. Ajatuksena tässä on, että laitevalmistaja pyrkii toteuttamaan omaan yhdyskäytävälaitteeseensa mahdollisimman paljon muiden laitevalmistajien laitetukea.

Miltä kotiautomaatiojärjestelmä sitten näyttää ja mitä se sisältää? Kuten luvussa 2.1 kuvattiin, kotiautomaatiojärjestelmällä kotitalouksissa tyypillisesti pyritään hallitsemaan valaistusta, viihdejärjestelmiä, turvallisuusratkaisuja kuten videovalvontaa, palovaroitin tai liiketunnistimet ja energianhallintaa kuten patteritermostaatteja [74]. Kuvassa 2.11 on havainnollistettu tyypilliset tarpeet mitä valmistajakohtaisilla ja valmistajariippumattomilla ekosysteemeillä pyritään ratkaisemaan.



Kuva 2.11: Kotiautomaatio kotitaloudessa

2.3.1 Valmistajakohtaiset ekosysteemit

Kotiautomaatoratkaisuja on tarjolla useita erilaisia ja valmistajien kirjo on hyvin laaja. Yhteistä kuitenkin suurimmille kotiautomaatiovalmistajille on tarjota kotitalouteen kotiautomaatioekosysteemi, jolla pyritään parantamaan elämänlaatua ja mukavuutta esim. ääniohjattavat laitteet kuten valaistus. Alla kuvattuna muutaman suurimman kotiautomaatiovalmistajan ekosysteemiratkaisut.

Samsung Smart Things

Smart Things on vuonna 2012 SmartThings Inc yrityksen aloittama projekti, joka herätti Samsungin kiinnostuksen ja vuonna 2014 Samsung osti SmartThings Inc, jonka jälkeen se sai tuotenimen Samsung Smart Things [17]. Samsung Smart Things on kotiautomaatio ekosysteemi, jota voidaan käyttää valaistuksenohjaukseen tai ympäristön mittaamiseen esim. lämpötilan- ja kosteuden- ja ilmanlaadunmittaamiseen [17]. Järjestelmään kuuluu myös SmartThings Hub, johon kodin laitteet yhdistetään).

Samsung Smart Things ekosysteemiin kuuluu joukko erilaisia mobiilisovelluksia [64]:

- SmartThings Home Care
- SmartThings Pet Cat
- SmartThings Cooking
- SmartThings Energy
- SmartThings Clothing Care

SmartThings Home Care on mobiilisovellus, joka kerää tietoa kodista ja siitä miten käyttäjä käyttää laitteita kotona. Palvelu osaa muun muassa ilmoittaa käyttäjälle mahdollisesta ilmansuodattimen vaihtotarpeesta.

SmartThings Cooking on mobiilisovellus, joka tarjoaa ruokaresepti- ja kauppaoستoslistapalveluita käyttäjälle. SmartThings Cooking palvelu ei ole kotiautomaatiota itsessään, mutta se on osa SmartThings ekosysteemiä.

SmartThings Energy on mobiilisovellus, jolla voidaan seurata kodinkoneiden sähkönkulutusta ja käyttökustannuksia. Palvelu edellyttää, että kodinkone on Samsung SmartThings yhteensopiva laite esim. jääkaappi tai pesukone. SmartThings

Energy palvelu kerää käyttäjien tietoja, joiden pohjalta palvelu voi ehdottaa erilaisia säästötoimintoja jääkaapin lämpötilan optimointiin.

SmartThings Clothing Care on mobiilisovellus, jolla voidaan ohjata pyykinpesukonetta. Palvelu antaa käyttäjälle pyykinpesuohjeita ja osaa ilmoittaa käyttäjälle milloin pyykinpesuaine on lopussa. Palvelu edellyttää, että pyykinpesukone on Samsung SmartThings yhteensopiva laite.

SmartThings Pet Care on mobiilisovellus, jolla voidaan parantaa lemmikin mukavuutta kun kotona ei ole muita paikalla. Palvelun avulla televisio ja valaistus voidaan käynnistää, jolloin lemmikki kokee olonsa kotoisammaksi. Palvelu edellyttää, että televisio ja valaistus ovat Samsung SmartThings yhteensopivia.

Samsung Smart Things ekosysteemin monimuotoisuus palveluineen antaa käyttäjille kokonaisvaltaisen käyttökokemuksen ja hallinnan kodista.

Google Nest

Nest on vuonna 2011 Nest Labsin perustama tuoteperhe, jonka ensimmäinen tuote oli älykäs patteritermostaatti. Nest herätti Googlen kiinnostuksen ja Google osti Nest Labsin vuonna 2014, jonka jälkeen se sai tuotenimen Google Nest [54]. Google Nest ekosysteemi koostuu tuotteista [26]:

- Google Nest Thermostat
- Google Nest Cam
- Google Nest Hello
- Google Nest x Yale Lock
- Google Nest Mini
- Google Nest Hub
- Google Nest Protect
- Google Nest Audio

Google Nest Thermostat on laite, jonka avulla voidaan ohjata huonekohtaista lämpötilaa. Se ei itsessään ole lämmityksen ohjauslaite, vaan älykäs ohjain, johon voidaan kytkeä yhteensopivia laitteita, kuten vesikiertoisen patteriverkoston termostaatteja. Google Nest Thermostat -laite voidaan yhdistää muihin laitteisiin, kuten ilmanlaadun seurantalaitteisiin. Lisäksi laitteessa on sisäänrakennettuja senso-

reita huoneen lämpötilan, kosteuden ja valoisuuden mittaamiseen. Näitä tietoja voidaan käyttää esimerkiksi älykkääseen valojen himmentämiseen tai kirkastamiseen.

Google Nest Cam on kamerajärjestelmä, joka koostuu sisätiloihin ja ulkotiloihin asennettavista kameroista. Kameran voidaan konfiguroida tunnistamaan liikettä tai ääntä ja tekemään hälytyksen kodinhälytysjärjestelmään.

Google Nest Hello on ovikello, joka on kytketty Google Nest järjestelmään. Ovikello on varustettu kameralla, joka mahdollistaa oven edustan videovalvonnan ilman ovikellon soittamista. Myös kun ovikelloa soitetaan niin kamera kuvaa tulijan. Ovikello voi tehdä hälytyksen puhelimeen ilman, että kukaan on kotona.

Google Nest x Yale Lock on älylukko, joka voidaan liittää Google Nest -järjestelmään. Lukossa on kosketusnäyttö ja oven saa auki syöttämällä koodin. Lisäksi lukko mahdollistaa oven avaamisen etäohjauksella. Tämä etäohjaus on erityisen hyödyllinen kun oven yhteyteen on asennettu Google Nest Hello -ovikello. Silloin voidaan nähdä, kuka on ovella ja tarvittaessa ovi voidaan avata etänä. Tämä on hyödyllinen ominaisuus tilanteissa, joissa lapsi on unohtanut ovikoodin tai avaimen kotiin.

Google Nest Mini on älykaiutin ja puheohjain, jolla voidaan ohjata Google Nest järjestelmään liitettyjä laitteita. Kaiuttimessa on sisäänrakennettuna Google Assistant ominaisuus. Kaiutin ei kuitenkaan ole tarkoitettu varsinaisesti musiikin kuunteluun vaan pikemminkin ääniohjaukseen ja ohjeiden kuunteluun.

Google Assistant on palvelu, joka mahdollistaa käyttäjän vuorovaikutuksen Google Nest -järjestelmään liitettyjen laitteiden kanssa sekä sisältöhakujen tekemisen internetistä puheohjauksen avulla.

Google Nest Hub on näyttö, jolla voidaan hallita Google Nest järjestelmään liitettyjä laitteita tai tarkastella laitteiden tiloja tai arvoja. Hubiin on sisäänrakennettuna Google Nest Miniä vastaavat toiminallisuudet mukaan lukien Google Assistant ominaisuus.

Google Nest Protect on savu- ja häikäilmaisin, joka on varustettu sireenillä. Se eroaa perinteisestä palovaroittimesta siinä, että laite on liitetty Google Nest -järjestelmään. Järjestelmä lähettää hälytyksen paitsi kodissa myös etänä niille henkilöille, jotka eivät ole sillä hetkellä kotona.

Google Nest Audio on älykaiutin samoin kuin Google Nest Mini, mutta Google Nest Audio tarjoaa paremman äänenlaadun ja soveltuu erityisen hyvin esimerkiksi musiikin kuunteluun.

Philips Hue

Philips Hue on älykotiekosysteemi, joka julkaistiin vuonna 2012. Tuolloin sen ensimmäiset markkinoille tulleet tuotteet olivat Philips Hub Bridge ja Hue Led -lamput [37], joita voitiin hallita Hue-mobiilisovelluksen avulla [41]. Philips Hue -ekosysteemi keskittyy pääosin älykkään valaistuksen ohjaukseen [61]. Se koostuu Hue Bridge -yhdyskäytävälaitteesta, Hue-valaisimista ja Hue-mobiilisovelluksesta, jonka avulla valaistusta voi ohjata joko puhelimen näytöltä tai puheohjauksella.

Hue Bridge -yhdyskäytävälaite on Hue järjestelmän keskus, joka yhdistää erilaiset valaisintuotteet yhteen, mahdollistaen laitteiden keskitetyn hallinnan. Hue-valaisimet ja valonauhat tuovat kotiin monipuolisuutta ja tunnelmaa, joita voidaan myös ohjata Hue himmenninkytkimen avulla. Hue liiketunnistimella puolestaan voidaan automatisoida valaistus reagoimaan ympäristöönsä. Hue Sync Box tuote mahdollistaa synkronoimaan valot television, pelikonsolin tai tietokoneen kanssa muodostaen syvemmän viihde elämyksen käyttäjille.

2.3.2 Valmistajariippumattomat alustat

Luvussa 2.3.1 tutustuimme valmistajakohtaisiin kotiautomaatioekosysteemeihin ja niiden tarjoamiin ominaisuuksiin. Vaikka nämä ekosysteemit tarjoavat usein laadukkaita ja käyttäjäystävällisiä ratkaisuja, niiden käyttöön liittyy myös rajoituksia. Kaupalliset ekosysteemit ovat usein suljettuja, eivätkä salli käyttäjien mukauttaa tai laajentaa niitä omien tarpeidensa mukaan. Lisäksi niiden käyttö saattaa vaatia kuukausi- tai vuosimaksuja, ja ne saattavat tukea vain valmistajien omia laitteita [66].

Tämän vuoksi yhä useammat kotitaloudet ottavat käyttöön valmistajariippumattomia kotiautomaatioalustoja. Näillä alustoilla voidaan saavuttaa samat perusominaisuudet kuin kaupallisillakin ekosysteemeillä, mutta suurimpana erona valmistajariippumattomissa alustoissa on niiden laajat mukautettavuus ja laajennettavuus mahdollisuudet. Tämä mahdollistaa useiden kodin älylaitteiden yhdistämisen yhdeksi yhtenäiseksi kotiautomaatiojärjestelmäksi, jonka avulla käyttäjä voi tarkkailla kotinsa tilaa reaaliajassa.

Tyypillisesti valmistajariippumaton kotiautomaatioalustoja tarkoittaa sitä, että alusta tarjoaa yhdyskäytävälaitteen, jonka ympärille kuluttajan on hankittava joukko eri laitevalmistajien älylaitteita.

Tunnettuja avoimen lähdekoodin kotiautomaatioalustoja ovat muun muassa: Ho-

me Assistant, openHAB, Domoticz ja ioBroker [66]. Tässä luvussa tutustumme Home Assistantiin ja openHABiin kotiautomaatioalustoihin ja käymme läpi niiden ominaisuuksia. Lisäksi pohdimme, miten ne voivat vastata kotitalouksien tarpeisiin.

Avoimen lähdekoodin kotiautomaatioalustat eroavat toisistaan monin tavoin, mukaan lukien niiden tarjoamat ominaisuudet kuten, tuetut laitteet, asennus ja käytön monimutkaisuus sekä yhteisön tuki ja kehityksen aktiivisuus. Jokainen alusta kuitenkin tarjoaa mahdollisuuden yhdistää eri älylaitteet ja ekosysteemit integroinnin yhdeksi järjestelmäksi.

On tärkeää huomata, että vaikka valmistajariippumattomat kotiautomaatioalustat tarjoavatkin monia etuja, niiden käyttöönotto ja ylläpito kuitenkin vaatii usein enemmän teknistä osaamista, harrastuneisuutta ja aikaa verrattuna kaupallisten valmiiden ekosysteemien käyttöönottoon. Toisaalta, kun järjestelmä on asennettu ja konfiguroitu, se voi tarjota erittäin tehokkaan ja joustavan ratkaisun kotiautomaation tarpeisiin.

Home Assistant on avoimen lähdekoodin kotiautomaatioalusta, joka tarjoaa mahdollisuuden paikalliseen hallintaan ja yksityisyyteen. Se on suunniteltu erityisesti Raspberry Pi:lle tai paikalliselle palvelin alustalle [66][15] ja sitä ylläpitää maailmanlaajuinen harrastajien yhteisö.

Home Assistant integroituu yli tuhanteen eri laitteeseen ja palveluun. Kun järjestelmä käynnistetään, se skannaa automaattisesti verkosta tunnetut laitteet ja ehdottaa niiden asennusta [66][15].

Yksi Home Assistantin vahvuuksista on Home Assistantin monipuolinen automaatiomoottori, jonka avulla kodin toiminnot voidaan automatisoida tehokkaasti. Esimerkiksi voit asettaa valot syttymään auringonlaskun aikaan tai saapuessasi kotiin, tai saada hälytyksen, jos jätät autotallin oven auki [66][15].

Home Assistantin avulla voit laajentaa järjestelmääsi lisäosilla. Voit asentaa Home Assistant yhteensopivia sovelluksia, jotka auttavat sinua hallitsemaan kotiasi. Voit esimerkiksi kytkeä kaupallisia kotiautomaatiojärjestelmiä Home Assistant alustaan tai avoimen lähdekoodin Node-RED integrointialustan.

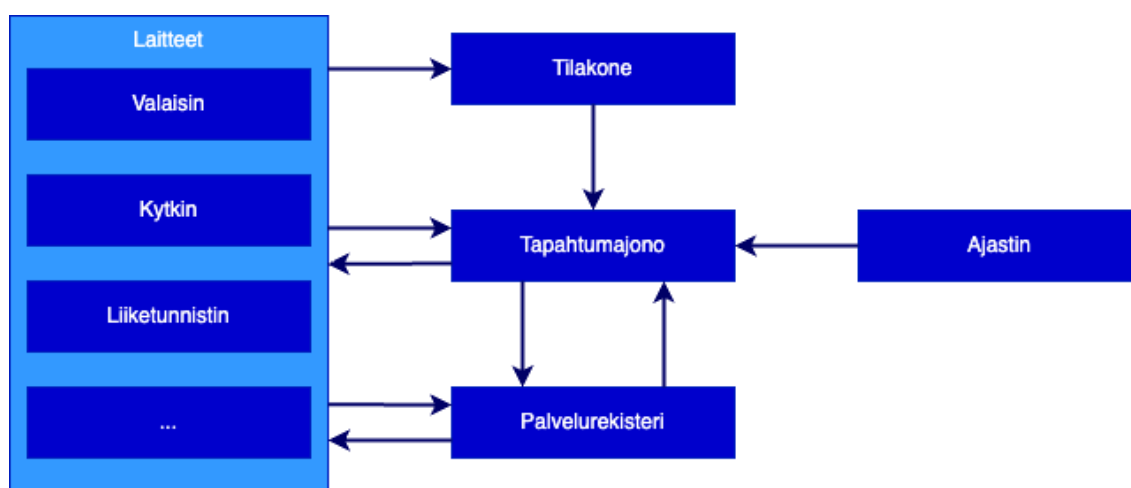
Yksi Home Assistantin keskeisistä ominaisuuksista on sen sitoutuminen paikalliseen hallintaan ja yksityisyyteen. Kaikki kodin tiedot pysyvät paikallisina ilman pilvipalvelu riippuvuutta. Home Assistant kommunikoi laitteidesi kanssa paikallisesti tai vaihtoehtoisesti pilvipalvelua voidaan käyttää silloin, kun muita vaihtoehtoja ei ole saatavilla. Tärkeää on, että mitään tietoja ei tallenneta pilvipalveluun,

vaan kaikki tiedot käsitellään paikallisesti.

Home Assistantista on myös saatavilla tuoteistettu laitealusta nimeltä Home Assistant Yellow [16], jolla voidaan korvata paikallisesti omalle palvelimelle asennettava Home Assistant -palvelu. Eroavaisuus omalle palvelimelle asennettavaan Home Assistant palveluun on Home Assistant Yellow laitteen sisältämä Zigbee, Thread ja Matter-tuki.

Home Assistant viralliset mobiilisovellukset toimivat kätevästi apuna laitteiden nopeassa hallinnassa ja kotisi tapahtumien ilmoittamisessa. Käyttäjä voi esim. hallitella laitteita ja saada laitteiden tilailmoituksia Apple Watch älykelloon.

Home Assistant arkkitehtuuriin kuuluu useita keskeisiä moduuleja, jotka yhdessä muodostavat kotiautomaatiojärjestelmän. Näitä moduuleja ja riippuvuuksia on kuvattu 2.12 kaaviossa. Home Assistant arkkitehtuurin kannalta keskeisimmät moduulit ovat: Laitteet, Tilakone, Tapahtumajono, Palvelurekisteri ja Ajastin [66].



Kuva 2.12: Home Assistant -arkkitehtuuri mukailleen kuvaa [66]

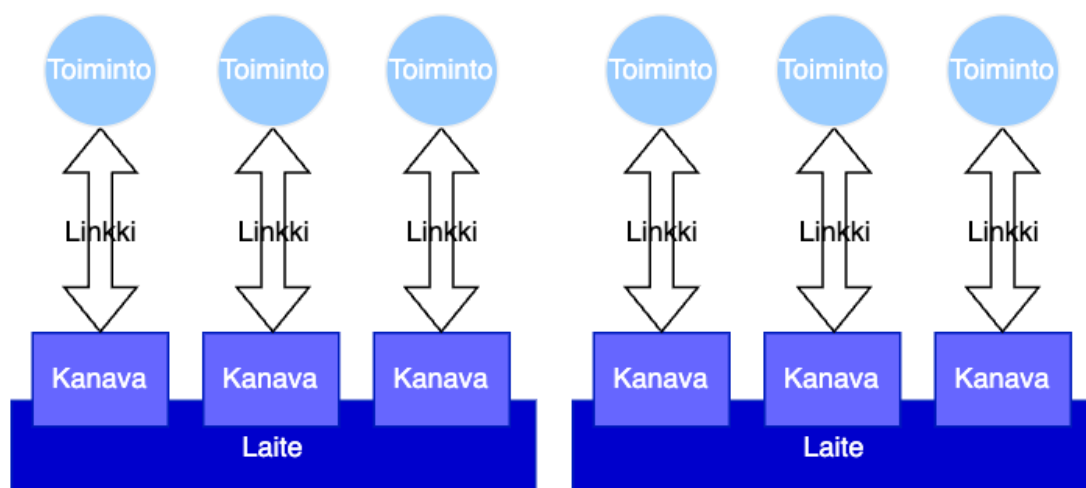
openHAB (Open Home Automation Bus) on avoimen lähdekoodin kotiautomaatioalusta, jota kehittää vapaaehtoisista muodostuva yhteisö. openHAB-alusta on valmistajariippumaton ja se toimii monien protokollien ja laitteiden kanssa. Tämä on yksi sen tärkeimmistä vahvuuksista ja tavoitteista: tarjota yhtenäinen käyttökokemus riippumatta käytössä olevista laitevalmistajista [66][59].

openhAB-alustaan lisätyt laitteet edustavat yhtä tai useampaa toimintoa kuten esimerkiksi monianturi, joka voi tarjota lämpötila- ja liiketunnistetietoja. Kanavan tehtävänä on julkaista laitteen toiminnot näkyväksi linkkikerrokselle. Linkkikerroksen tehtävänä on toimia laitteen kanavan kautta tulevan anturitiedon yhdistämi-

sessä toimintoihin ja vastaavasti välittää komentoja toiminnosta laitteelle. Kuvassa 2.13 on havainnollistettu openHAB-arkkitehtuurin laitteiden ja toimintojen välistä vuorovaikutusta.

openHAB-kotiautomaatioalustalla on oma verkkokäyttöliittymä sekä erillinen mobiilisovellus. Näiden käyttöliittymien avulla käyttäjät voivat valvoa ja hallita kotiautomaation toimintoja, kuten valaistusta, lämmitystä, turvajärjestelmiä ja monia muita toimintoja. Lisäksi openHAB tarjoaa REST API -rajapinnan, jonka avulla se voidaan integroida muihin sovelluksiin ja palveluihin.

openHAB kuten myös aiemmin esitelly Home Assistant mahdollistaa asennuksen paikallisesti, jolloin järjestelmä voi toimia pilviriippumattomasti.



Kuva 2.13: openHAB-arkkitehtuuri[66]

2.3.3 Valmistajakohtaiset alustaekosysteemit

Luvussa 2.3.1 tutustuimme valmistajakohtaisiin kotiautomaatioekosysteemiin ja luvussa 2.3.2 tutustuimme valmistajariippumattomiin kotiautomaatioalustoihin. Tämän lisäksi on olemassa vielä kolmas kotiautomaatioalue, jossa laitevalmistaja keskittyy toteuttamaan ja tuotteistamaan yhdyskäytävälaitteen. Valmistaja pyrkii toteuttamaan yhdyskäytävälaitteeseen mahdollisimman monen eri laitevalmistajan laitteiden tuen, jonka ympärille kuluttaja voi hankkia joukoa eri laitevalmistajien älylaitteita. Tähän kuuluu myös esimerkiksi aliluvussa 2.3.2 mainittu Home Assistant Yellow.

Cozify on suomalainen yritys, joka perustettiin vuonna 2013 ja on keskittynyt älykäden teknologiaratkaisujen luomiseen energiatehokkuuden, turvallisuuden ja mukavuuden parantamiseksi kodeissa ja työtiloissa. Yrityksen tarjoama alusta on avoin, mikä mahdollistaa käyttäjien rakentavan sitä omien automaatiotarpeidensa mukaisen kokonaisuuden.

Cozify-alusta tarjoaa ratkaisuja valaistuksen ja lämpötilan säätöön, jotka edistävät viihtyisämpään asuinympäristöä. Alusta korostaa energiatehokkuutta tarjoamalla ominaisuuksia lämmityksen, ilmastoinnin ja vedenkulutuksen seurannan ja optimoinnin. Cozify-alusta on turvallisuus keskeinen, jonka painopisteenä on kodin turvallisuus kuten valvontakamerat, liiketunnistimet, ovitunnistimet, ikkunatunnistimet, palo- ja häikävaroitin. Cozify-alustalla on Traficom myöntämä tietoturvamerkki, joka tarkoittaa laitteen olevan riittävän turvallinen ja täyttää kotitalouksille asetetut kyberturvallisuus vaatimukset.

Laitetuki on merkittävä osa Cozifyn alustaa. Se mahdollistaa hyvin laajan älylaittevalikoiman, joita voidaan liittää järjestelmään [20].

Cozify-alustasta on olemassa kaksi versiota, joista ensimmäinen Cozify ZEN on kiinteästi kiinteistöön asennettava laite ja Cozify ION on tarkoitettu kuluttajakäyttöön. Cozify ZEN on suunniteltu kiinteistöihin kiinteästi asennettavaksi, joka edellyttää sähköammattilaisen asennusta. Cozify ZEN laite soveltuu yksittäisen kotitalouden tai kerrostalokiinteistön hallintaan. Cozify ION vastaavasti on kuluttajalle suunnattu laite, joka palvelee yksittäisen kotitalouden tarpeita.

Cozify ION tukee langattomia protokollia, kuten Zigbee, Bluetooth LE 4.0, 433MHz, WiFi ja Z-Wave, mikä helpottaa eri laitteiden kytkemistä järjestelmään. Vastaavasti Cozify ZEN protokolla tuki on Cozify ION laajempi ja enemmän teollisuuden protokollia tukeva. Cozify ZEN tukee langattomia protokollia kuten Z-Wave, Zigbee, 868MHz, 433MHz ja langallisia protokollia, kuten Modbus RTU, M-Bus, BACnet/IP ja HTTPS/REST.

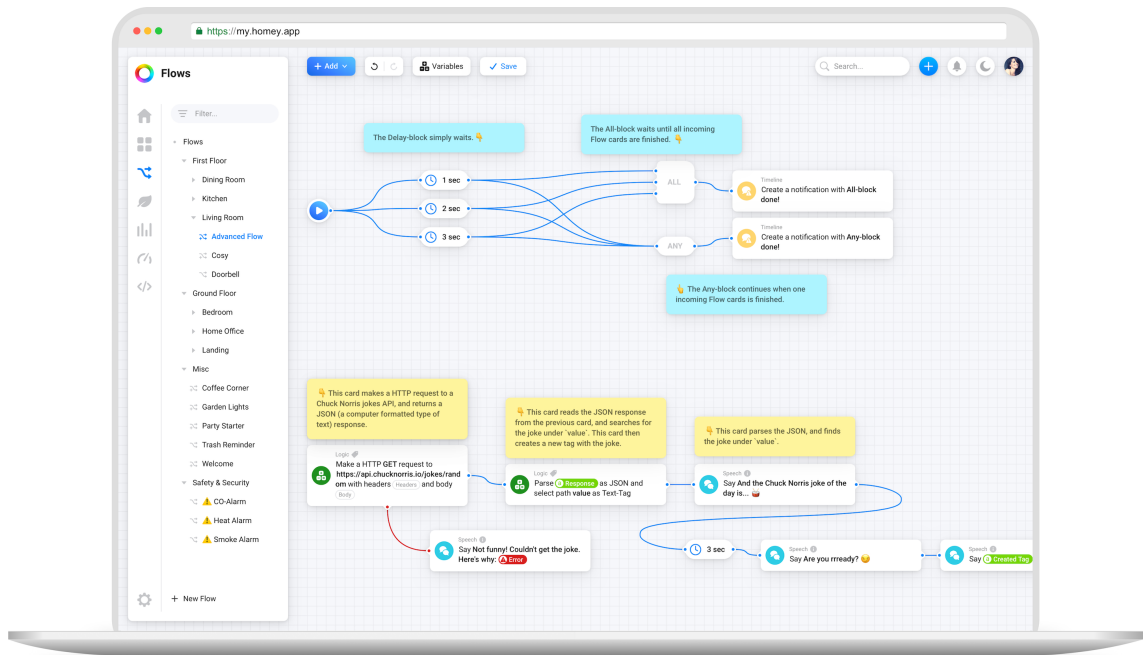
Homey on älykotikeskus, jonka on valmistanut hollantilainen Athom B.V. -yhtiö. Se on suunniteltu toimimaan keskitettynä alustana älykodin eri komponenttien konfiguroinnissa, hallinnassa ja valvonnassa.

Homey-ekosysteemi on kehittynyt eri malleilla sen jälkeen kun se ensimmäisen kerran tuotoon markkinoille prototyyppi projektina vuonna 2014. Alkuperäinen vuoden 2016 malli sisälsi sisäänrakennetun mikrofonin ja tuki erilaisia tiedonsiirtoteknologioita, kuten WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave ja infrapuna. Vuoden 2019 Homey-

malli toi mukanaan uuden mobiilisovelluksen ja vastaavasti vuonna 2019 julkaistu **Homey Pro** -malli tarjoaa paremmat laitteistomahdollisuudet [31][33]. Vuoden 2023 Homey Pro -malli esittelee uuden toteutuksen, joka perustuu Raspberry Pi Compute Module 4 laskenta-alustaan, joka sisältää neliydinprosessorin, 2 GB RAM-muistia ja 8 GB flash-muistia sekä tukee WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, 433MHz, infrapuna, Thread- ja Matter-teknologioita [34][36].

Homeyta markkinoidaan helposti käytettävänä ja edullisena laitteena, joka mahdollistaa hyvin laajan tuen eri älylaitteiden liittämiseksi osaksi Homey-järjestelmää [35]. Homey tarjoaa alustan, jossa käyttäjät voivat hallita kaikkia älykotilaitteitaan yhdestä keskitetystä paikasta, olipa kyse sitten järjestelmän käytöstä kotona tai etäyhteyden kautta. Mobiilikäyttöliittymä on suunniteltu käyttäjäystävälliseksi, mikä tekee älykodin hallinnasta visuaalisesti miellyttävän kokemuksen [32]. Homey-sovelluksen avulla käyttäjät voivat hallita, automatisoida ja valvoa koko älykotijärjestelmäänsä ja päästä siihen käsiksi mistä tahansa maailmassa hallitakseen laitteita keskitetysti, mikä luo tehokkaamman ja mukavamman älykotiympäristön [32].

Homey-laitetta voidaan käyttää mobiili- ja verkkosovellusliittymien kautta, ja se tukee avointa API rajapintaa, joka mahdollistaa kolmannen osapuolien tuotteiden integroinnin Homey-järjestelmään. Homeyssa on visuaalinen toimintojen automatisointi käyttöliittymä, jota kutsutaan Flow-toiminnoksi Homey-sovelluksessa. Flow-toiminto helpottaa älylaitteiden automaatioiden luomista keskittimeen liitettyihin laitteisiin [32] (kts. kuva 2.14).



Kuva 2.14: Homey Flow-toimintojen automatisointi käyttöliittymä[34]

Hyvin teknologisesti valistuneille käyttäjille Homey myös mahdollistaa erilais-
 ten komentosarjojen toteuttamisen javascript pohjaista ohjelmointikieltä käyttäen
 (kts. kuva 2.15).



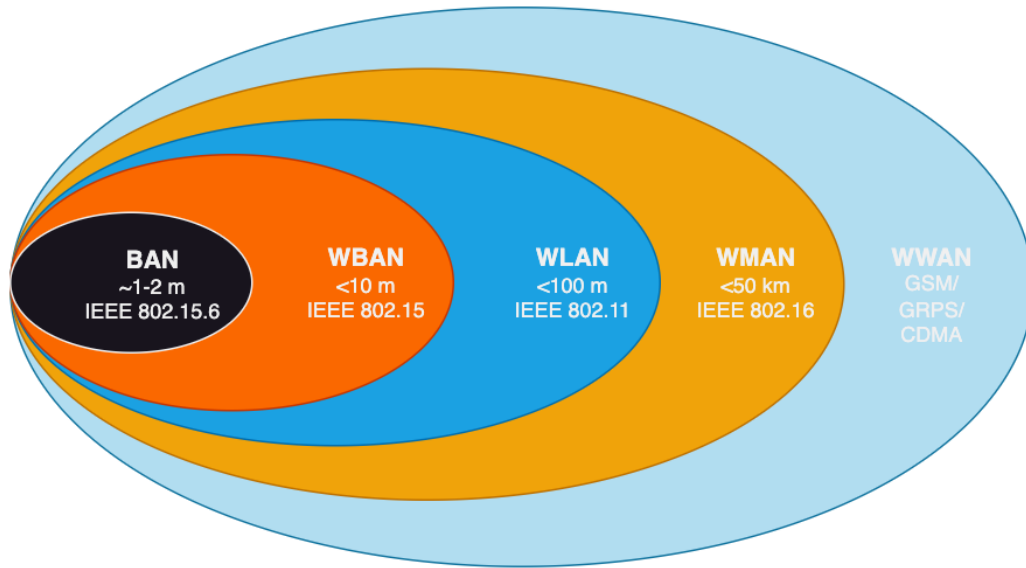
Kuva 2.15: Homey Pro -toimintojen ohjelmointi[34]

3 Kotiautomaation tiedonsiirtoteknologiat

Kotiautomaatiojärjestelmien nopeasti kehittyvässä tarjonnassa kuluttajille usein vähemmälle huomiolle jäävä asia on taustalla olevat tiedonsiirtoteknologiat, jotka ovat edellytys kotiautomaatiojärjestelmän toiminnalle. Tässä luvussa kuvataan kotiautomaatiojärjestelmissä yleisimmin käytetyt tiedonsiirtoteknologiat, jotka toimivat kotiautomaatiojärjestelmien selkärankana ja mahdollistavat tehokkaan kommunikation eri laitteiden, järjestelmien ja alustojen välillä.

3.1 Tiedonsiirtoteknologiat

IEEE 802.11 ja IEEE 802.15 -sarjat ovat langattomien tiedonsiirtoteknologioiden standardeja, jotka on kehitetty Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) -organisaation toimesta. Nämä standardit määrittelevät tekniset vaatimukset ja protokollat puettaville verkoille (BAN), henkilökohtaisille verkoille (WPAN), langattomille lähiverkoille (WLAN), kaupungin kattaville verkoille (WMAN) ja mobiiliverkoille (WWAN) (kts. kuva 3.1). Kotiautomaatiossa tyypillisimmin käytetään IEEE 802.11 ja IEEE 802.15 standardeihin kuuluvia tiedonsiirtoteknologioita kuten WiFi, Bluetooth, Zigbee ja Thread. Edellä mainittujen lisäksi kotiautomaatiossa on käytössä Z-Wave, joka ei perustu IEEE standardeihin vaan on yritysperäinen tiedonsiirtoprotokolla.



Kuva 3.1: Langattomien verkkojenluokittelu mukaillen kuvaa [13]

Kotiautomaatiojärjestelmien keskeisimmät tiedonsiirtoteknologiat:

- IEEE 802.11 -sarja
IEEE 802.11 WiFi
- IEEE 802.15 -sarja
IEEE 802.15.1 Bluetooth
IEEE 802.15.4 Zigbee
IEEE 802.15.4 Thread
- Yrityspohjaiset teknologiat
Z-Wave

IEEE 802.11 WiFi on langaton verkko, joka perustuu IEEE 802.11 -standardiin. Se on laajalti käytössä kotiautomaatiossa ja Internet of Things (IoT) -sovelluksissa, koska se tarjoaa nopean ja luotettavan tiedonsiirron älylaitteiden välillä. WiFi mahdollistaa laitteiden yhdistämisen paikalliseen verkkoon ja tiedonsiirron laitteiden välillä.

IEEE 802.11 -standardi on julkaistu vuonna 1997, josta on olemassa useita eri versioita kuten 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n (WiFi 4), 802.11ac (WiFi 5) ja 802.11ax (WiFi 6). Taulukossa 3.1 on kuvattu IEEE 802.11 -standardin eri versioiden

keskeisimmät suorituskykyominaisuudet. IEEE 802.11 -standardille on tyypillistä, että tiedonsiirto tapahtuu 2.4 GHz ja 5 GHz taajuuksilla.

2,4 GHz tarjoaa kohtalaisen hyvän kantaman hitaammalla tiedonsiirtonopeudella kun vastaavasti 5 GHz tarjoaa paremman nopeuden, mutta vastaavasti lyhyemmän kantaman. WiFi-verkon kantama voi vaihdella laitteiston, rakennusten ja muiden esteiden vuoksi, mutta yleensä kantama on enintään 100 metriä riippuen lähetettävän signaalin vahvuudesta.

WiFi:n tiedonsiirtonopeus vaihtelee suuresti sen mukaan, mikä 802.11 -standardin versio on käytössä. Esimerkiksi, 802.11n voi tarjota nopeuksia 600 Mbps, kun taas uudempi 802.11ax (WiFi 6) voi tarjota nopeuksia 10 Gbps asti.

WiFi-tiedonsiirtoprotokolla tarjoaa useita turvallisuusprotokollia kuten WEP, WPA, WPA2 ja WPA3. WEP on ensimmäinen WiFi-salaustyyppi, joka käyttää symmetristä salausta. Symmetrinen salaus tarkoittaa, että samaa avainta käytetään sekä tietojen salaamiseen että purkamiseen. WEP on kuitenkin erittäin haavoittuvainen minkä takia sen käyttöä ei enää suositella. WPA esiteltiin vastauksena WEP:in turvallisuuspuutteisiin. WPA parantaa tietoturvaa käyttämällä väliaikaisia avaimia ja TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) -salausta. WPA2 on paranneltu versio WPA:sta, joka käyttää tehokkaampaa AES (Advanced Encryption Standard) -salausta yhdistettynä CCMP (Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol) protokollaan. WPA3 on uusin turvallisuusprotokollaversio, joka on suunniteltu parantamaan tietoturvallisuutta ja korjaamaan aiempien turvallisuusprotokollien puutteita.

WiFi on suunniteltu olemaan yhteensopiva erilaisten laitteiden kanssa ja se on laajalti käytetty laitteissa kuten verkkoreititin, tietokoneet, puhelimet, televisio ja niin edelleen.

Taulukko 3.1: WiFi-versioiden kehitys

Standardi	Vuosi	Nopeus	Taajuus
802.11	1997	2 Mbps	2.4 GHz
802.11a	1999	54 Mbps	5 GHz
802.11b	1999	11 Mbps	2.4 GHz
802.11g	2003	54 Mbps	2.4 GHz
802.11n	2009	600 Mbps	2.4 GHz ja 5 GHz
802.11ac	2013	1 Gbps	2.4 GHz ja 5 GHz
802.11ax	2019	10 Gbps	2.4 GHz ja 5 GHz

IEEE 802.15.1 Bluetooth on langaton tiedonsiirtostandardi, joka perustuu Bluetooth-teknologiaan. Bluetooth kehitettiin alun perin Ericssonilla 1994 lyhyen kantaman langattomaksi viestintäteknologiaksi, jonka tarkoituksena oli korvata kaapelit laitteiden välillä.

Vuonna 1998 perustettiin yhtiö Bluetooth Special Interest Group (SIG) Ericssonin, Intelin, Nokian, Toshiba ja IBM:n toimesta edistämään ja kehittämään Bluetooth-teknologiaa. Bluetooth SIG:n tavoitteena oli luoda yleisesti hyväksytty lyhyen kantaman langaton viestintästandardi, joka toimisi eri laitteiden ja valmistajien välillä [77].

Ensimmäinen Bluetooth-spesifikaatio 1.0 julkaistiin vuonna 1999 ja teknologia jatkoi kehittymistään kunnes vuonna 2002 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) hyväksyi Bluetooth-teknologian IEEE 802.15.1 -standardiksi. Hyväksytty standardi perustui Bluetooth 1.1 -spesifikaatioon ja sen kehitystä jatkoi IEEE [77]. Taulukossa 3.2 on kuvattu eri versiot ja niiden keskeisimmät suorituskyky ominaisuudet.

Vaikka Bluetoothista on olemassa useita eri versiota, niin ne voidaan jakaa muutamisiin pääasiallisiin Bluetooth-teknologia kategorioihin:

- Bluetooth Basic Rate (BR)
- Enhanced Data Rate (EDR)
- Bluetooth Low Energy (BLE)
- Bluetooth Mesh

Bluetooth Basic Rate (BR) ja Enhanced Data Rate (EDR) ovat osa klassista Bluetoothia, joka toimii 2,4 GHz:n taajuuskaistalla. BR käyttää Gaussin taajuusvaihtovainta (GFSK) tiedonsiirtoon ja se on pakollinen osa Bluetooth-standardia. EDR käyttää vaiheensiirtomodulaatiota (PSK) ja sisältää kaksi alatyppiä: $\pi/4$ -Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK) ja Differential Phase Shift Keying (DPSK). EDR mahdollistaa suuremman tiedonsiirtonopeuden verrattuna BR:ään. Klassiset Bluetooth-laitteet, kuten Bluetooth-kuulokkeet, langattomat näppäimistöt ja kaiuttimet, hyödyntävät usein BR ja EDR:ää korkean läpäisykyvyn yhteyksien luomiseen.

Bluetoothin kantama riippuu laitteen versiosta (kts. taulukko 3.2), mutta kantama tyypillisesti 10 metriä ja enintään 400 metriä avoimessa tilassa riippuen versiosta. Myös Bluetoothin tiedonsiirtonopeus riippuu käytetystä Bluetooth-versiosta.

Esimerkiksi Bluetooth 4 versio tukee tiedonsiirtonopeuksia 1 Mbps asti, kun taas Bluetooth 5 versio voi siirtää tietoja jopa 2 Mbps.

Bluetooth Low Energy (BLE) puolestaan keskittyy energiatehokkuuteen ja on suunniteltu erityisesti pienitehoisille laitteille, kuten älykkäille antureille, terveys- ja kuntoilulaitteille sekä kotiautomaatiojärjestelmille. BLE tarjoaa nopeamman yhteydenmuodostuksen ja pienen energiankulutuksen verrattuna klassiseen Bluetoothiin.

Bluetooth-tietoturva perustuu siihen, että kaksi Bluetooth-laitetta pitää parittaa toisiinsa ja tyypillisesti se on toteutettu niin, että se vaatii käyttäjän toimenpiteitä. Parituksen jälkeen Bluetooth-laitteet voivat kommunikoida toistensa kanssa. Bluetoothin yleisimmin käyttämä salausmenetelmä on symmetrinen avainsalaus, jota käytetään sekä tietojen salaamiseen ja myös niiden purkamiseen. Tätä avainta kutsutaan myös linkkiavaimeksi, joka luodaan laiteparia tehtäessä.

Bluetooth mahdollistaa Mesh-verkkotekniikan käyttämisen, joka on suunniteltu toimimaan Bluetooth Low Energy (BLE) laitteilla Bluetooth versiosta 4 alkaen. Bluetooth Mesh -verkossa laitteet muodostavat suoraan yhteyden muihin verkon laitteisiin ilman, että verkossa on määriteltä reititintä. Bluetooth Mesh käyttää viestien välittämiseen tulvaverkkoa (Flooding) tekniikka, jossa viesti toistetaan verkon kaikille laitteille kunnes viesti lopulta päättyy vastaanottavalle laitteelle. Vaikka tulvaverkon vahvuus on sen luotettavuudessa varmistaa viestin perille meneminen vastaanottavalle laitteelle, niin se myös rasittaa enemmän verkkoa johtuen viestien toistamisesta.

Taulukko 3.2: Bluetooth-versioiden kehitys

Versio	Vuosi	Nopeus	Kantama
v1.0	1999	1Mbps	10m
v1.1	2002	1Mbps	10m
v1.2	2003	1Mbps	10m
v2.0 + EDR	2004	3Mbps	100m
v2.1 + EDR	2007	3Mbps	100m
v3.0 + HS	2009	3Mbps	100m
v4.0 + LE	2010	1Mbps	100m
v4.1	2013	1Mbps	100m
v4.2	2014	1Mbps	100m
v5.0	2016	2Mbps	400m
v5.1	2019	2Mbps	400m
v5.2	2020	2Mbps	400m

IEEE 802.15.4 Zigbee on langaton tiedonsiirto-standardi, joka perustuu IEEE 802.15.4 -standardiin. Zigbeen on kehittänyt voittoa tavoittelematon Zigbee Alliance -organisaatio. Zigbee on suunnattu sovelluksiin, jotka vaativat matalaa tiedonsiirtonopeutta, pitkää akun kestoa ja turvallista verkkoa. Zigbee-protokolla on suunniteltu tukemaan laajoja laiteverkkoja ja Mesh-verkkoja [76].

Tähän mennessä Zigbeestä on julkaistu kolme versiota Zigbee-2004, Zigbee-2006 ja Zigbee-2007. Kaikille Zigbee-versiolle yhteistä on samat suorituskyky ominaisuudet kuten 250kbps tiedonsiirtonopeus ja maailmanlaajuisesti käytössä oleva 2,4 GHz taajuusalue, mutta sen lisäksi Euroopassa on käytössä 868 MHz taajuusalue ja Amerikassa 915 MHz taajuusalue. Zigbee-julkaisut sisältävät enimmäkseen erilaisia parannuksia ja laajennuksia protokollan eri kerroksilla, kuten sovelluskerroksen profiileissa, turvallisuusominaisuuksissa ja verkkokonfiguraatioissa [76].

Zigbee-tiedonsiirtonopeus vaihtelee, riippuen mitä taajuusaluetta käytetään. Taulukossa 3.3 on kuvattu miten taajuudet ja modulaatio vaikuttavat Zigbee-tiedonsiirtonopeuteen. 2,4 GHz taajuusalueella Q-QPSK on ainut käytettävissä oleva modulaatio, joka mahdollistaa 250 kbps tiedonsiirtonopeuden. Vastaavasti 915 MHz ja 868 MHz taajuusalueilla tiedonsiirtonopeus riippuu käytettävästä modulaatiosta esimerkiksi BPSK modulaatio 915 MHz taajuusalueella mahdollistaa 40 kbps tiedonsiirtonopeuden ja vastaavasti 868 MHz taajuusalueella 20 kbps tiedonsiirtonopeuden [62][43].

Taulukko 3.3: Zigbee-tiedonsiirtonopeudet [62][43]

Taajuus	Modulaatio	Tiedonsiirtonopeus
2.4 GHz	Q-QPSK	250 kbps
915 MHz	BPSK/ASK/O-QPSK	40/250/25 kbps
868 MHz	BPSK/ASK/O-QPSK	20/250/100 kbps

Zigbee-verkkojen kantama riippuu monista tekijöistä, kuten laitteiston ominaisuuksista, ympäristöstä ja käytetyistä antenniratkaisuista. Tyypillisesti Zigbee-laitteiden kantama on enintään 100 metriä sisätiloissa ja avoimessa ulkotilassa jopa 1-2 kilometriä. Zigbee Mesh -verkkojen ansiosta kantamaa voidaan kuitenkin laajentaa merkittävästi reitittimien avulla, jossa jokainen laite voi toimia reitittimenä ja laajentaa verkon kantamaa [76].

Zigbee tarjoaa AES 128 -bittisen salauksen, joka parantaa tietoturvaa ja suojaa luvattomalta pääsylvä verkkoon.

IEEE 802.15.4 Thread perustuu IEEE 802.15.4 -standardiin ja sen kehittämistä hallinnoi Thread Group, Inc. yhtiö. Thread Group, Inc. perustettiin seitsemän yrityksen, ARM (Softbank), Big Ass Fans, Freescale (NXP), Nest Labs (Google), Samsung, Silicon Labs ja Yale Locks yhteistyöllä. Ensimmäinen Thread-spesifikaatio v1.0 julkaistiin vuonna 2015 [73].

Protokolla perustuu IEEE 802.15.4 -standardiin, joka on yleisesti käytetty langattomissa sensori- ja ohjausverkoissa. Thread on suunniteltu erityisesti kotiautomaatioon ja IoT-sovelluksiin. Thread on tarkoitettu avoimeksi standardiksi ja se perustuu useisiin RFC-standardeihin [73][3]. Thread käyttää MeshCoP (Mesh Commissioning Protocol) -protokollaa laitteiden liittämiseen paikalliseen verkkoon. Thread tukee verkkojen itseorganisointumista ja verkot kykenevät toipumaan virhetilanteista (Self-healing). Jos verkkoyhteys johonkin laitteeseen katkeaa, Thread-verkko voi automaattisesti reitittää tiedonvaihdon toisen laitteen kautta. Protokolla mahdollistaa uusien radiolaitteiden turvallisen tunnistamisen, liittämisen ja yhdistämisen Mesh-verkkoon.

Eriyisen Thread-protokollasta tekee se, että se on IPv6-pohjainen, jossa jokaisella verkon laitteella on IPv6-osoitteet. Thread käyttää 2,4 GHz:n taajuusaluetta ja O-QPSK-modulaatiota ja se kykenee 250 Kbps tiedonsiirtonopeuteen ja 100m kantomatkaan per Mesh-verkkosolmu. Thread määrittelee oletusarvoisesti maksimihyppyrajaksi (hop limit) 36 hyppyä, mikä tarkoittaa, että tiedot voivat kulkea enintään

36 solmun kautta ennen kuin ne saavuttavat määränpänsä. Thread-protokolla pystyy yhdistämään jopa 250 laitetta yhteen verkkoon, joka on yleensä riittävä kotiautomaatiojärjestelmille ja monille älykotisovelluksille. Mesh-verkkoarkkitehtuurin ansiosta Thread-verkko voi kasvaa ja skaalautua tarpeen mukaan, ja yksittäisten laitteiden lisääminen tai poistaminen verkosta on helppoa. Joustavuus ja laajennettavuus tekevät Thread-protokollasta sopivan valinnan erilaisiin IoT-ympäristöihin ja sovelluksiin [73][3].

Kuten Zigbee, myös Thread on suunniteltu pienitehoisiin sovelluksiin ja sen virrankulutus on erittäin pieni. Tämä mahdollistaa pitkän akunkeston, joka on tärkeä ominaisuus IoT-laitteille.

Thread tarjoaa monia turvallisuusominaisuuksia, kuten 128-bittisen AES pakettien salauksen[46][9], J-PAKE(Password Authenticated Key Exchange by Juggling) salatut verkkoavaimet ja automaattiset avainten päivitykset[38][9].

Z-Wave on langaton tiedonsiirtoprotokolla, joka on suunniteltu erityisesti IoT-sovelluksiin ja se esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 2001 tanskalaisen Zensys-yrityksen toimesta [21]. Z-Wave on tiedonsiirto protokolla, joka ei ole IEEE standardi vaan on yksityisen Zensys-yrityksen sertifioima tiedonsiirtoprotokolla, jota nykyään hallinnoi Z-Wave Alliance. Z-Wave Alliance kehittää ja valmistaa Z-Wave-yhteensopivia tuotteita [45].

Z-Wave toimii Euroopassa 868 MHz taajuusalueella ja Amerikassa 915 MHz taajuusalueella, joka vähentää merkittävästi häiriöitä muiden langattomien teknologioiden, kuten Wi-Fi:n ja Bluetoothin kanssa. Z-Wave-laitteiden tyypillinen kantama on noin 30 metriä sisätiloissa, mutta se voi olla jopa 100 metriä esteettömässä ulkotilassa [25]. Z-Wave verkot tukevat myös Mesh verkkoa, jolloin jokainen laite voi toimia reitittimenä ja laajentaa verkon kantamaa. Z-Wave tukee jopa 232 laitetta yhdessä verkossa. Tiedonsiirron turvallisuuden takaamiseen Z-Wave käyttää AES 128 -bittistä salausta.

Z-Wave tiedonsiirtonopeus on suhteellisen pieni, tyypillisesti 100 kbps, mikä riittää useimpiin IoT tarkoituksiin. Z-Wave-protokolla tarjoaa erilaisia siirtonopeuksia, jotka vaihtelevat 9,6 kbps:stä aina 100 kbps:iin [25].

Z-Wave on suunniteltu pienitehoisiin sovelluksiin ja sen virrankulutus on erittäin pieni. Tämä mahdollistaa pitkän akunkeston, joka on tärkeä ominaisuus IoT-laitteille.

Taulukossa 3.4 on kuvattu aiemmin käsitellyjä tiedonsiirtoteknologioita, josta voi nopealla silmäyksellä saada yleiskuvan tiedonsiirtoteknologioiden ominaisuuksista ja verrata niitä toisiinsa. Esimerkiksi WiFi-tiedonsiirtoprotokolla tukee nopeaa tiedonsiirtoa, mutta tiedonsiirron nopeuden kääntöpuolena on suuri virrankulutus kun vastaavasti muilla tiedonsiirtoprotokollilla tiedonsiirtonopeus ei ole merkittävä, mutta vastaavasti virrankulutus on pieni.

Taulukko 3.4: Tiedonsiirtoteknologia vertailu

	WiFi	Bluetooth	Zigbee	Z-Wave	Thread
Kantama	<100 m	<100 m	<100 m	<100 m	<100 m
Taajuusalue	2.4 GHz, 5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz, 868 MHz (EU), 908 MHz (US)	868 MHz (EU), 908 MHz (US)	2.4 GHz
Tiedonsiirtonopeus	<1200 Mbps	1-3 Mbps	20-250 kbps	9,6-100 kbps	<250 kbps
Verkkotopologia	Tähti	Mesh, Tähti	Mesh, Tähti	Mesh, Tähti	Mesh
Virrankulutus	Korkea	Matala	Matala	Matala	Matala

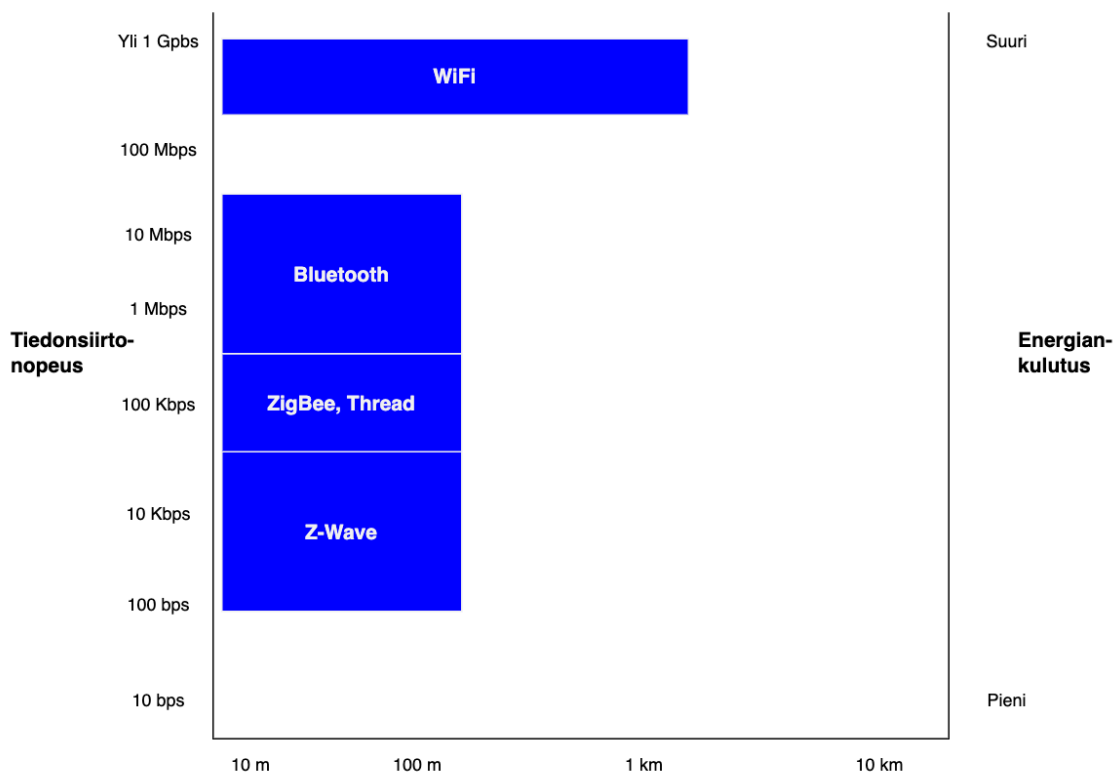
3.2 Teknologioiden soveltuvuus kotiautomaatioon

Luvussa 3 käsiteltiin kotiautomaatiossa yleisemmin käytettyjä tiedonsiirtoteknologioita ja vertailtiin niiden ominaisuuksia. Tämän alaluvun tarkoitus on antaa käsitys miten aiemmin käsitellyt WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave ja Thread [68][60][25] tiedonsiirtoteknologiat soveltuvat kotiautomaatiojärjestelmiin (katso taulukko 3.5).

Taulukko 3.5: Tiedonsiirtoprotokollien käyttökohteita kotiautomaatiossa

WiFi	Bluetooth	Zigbee	Z-Wave
Patteritermostaatit, älykaiuttimet, turvakamerat, älytelevisiot, kodinkoneet, valaistus	Ovilukot, lamput, langattomat kaiuttimet, valaistus, valokytkimet, patteritermostaatit	Ovilukot, ikkuna-anturit, energianseuranta, pistorasiat, liiketunnistimet, turvajärjestelmät, savunilmaisimet, hälyttimet	Valaistus, valokytkimet, patteritermostaatit, ovilukot, ikkuna-anturit, energianseuranta, pistorasiat, liiketunnistimet, turvajärjestelmät, savunilmaisimet, hälyttimet

Kotiautomaatiojärjestelmän laitteiden valintaan vaikuttavat monet kriteerit, kuten kantama, kaistanleveys, luotettavuus, yhteensopivuus, energiatehokkuus ja kustannustehokkuus. Tutkimuksissa [68] ja [72] on kuvattu laajasti tiedonsiirtoon liittyviä tiedonsiirtoprotokollia ja niiden ominaisuuksia. Kuvassa 3.2 on havainnollistettu eri tiedonsiirtoprotokollien kantamaa, kaistanleveyttä ja energiakulutusta suhteessa toisiinsa.



Kuva 3.2: Tiedonsiirtoprotokolla suorituskykyvertailu [39]

Kotiautomaatiojärjestelmän kannalta keskeisimmät ominaisuudet ovat: Kantama, kaistanleveys, luotettavuus ja paristokäyttöisyys. Toki myöskin tietoturva on keskeinen ominaisuus kotiautomaatiojärjestelmälle, mutta tässä alaluvussa keskitytään enemmän langattoman teknologian soveltuvuuteen.

Kantama on ensisijainen tekijä kotiautomaatiojärjestelmän kannalta, jotta laitteet voisivat kattaa mahdollisimman laajan alueen kodista. Laitteiden etäisyys määrittyy kotiautomaatiojärjestelmän yhdyskäytävän sijainnista ja käytetystä verkkotopologiasta kuten tähti tai Mesh verkkoratkaisut. Kotiautomaatiossa tyypillisesti tarvitaan lyhyen kantaman tiedonsiirtoprotokollia, koska laitteet sijaitsevat yleensä samassa rakennuksessa kohtuullisella etäisyydellä toisistaan. Tähän käyttötarkpeeseen käytännössä soveltuu hyvin kaikki luvussa 3 kuvatut tiedonsiirtoprotokollat kuten WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Thread.

Kaistanleveys on toinen tärkeä kriteeri kotiautomaatiojärjestelmässä, mutta sen tarve riippuu siitä edellyttääkö sovellus suurta tiedonsiirtonopeutta. Tyypillisesti kotiautomaatiojärjestelmässä nopeaa tiedonsiirtoa ja suurta määrää datan lähettämistä vaativat sovellukset ovat valvontakamerajärjestelmät, jotka lähettävät reaai-

liikaisesti videokuvaa järjestelmään. Valittu teknologia määrittää, kuinka paljon tietoa voidaan siirtää verkossa ja kuinka nopeasti. Suuri tiedonsiirtokyky tyypillisesti kuitenkin tarkoittaa myös suurempaa energiakulutusta verrattuna tiedonsiirtoon, jossa tietoa siirretään vain vähän ja harvoin. Tyypillisesti suurta tiedonsiirtonopeutta vaativiin tarkoituksiin käytetään WiFi-verkkoa ja erillistä virtalähdettä, koska monestikin paristokäyttöisenä ratkaisuna toiminta-aika jää vaatimattomaksi. Vaihtoehtoisesti kotiautomaatiojärjestelmien valvontakamerajärjestelmissä käytetään POE (Po-wer over Ethernet) Ethernet verkkoliitäntää tiedonsiirtoon ja virtalähteenä. POE on Ethernet verkko, jossa data siirtyy Ethernet kaapelia pitkin ja toisaalta laite saa tarvittavan virran verkkoliitännästä.

Tiedonsiirtoprotokollan luotettavuus on tärkeä tekijä kotiautomaatiojärjestelmässä, jotta kodinturvalliset kuten murto- tai paloilmajärjestelmien viestit välittyvät lähes viiveettömästi ja nopeasti järjestelmässä. Esimerkiksi Z-Wave on kodinturvajärjestelmiin hyvinkin soveltuva tiedonsiirtoprotokolla, koska se toimii eri taajuuksalueilla kuin valtaosa muita tiedonsiirtoprotokollia. Tämä vähentää tiedonsiirto-kanavalla tapahtuvia häiriöitä. Lisäksi Zigbee ja Thread ovat myös soveltuvia kodinturvallisten tiedonsiirtoprotokolliksi, koska nekin Z-Wave mukaan lukien tukevat Mesh tiedonsiirtoverkkoa, joka parantaa viestien läpimenoa reitityksen ansiosta.

Paristokäyttöisyys on nykypäivänä lähestulkoon edellytys kotiautomaatiojärjestelmän laitteille kuten valopainikkeet, paloilmajaisimet, vesivahinkoilmaisimet, patteritermostaatit ja niin edelleen. Paristokäyttöisiin tarkoituksiin soveltuu kaikki tiedonsiirtoprotokollat pois lukien WiFi, jonka suuri virrankulutus heikentää laitteiden käyttöaika. Paristokäyttöisten laitteiden käyttöikä voi olla useita vuosia.

4 Kotiautomaation haasteet

Kotiautomaatioteknologialla on valtavasti potentiaalia ja mahdollisuuksia laajentua laajempaan käyttöön kotitalouksissa. Kotitalouksien kiinnostus kotiautomaatiota kohtaan perustuu, miten hyödyllisenä älyteknologiat nähdään päivittäistä elämänlaatua parantavina [12]. Kotiautomaatio voi auttaa kodin energiatehokkuuden optimoinnissa ja asumismukavuuden parantamisessa. Lisäksi oikeilla kotiautomaatiolaitte valinnoilla voi myös olla kansallisella tasolla mahdollisuuksia vaikuttaa hiilijalanjäljen vähentämiseen asumisessa.

Kodin energiatehokkuuden parantaminen on keskeisessä roolissa päästöjen vähentämisessä. Asumisesta muodostuvia päästöjä voidaan pienentää optimoimalla lämmitystä, valaistusta ja laitteiden käyttöä siten, että energiankulutus minimoidaan [12][63]. Kodin energiatehokkuuteen voidaan myös vaikuttaa säätämällä kodin lämpötilaa automaattisesti tarpeen mukaan. Esimerkiksi älytermostaatit voivat säätää lämpötilaa asukkaiden läsnäolon ja sääolosuhteiden mukaan. Lisäksi kodin ilmanvaihtojärjestelmän automaattinen älyohjaus voi parantaa sisäilman laatua ja vähentää energiankulutusta [30]. Samalla kun kodin energiatehokkuus paranee niin se voi merkittävästi pienentää asumisen hiilijalanjälkeä [30].

Myöskin älykkäät valaistusjärjestelmät voivat automaattisesti säätää valon voimakkuutta ja värejä tilanteen mukaan, sekä sammuttaa valoja kun ne eivät ole tarpeen. Kodinkoneita, kuten pesukoneita, astianpesukoneita ja viihde-elektroniikkaa, voidaan ohjata älykkäästi pienentämällä kulutusta ja optimoimalla käyttöaikoja yöaikaan, jolloin sähköhinta edullisempi [30].

Kotiautomaatioon liitetyt turvallisuus ratkaisut tyypillisesti toimivat taustalla itsenäisesti ja ilmoittavat olemassa olostaan asukkaille vain tarpeen vaatiessa erilaisien hälytysten muodossa. Tällaisia asukkaille mielenrauhaa tuottavia turvallisuusjärjestelmiä ovat palo- ja häikävaroitin, murtoilmaisit ja valvontakamerajärjestelmät.

Kotiautomaation etäohjauksella voidaan parantaa, erityisesti vanhuksien ja liikuntarajoitteisten ihmisten elämää, mahdollistaen heille mahdollisuuden nauttia itsenäisemmästä elämästä kotona mahdollisimman pitkään. Kotiautomaatio voi myös mahdollistaa läheisille ja vanhustenkotihoidolle vanhuksien ja liikuntarajoitteisten

etäseurannan, jonka avulla voidaan nopeuttaa avun tai etäohjeistuksen antamista [75][63]. Suunnittelussa kuitenkin tulisi huomioida laitteiden helppokäyttöisyys kaikenikäisille ja -kykyisille ihmisille. Esimerkiksi mobiilikäyttöliittymät tulisivat olla intuitiivisia ja soveltuvia myös vammaisille henkilöille [47][18].

Näin ollen kotiautomaation mahdollisuudet voidaan ajatella koskettavan kotia ja sen asukkaita. Vastaavasti haasteet painottuvat valtaosin älyteknologiaan, käytettävyyteen ja yhteensopivuuteen.

4.1 Kotiautomaation haasteet

Kotiautomaatioon liittyy monia erilaisia haasteita, joista osa on teknisiä haasteita ja osa liittyy asukkaiden huolenaiheisiin. Teknologiaan liittyvät haasteet käsittävät yhteensopivuuteen, turvallisuuteen ja laajennettavuuteen liittyviä haasteita. Vastaavasti kuluttajan näkökulmasta monestikin haasteet liittyvät käytettävyyteen ja yksityisyyteen [18][12]. Keskeinen haaste kotiautomaatiossa kuitenkin liittyy älykotituotteiden lainsäädöksiin [1] ja standardien puutteeseen [1][63][4], jonka seurauksena laitevalmistajilla on omat ekosysteemit.

Älyteknologian kannalta laitteiden ja järjestelmien yhteentoimivuus on merkittävä haaste, koska valmistajien laitteiden välillä ei ole standardoituja viestintäprotokollia ja datamalleja [63][49][4]. Ilman yhteistä kieltä laitteet eivät voi kommunikoida tai toimia tehokkaasti yhdessä, mikä rajoittaa kykyä luoda täysin integroitu kotiautomaationjärjestelmä. Älykotiteknologioiden standardien puute on johtanut pirstoutuneeseen markkinaan, jossa eri valmistajat noudattavat erilaisia protokollia ja datamalleja [1][63][4]. Tämä standardien puute vaikeuttaa älylaitteiden yhteentoimivuutta ja voi heikentää turvallisuutta.

Älylaitteiden määrän kasvaessa myös turvallisuusriskit kasvavat. Vahvojen turvallisuusprotokollien puute voi tehdä kotiautomaatiojärjestelmän verkosta houkuttelevan kohteen hyökkääjille, joka mahdollistaa järjestelmän dataan pääsyn ja järjestelmän hallinnan [71][12][1][29]. Myöskään kehitystä ohjaavat tietosuojalait eivät riittävästi sisällä älyteknologioihin liittyviä säädöksiä, kuten tietojen omistajuuden, suostumuksen ja yksityisyyden osalta [1]. Tämä lisää kotitalouksien ja käyttäjien huolta siitä miten älyteknologioiden keräämiä tietoja kodista ja sen asukkaista käytetään. Älylaitteet saattavat välittää kodista kerätyt tiedot laitevalmistajien pilvialustoihin. Tietojen välittäminen laitevalmistajan pilvialustaan mahdollistaa valmistajaa tarjoamaan parempaa palvelua kodin asukkaille, mutta asukkaiden huolenai-

heena on tietojen mahdollinen väärinkäyttö ja ymmärrys siitä mihin tietoa ylipäättään käytetään [29][63][47]. Laitevalmistajilta puuttuu riittävän läpinäkyvyyden antaminen kuluttajille, miten näitä tietoja käytetään ja kuka pääsee niihin käsiksi [12].

Myöskin käyttäjät saattavat kokea älykoteknologiat monimutkaisina ja hyötyjen arviointi voi olla vaikeaa, joka vaikuttaa käyttäjien hyväksyntään [1]. Käyttäjien tulisi nähdä selvät hyödyt ja helppokäyttöisyys, jonka jälkeen teknologiat hyväksytään käyttöön. Käyttäjien näkökulmasta älylaitteiden asennus, käyttö ja ylläpito saatetaan nähdä haasteellisena [47][65], jos käyttäjät eivät ole teknologisesti edistyneitä [47][18]. Tämä monimutkaisuus voi toimia esteenä käyttöönotolle ja älylaitteen hankinnalle. Myös ihmisten yhteiskunnallinen asema ja koulutustausta voi merkittävästi vaikuttaa kykyyn omaksua uusia digitaalisia asioita [47][18], joka voi haitata älylaitteiden hankinnan tekemistä. Käyttäjien kokemus monimutkaisuudesta johtuu yksinkertaistettujen älyteknologia ohjeistuksien puutteesta. Älyteknologioiden monimutkaisuuden lisäksi laitteet saattavat pahimmassa tapauksessa vaikeuttaa arkea, jos niiden toimintaan liittyy toistuvia häiriöitä [65][29]. Suorituskyvyn viiveet tai verkkohäiriöt tai järjestelmähäiriöt voivat haitata ja heikentää käyttäjien luottamusta älyteknologioita kohtaan [63][71].

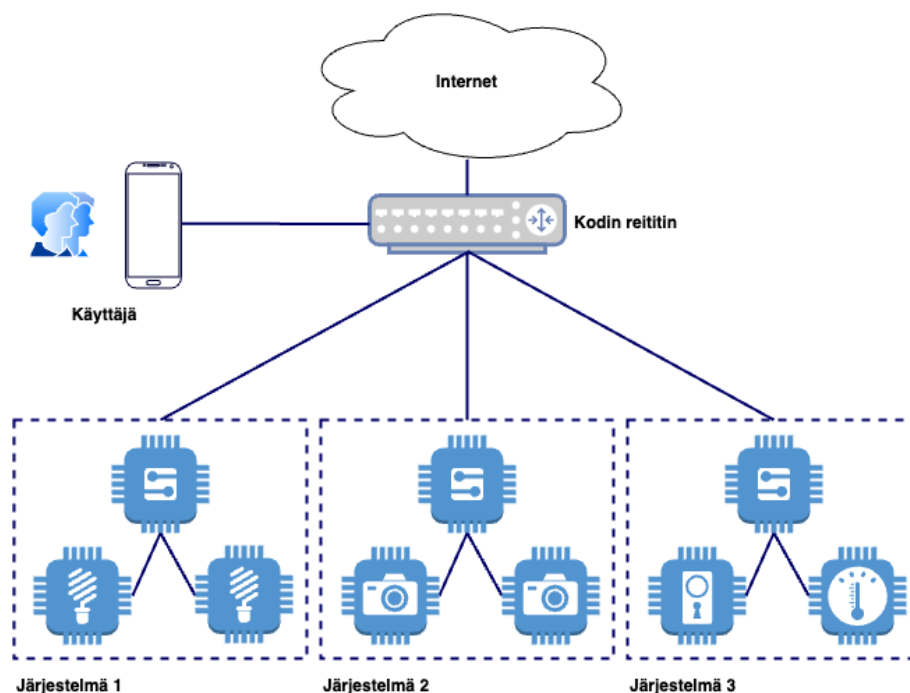
Vaikka käyttäjillä olisi riittävät edellytykset käyttää ja hyödyntää älyteknologioita kotitaloudessa voi tarvittavien alkuinvestointien tekeminen kotitalouteen muodostua haasteeksi. Kodin älylaitteiden alkuinvestointi voi olla suuri [1]. Lisäksi jotkin palvelut voivat vaatia jatkuvia tilausmaksuja, mikä tekee älykoteknologioista monille kotitalouksille kalliita ja siten ei niin houkuttelevia. Vastaavasti eri teknologioiden lisenssikustannukset voivat näkyä älykotilaitteiden myyntihinnoissa merkittävästi. Älykoteknologioiden arvon ja investointien hyötyjen osoittaminen on ratkaisevan tärkeää [47], joka mahdollistaa tai estää laajemman käyttöönoton. Käyttäjien on nähtävä merkittäviä konkreettisia hyötyjä, kuten kustannussäästöjä tai elämänlaadun parantumista, jotta investointi olisi perusteltu [18].

4.2 Kotiautomaation yhteensopivuusongelma

Kuten aliluvussa 4.1 huomattiin, kotiautomaatioon liittyy runsaasti erilaisia haasteita ja tässä aliluvussa keskitytään erityisesti käsittelemään kotiautomaatiojärjestelmiin liittyvää teknistä yhteensopivuusongelmaa.

Laitevalmistajat tyypillisesti suosivat omia laitevalikoimia, joilla järjestelmiä voidaan laajentaa käyttäen valmistajan omaa yhdyskäytävälaitetta ja valmistajan omaa

mobiilisovellusta. Laitevalmistajat myös tyypillisesti valitsevat ja rajaavat kotiautomaatiojärjestelmiin yhteensopivat tiedonsiirtoprotokollat ja laitteet, jotka voivat vaikeuttaa toisten laitevalmistajien laitteiden integrointia ja yhteentoimivuutta samassa kotiautomaatiojärjestelmässä [4][60]. Tämä johtaa loppujen lopuksi siihen, että käyttäjällä on kotitaloudessa käytössään useita eri kotiautomaatiojärjestelmiä ja niihin tarvittavia mobiilisovelluksia. Tämä puolestaan hankaloittaa kokonaisvaltaista hallintaa ja rajoittaa käyttäjien mahdollisuuksia. Kuvassa 4.1 on havainnollistettu tyypillinen tilanne kotitaloudessa, jossa yhdellä järjestelmällä hallinnoidaan valaistusta ja toisella murtohälytyksiä ja kolmannella järjestelmällä muita tehtäviä.



Kuva 4.1: Kodin kotiautomaatiojärjestelmät

Yksi keskeisimmistä syistä yhteensopivuusongelmaan on standardoinnin puute mikä johtaa ongelmaan, jossa järjestelmät eivät kykene kommunikoimaan toistensa kanssa kunnolla [49]. Valmistajat käyttävät järjestelmissään erilaisia tiedonsiirtoprotokollia, minkä seurauksena eri laitteet eivät välttämättä pysty kommunikoimaan järjestelmän kanssa. Tämän lisäksi vaikka laitteet käyttäisivätkin samaa tiedonsiirtoprotokollaa niin se ei tarkoita sitä, että laite välttämättä olisi yhteensopiva järjestelmän kanssa. Tämä johtuu siitä, että valmistajilla on myös käytössä valmistajakokohtaisia datamalleja, joiden erot voivat aiheuttaa semanttista yhteensopivuuson-

gelmaa [49].

Keskeisimmät kotiautomaationjärjestelmien yhteensopivuusongelmat voidaan jakaa kolmeen luokkaan [49]:

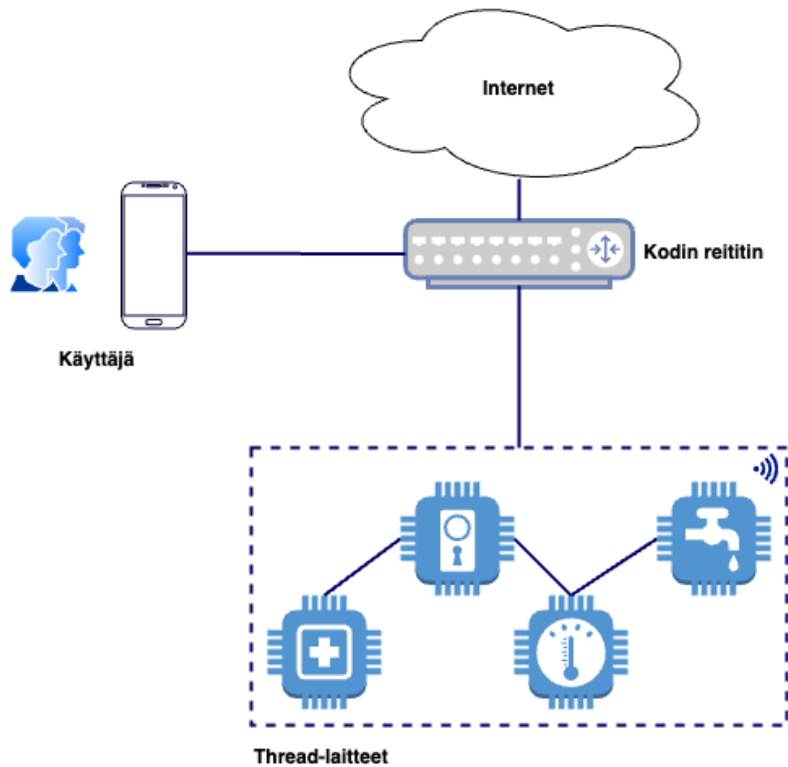
- Perusyhteensopivuus - Tietojenvaihto kahden tai useamman järjestelmän välillä edellyttää yhteistä sopimusta tietojen siirtotavasta, matalantason datamuodosta ja säännöistä.
- Verkkoyhteentoimivuus - Viestien vaihto eri järjestelmien verkkojen välillä. Esimerkiksi kaksi eri järjestelmää toimivat omissa suljetuissa verkoissaan ja ovat kykenettömiä kommunikoidaan toistensa kanssa.
- Datayhteentoimivuus - Järjestelmien välillä siirretyn tiedonmuoto ja rakenne vaativat mekanismeja tiedon yhteiseen muotoon kääntämiseen, jotta järjestelmät voivat käsitellä tiedon samalla tavalla.

Kotiautomaation järjestelmien yhteensopivuusongelmaan yhtenä merkittävänä vaihtoehtona on **Thread**-teknologia, joka on suunniteltu helpottamaan laitteiden yhteentoimivuuteen liittyviä ongelmia IoT- ja kotiautomaatiojärjestelmissä. Thread tarjoaa ratkaisuja laitteiden välisen viestinnän haasteisiin kotiautomaatiossa, keskittyen yhteentoimivuuteen, luotettavuuteen, energiatehokkuuteen, turvallisuuteen ja skaalautuvuuteen [4]. Lisäksi Thread tuo 802.15.4-pohjaiset Zigbee-älylaitteet IP-verkkoon lähelle muita kodin IP-verkkoon kytkettyjä WiFi- ja Bluetooth-älylaitteita.

IoT-ratkaisuiden yksi suurimmista ongelmista on laitteiden yhteensopivuus, jossa monet laitteet käyttävät eri protokollia kommunikointiin, mikä tekee niiden välisestä vuorovaikutuksesta vaikeaa. Thread tarjoaa yleisen standardin laitteiden yhdistämiseen ja kommunikointiin, helpottaen eri älykotilaitteiden välistä vuorovaikutusta. Thread IPv6 -yhteensopivuus mahdollistaa Thread-laitteiden näkyvyyden kodinverkkoon ja tarvittaessa myös Internetiin. IPv6-pohjainen ratkaisu mahdollistaa Thread-laitteiden yhdistämisen teknisesti mihin tahansa IP-verkossa toimivan järjestelmän tai laitteen kanssa, edellyttäen laitteiden ohjelmistojen olevan kykeneviä tulkitsemaan Thread-laitteiden viestejä.

Usein myös kotiverkot voivat kärsiä verkon kuolleista pisteistä ja kantama ongelmista, etenkin suuremmissa kodeissa. Mesh-verkoilla tyypillisesti voidaan vähentää verkon kuolleiden pisteiden ongelmaa ja kantamaan liittyviä haasteita, koska Mesh-verkossa jokainen laite voi toimia viestien reitittäjänä. Thread perustuu Mesh-verkkoon ja Mesh-verkoille tyypilliseen tapaan laitteet voivat kommunikoida

toistensa kanssa ilman erillistä yhdyskäytävälaitetta. Jos yhden laitteen tiedonsiirto epäonnistuu voi verkko korjautua reitittämällä viestit käyttäen verkon toista laitetta. Poikkeuksellisen Thread Mesh -verkosta muihin kotiautomaatiossa tyypillisesti käytettyihin tiedonsiirtoteknologioihin tekee sen laitteiden IP-yhteensopivuus, joka mahdollistaa Thread-verkon laitteiden kytkeytymisen tarvittaessa Internetiin. Tämä on merkittävä ero muihin kotiautomaatiossa käytettyihin Mesh-teknologioihin, joissa tyypillisesti Mesh-verkko on suljettu ja Mesh-verkko tarvitsee erillisen yhdyskäytävälaitteen viestien kommunikointiin Mesh-verkosta muihin verkkoihin. Kuvassa 4.2 on kuvattu kuinka Thread-verkon laitteet voivat toimia reitittimenä ilman erillistä verkon reitintä.



Kuva 4.2: Thread-verkko

Useat kotiautomaatiolaitteet ovat paristokäyttöisiä ja tarvitsevat energiatehokkaita viestintämenetelmiä. Thread on suunniteltu olemaan pieni virrankulutukseltaan, mikä tekee siitä ihanteellisen kotiautomaatiolaitteille, jotka edellyttävät paristokäyttöisenä pitkää toiminta-aikaa.

Thread-teknologia sisältää vahvan salauksen, joka mahdollistaa turvallisen kommunikaation laitteiden välillä. Tämä on erityisen tärkeää, koska Thread-verkon lait-

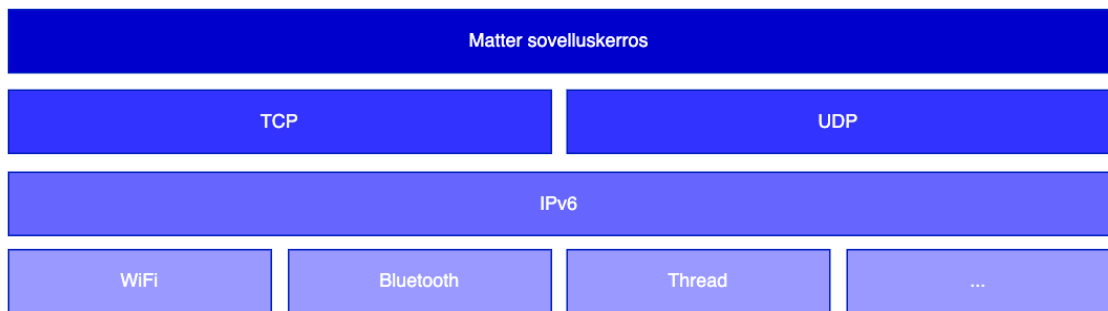
teiden IPv6-osoitteet altistavat laitteet normaaleille Internet tietoturvaavaoittuvuuk-
sille.

Kun eri laitteet ja järjestelmät liitetään yhteen, on verkkojen skaalautuminen pys-
tyttävä toteuttamaan tehokkaasti, jotta kaikki laitteet voidaan liittää järjestelmään.
Thread tukee yli 250 laitetta yhdessä Mesh-verkossa, mikä tekee siitä ihanteellisen
kotiautomaation älylaitteiden ja järjestelmien yhteenliittämiseen.

Threadin lisäksi aivan uusin kotiautomaatiota helpottamaan kehitetty teknolo-
gia on **Matter**, joka on erityisesti suunniteltu IoT sovelluksiin helpottamaan erilais-
ten laitteiden välistä sovelluserroksen ja tiedonsiirtoprotokollien yhteentoimivuut-
ta riippumatta laitevalmistajasta. Matter on tehnyt merkittäviä edistysaskelia älyko-
titeknologian alalla. Suuret yritykset, kuten Google, Amazon ja Apple, ovat lisän-
neet Matter-tuen laitevalikoimaansa. Ennen Matter nimen kaupallistamista Matter
tunnettiin nimellä "Project CHIP"(Connected Home over IP). Matteria kehittää ja
standardia hallinnoi Connectivity Standards Alliance, joka tunnetaan myös nimellä
Zigbee Alliance. Connectivity Standards Alliance kehittää ja ylläpitää myös Zigbee-
standardia.

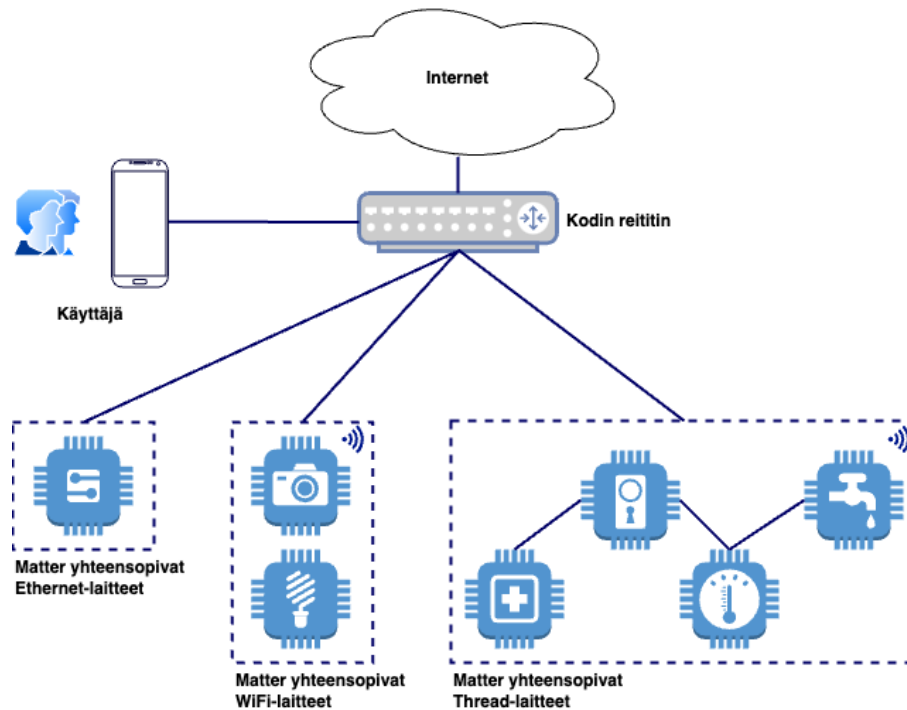
Matterin ensimmäinen versio 1.0 julkaistiin virallisesti lokakuussa 2022 [8], joka
oli suunniteltu toimimaan yhdistävänä teknologiana monille kotiautomaatioratkai-
sulle. Matterista on julkaistu myös versio 1.1 toukokuussa 2023, jonka pyrkimykse-
nä on parantaa Matter tuettujen laitteiden valikoimaa ja valmistajayhteensopivuut-
ta [10]. Matterin viimeisin 1.2 versio on julkaistu lokakuussa 2023, joka laajentaa
laitetukea yhdeksään eri laitetyyppiin kuten jääkaapit, ilmanpuhdistimet, astianpe-
sukoneet, pyykinpesukoneet, robotti-imurit, savu- ja häikäilmaisimet, ilmanlaadun-
mittaus, ilmanpuhdistimet, ja tuulettimet [11]. Matter on vielä voimakkaasti kehit-
tyvä teknologia ja Matter tähtää kahden julkaisun vuositaitiin [10].

Huomattavaa Matter-teknologiassa on, että se ei ole tiedonsiirtoprotokolla vaan
sovelluserros. Toimiakseen Matter tarvitsee tiedonsiirtoprotokollan, jonka yläpuo-
lella se suorittaa tehtävänsä. Matter toimii sovelluserrostasolla kuten kuvassa 4.3
on kuvattu ja se toimii sovittimena eri tiedonsiirtoprotokollille [3]. Matter käyttää
IPv6-verkkoa ja UDP/TCP-tietoliikenneprotokollia kuljetuserroksessa. Matter on
suunniteltu toimimaan Thread (IEEE 802.15.4), WiFi (IEEE 802.11), Bluetooth Low
Energy (IEEE 802.15.1) ja Ethernetin (IEEE 802.3) tiedonsiirtoprotokollien päällä.



Kuva 4.3: Matter-verkkopino mukailleen kuvaa [3]

Koska Matter on vain sovellus ilman kyvykkyyttä kommunikoida laitteiden kanssa niin se tarkoittaa, että se ei yksinään ratkaise mitään ongelmaa. Sen sijaan toimiesseen jonkin tiedonsiirtoprotokollan päällä Matter voi ratkaista yhteensopivuusongelmaa. Esimerkiksi **Thread ja Matter** yhdessä pyrkivät luomaan kokonaisuuden, jossa yhdistyy Threadin edut kuten IPv6 ja Matterin-sovelluskerroksen tietomalliyhteensopivuuden ominaisuudet. Yhdessä Thread ja Matter mahdollistavat minkä tahansa kotiautomaatiojärjestelmän toimilaitteiden yhdistämisen samaan järjestelmään muodostaen yhden kotiautomaatiokokonaisuuden. Toki tämä edellyttää, että laitevalmistajilla on Matter-tuki omalle toimilaitteelle [28][27]. Kuvassa 4.4 on kuvattu kuinka Thread ja Matter yhdessä voivat muodostaa Thread-verkosta ja muista järjestelmistä yhden kokonaisuuden.



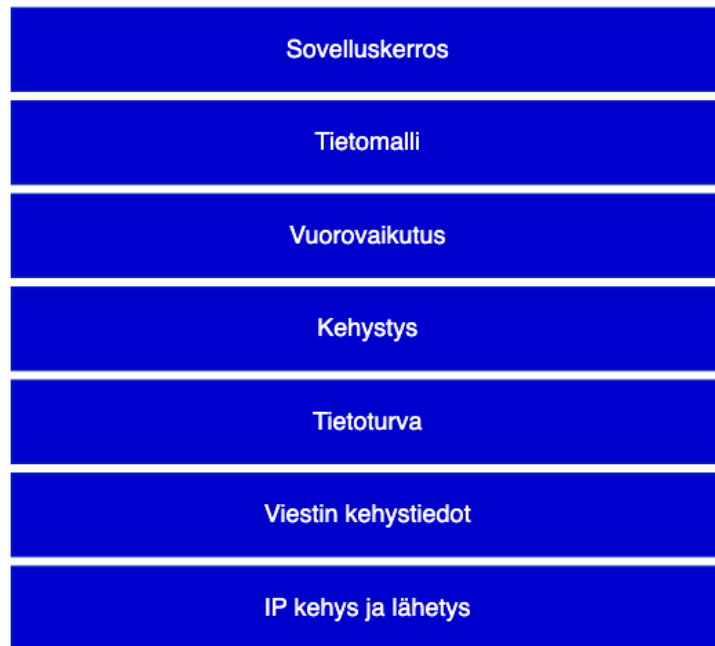
Kuva 4.4: Thread- ja Matter-verkot yhdistettynä

Matter-laitteiden kehittäminen edellyttää, että laitevalmistajat toteuttavat Matter-tuen laitteisiinsa. Matter-tuen toteuttaminen laitteisiin edellyttää Matter-standardin noudattamista [7]. Laitevalmistajan on maksettava Matter-sertifioidusta laitteista tuotekohtainen lisenssimaksu, joka koostuu USD 2 500 kertamaksusta ja USD 500 vuosimaksusta. Tuotekohtaisen lisenssimaksun lisäksi laitevalmistaja, joutuu maksamaan erillisiä Connectivity Standards Alliance jäsenmaksuja, jotka ovat riippuen jäsenyystasosta vuodessa USD 7 000 - USD 105 000. Jäsenmaksut mahdollistavat laitevalmistajien Matter-tuotteiden kehittämisen myyntiä tarkoituksiin [6]. Laitevalmistajat luonnollisesti sisällyttävät lisenssikustannukset myytävien laitteiden kuluttajahintoihin.

Lisenssikustannuksista esimerkkinä suomalaisessa kuluttajakaupassa on myytävänä täsmälleen sama tuote, joiden erona käytetty tiedonsiirtoprotokolla. Toinen älylamppu on WiFi-yhteensopiva ja toinen älylamppu on Zigbee-yhteensopiva. Tuotteena nämä eivät kuluttajan näkökulmasta poikkea toisistaan, mutta kuluttajahinnassa näkyy lisenssintekustannukset. WiFi-älylamppun hinta on 9,99€ kun vastaavasti Zigbee-älylamppun hinta on 16,90€ [50][51]. Esimerkissä on otettava myös huomioon luvussa 3.2 kuvattu teknologioiden soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin. Tässä tapauksessa Zigbee-tekniikan käyttämisellä ei saavuteta hyötyä verrattuna WiFi-

pohjaiseen älylamppuun, koska lamput kytketään suoraan sähköverkkoon ja Zigbee-tekniikan paristokäyttöisyyden edut jäävät hyödyntämättä. Sopivan tuotteen valinta vaatii kuluttajalta valvetuneisuutta eri teknologioista valintaa tehdessä.

Matter-sovelluskerros koostuu tasoista, joilla jokaisella on omat tehtävät Matter-arkkitehtuurissa (kts. Kuva 4.5).



Kuva 4.5: Matter-sovelluskerroksen tasot mukaillen kuvaa [9]

Sovelluskerros vastaa laitteen ylemmän tason toimintaprosesseista kuten esimerkiksi valaistukseen liittyvä sovellus, jossa valaistuksen ohjaukseen liittyy toimintoja valon päälle tai pois kytkemiseksi. *Tietomalli*-taso vastaa sovelluksen toimintojen tukemiseen tarvittavista tiedoista ja toiminnoista. Sovellus käyttää näitä tietomalleja laitteen kanssa käytävään viestin vuorovaikutuksen. *Vuorovaikutusmalli*-taso määrittelee asiakas- ja palvelinlaitteen väliset viestin vuorovaikutusmallit. Esimerkiksi asiakaslaite voi lukea tai muuttaa palvelimen attribuutteja. Vuorovaikutus perustuu tietomallin määrittelemiin elementteihin, joiden perusteella data muunnetaan pakattuun binäärimuotoon *kehystys*-tasolla. Tämän jälkeen viesti salataan ja varustetaan salauskoodilla *tietoturva*-tasolla, jolla varmistetaan tietojen pysyvyys luottamuksellisina ja aitoina viestin lähettäjältä vastaanottajalle. Salattu ja allekirjoitettu binääridata käsitellään *viestin kehystiedot*-tasolla, jossa data kehystetään pakollisilla ja valinnaisilla viestin kehystiedoilla. Viestin kehystiedot määrittävät viestin omi-

naisuudet sekä reititystiedot. Paketin muodostamisen jälkeen viestikerros välittää viestin *IP kehys ja lähetys*-tasolle, jossa viestiin lisätään IP kehys ennen viestin lähettämistä IP verkkoon [9].

Tässä aliluvussa kuvattuun yhteensopivuusongelmaan johtaneet keskeisimmät syyt liittyvät standardien puutteeseen. Standardien puute on johtanut siihen, että laitevalmistajat käyttävät eri tiedonsiirtoprotokollia ja tietomalleja älylaitteissaan. Tämä on johtanut ongelmaan, jossa laitteet ovat kykenemättömiä toimimaan samassa järjestelmässä [49][49]. Yhteensopivuusongelmaan yhtenä ratkaisuna on esitetty Thread- ja Matter-teknologioita, joissa hyödynnetään Thread IPv6 -verkkotukea ja lisäksi Matteria sovelluskerrostaalla toteuttamassa tietomalliyhteensopivuutta eri laitteiden tietomallien välillä [28][27]. Yhteensopivuuden ratkaisu tulevaisuudessa on mahdollinen, jos laitevalmistajat määrittelemät ja noudattavat yhdessä sovittuja standardeja.

5 Esimerkki kotiautomaatoratkaisu

Tässä työssä aiemmin on annettu yleiskuva kotiautomaatiosta (kts. luku 2) ja kotiautomaatioon liittyvistä haasteista (kts. luku 4). Tämän luvun tarkoituksena on antaa esimerkki kotiautomaation soveltamisesta kotitaloudessa. Esimerkki tapauksena käytetään kirjoittajan omaan kotitalouteen toteutettua tavallista laajempaa kotiautomaatoratkaisua ja älyteknologiavalintoihin johtaneita syitä, sekä siitä seuraneita haasteita. Luvussa käytetty koti on tyypillinen suomalainen muutaman kymmenen vuodenikäinen omakotitalokiinteistö, jonka rakennusvaiheessa ei ole huomioitu tulevaisuuden tarpeita.

Luvussa annetaan kuvaus kodin eri älyteknologiaratkaisuista kuten älyvalaistus, älykkäät turvallisuusratkaisut, sisä- ja ulkolämpötilojen mittaus, lämmitysjärjestelmän valvonta, sähkönkulutuksen ja tuotannon seuranta. Lisäksi luvussa kuvataan valittuihin älyteknologia ratkaisuihin sisältyviä haasteita. Lopuksi luvussa esitetään ratkaisu, millä kodinlämmitysjärjestelmän seurantaa voidaan parantaa ja tuoda enemmän kodin asukkaiden tietoisuuteen. Esitetyn ratkaisun toteutusperiaate on sovellettavissa mihin tahansa kotitalouteen.

5.1 Kodin älyteknologiat

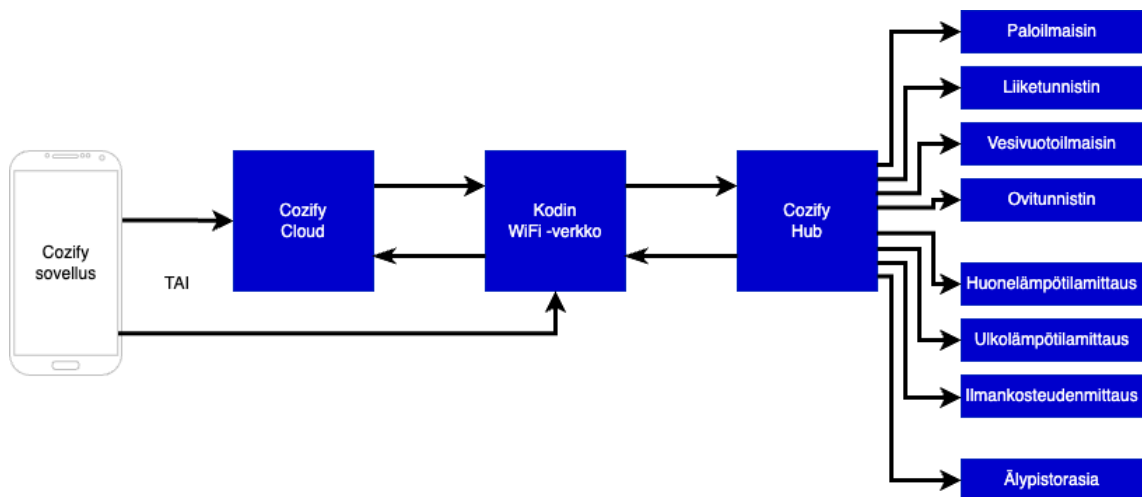
Kotitalouteen on älyteknologioiden yleistyttyä vuosien varrella hankittu vähän kerrassaan erilaisia älylaitteita helpottamaan arkea. Tyypillisissä kuluttajakaupoissa on tarjolla suuret määrät erilaisia älylaitteita ja järjestelmiä, jotka on tehty kuluttajille houkutteleviksi ja helposti hankittaviksi erilaisiin kodin käyttötarpeisiin.

Aivan ensimmäisenä kotiin on hankittu kotiautomaatiojärjestelmä Cozify Hub [19], johon on liitetty paloilmalämpömittarit, vesivuotoilmaisimet, liiketunnistimet, ovitunnistimet, huonelämpötilamittaus, sisäilmankosteudenmittaus, ulkolämpötilamittaus ja älypistorasiat. Järjestelmää hallinnoidaan Cozifyn omalla mobiilisovelluksella (kts. kuva 5.1). Kuvatussa kodissa Cozifyn keskeisin käyttötarve liittyy kodin turvallisuusratkaisuihin vaikka Cozify on kykenevä paljon muuhunkin.

Cozify-kotiautomaatiojärjestelmä sisältää keskittimen, joka tukee WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave ja 433MHz -tiedonsiirtoteknologioita. Kodissa käytetyt liiketunnis-

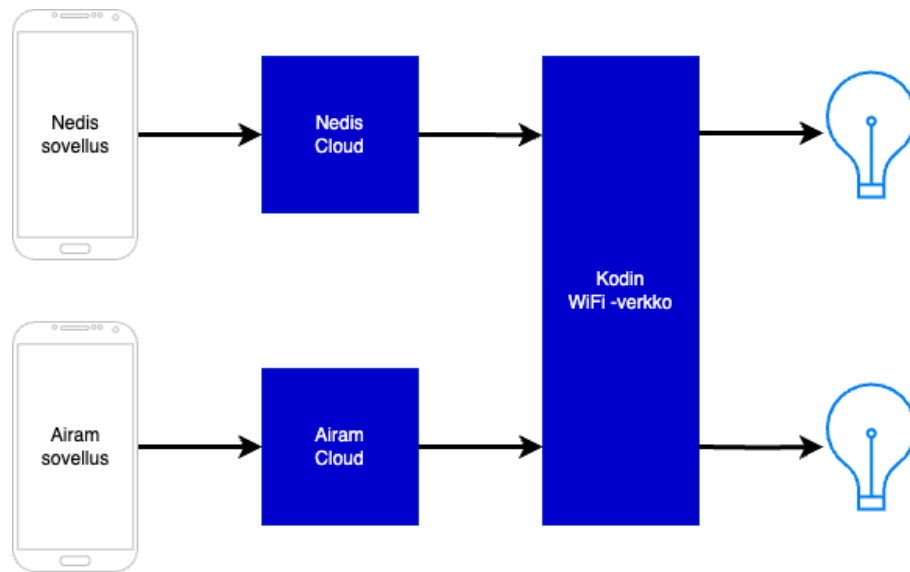
timet, ovitunnistimet, sisä- ja ulkolämpötilamittaus ja sisäilmankosteudenmittaus on liitetty järjestelmään käyttäen 433MHz -teknologiaa. Muut Cozify-järjestelmään liitetyt laitteet perustuvat Zigbee-teknologiaan, joita ovat turvallisuuteen liittyvät pitkää paristokäyttöisyyttä vaativat laitteet kuten paloilmamaisimet ja vesivahinkoilmaisimet.

Huomioitavaa käytettävässä 433MHz -teknologiassa on, että se on täysin avoin ja suojaamaton ja näin ollen haavoittuvainen. Kuitenkin 433MHz -laitteet ovat hyvin edullisia ja riittäviä moniin ei niin kriittisiin tarkoituksiin kuten huonelämpötilamittaus, mutta turvallisuus ratkaisuihin sitä ei voi suositella, vaikka tässä esimerkki tapauksessa niin onkin toteutettu.



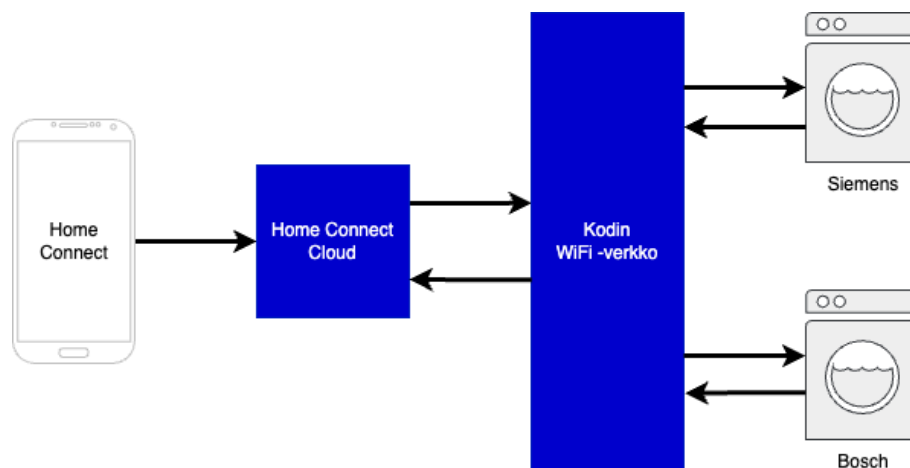
Kuva 5.1: Cozify-kotiautomaatiojärjestelmä

Kotiautomaationjärjestelmän hankinnan jälkeen seuraavaksi kodin älyteknologiaa täydennettiin Nedis Smart Life [53] ja Airam SmartHome [2] älyvalaistuksella, joita ei liitetty osaksi Cozify-kotiautomaatiojärjestelmää vaan ne liitettiin suoraan kodin WiFi-verkkoon. Molemmilla älyvalaisin ratkaisulla on laitevalmistajakohtaiset mobiilisovellukset (kts. kuva 5.2).



Kuva 5.2: Älyvalaistus ratkaisut

Älyteknologiaajennuksen seuraavassa vaiheessa kotiin päivitettiin nykyaikaiset älykkäät Siemens ja Bosch kodinkoneet, jotka on liitetty suoraan kodin WiFi-verkkoon. Laitteita hallitaan laitevalmistajan omalla mobiilisovelluksella [24]. Huomattavaa tässä ratkaisussa on, että laitevalmistajat Siemens ja Bosch käyttävät yhteistä pilvia- lustaa ja samaa mobiilisovellusta (kts. kuva 5.3), mikä helpottaa laitteiden käsittelyä yhden sovelluksen avulla.

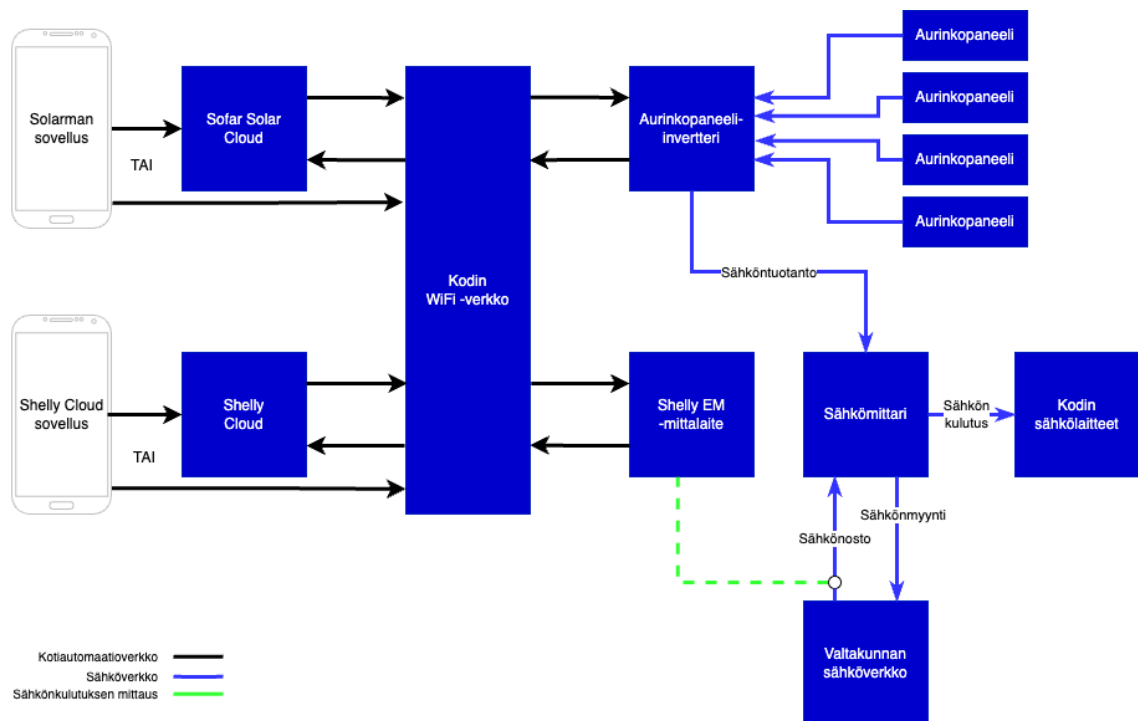


Kuva 5.3: Älykkäät kodinkone ratkaisut

Suurin edistysaskel kodin älyteknologiahankinnoista liittyy energiankulutuksen seurantaan ja sähköntuotantoon. Omavaraisella sähköntuotannolla voidaan vähentää

ostettavan sähkön määrää ja pienentää sähkölaskua. Sen lisäksi omavarainen sähköntuotanto on ekologinen teko, joka osaltaan auttaa pienentämään asumiseen liittyvää hiilijalanjälkeä.

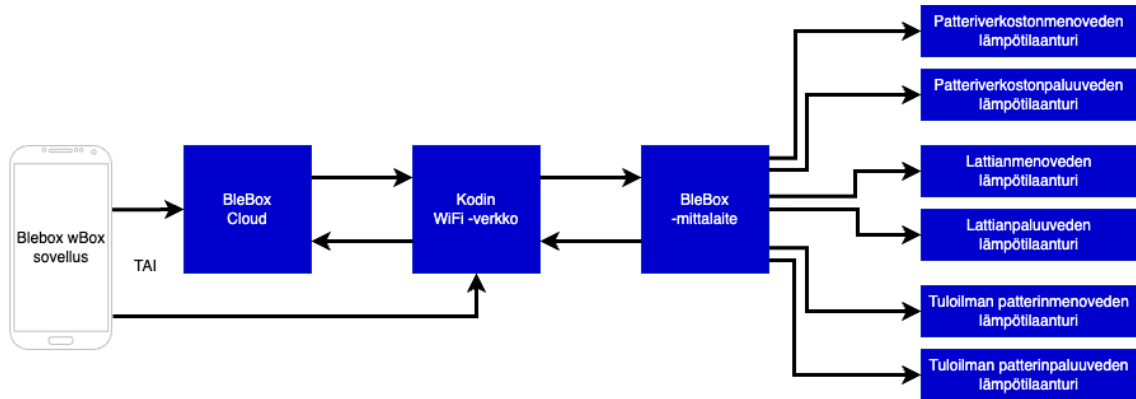
Kiinteistöön on asennettu aurinkoenergiavoimala Sofar Solar [69], jonka tuotantoa voidaan seurata laitevalmistajan mobiilisovelluksella. Aurinkovoimalan invertteri vastaa aurinkoenergialla tuotetun sähkön muuntamisesta sähköverkkoon. Invertteri on samalla myös älylaite, joka kytketään kodin WiFi-verkkoon. Vastaavasti sähkönkulutuksen mittausta varten on asennettu erillinen Shelly EM -mittalaite [58] sähköpääkeskukseen, jonka mittaustuloksia voidaan seurata laitevalmistajan omalla mobiilisovelluksella (kts. kuva 5.4).



Kuva 5.4: Sähkönkulutuksen- ja tuotannon seurantaratkaisut

Toinen merkittävä älyteknologia laajennus liittyy kodin lämmitykseen. Kodin lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, joka perustuu nykyaikaiseen Ilma-vesilämpöpumppuratkaisuun. Järjestelmä tuottaa lämpöenergiaan kolmeen erilliseen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään, jotka ovat vesikiertoinen patteriverkosto, vesikiertoinen lattialämmitys pesutiloissa ja vesikiertoinen koneellisen tuloilman esilämmitys. Vesikiertojen lämpötilojen valvontaa hoidetaan putkistojen päälle asennettavilla antureilla, joilla mitataan vedenmeno- ja paluulämpötiloja. Tä-

hän tarkoitukseen soveltuvia laitteita on Blebox lämpötila-anturi, joka kytketään kodin WiFi-verkkoon. Blebox antureiden mittaustuloksia voidaan seurata laitevalmistajan omalla mobiilisovelluksella [57] (kts. kuva 5.5).



Kuva 5.5: Lämmitysjärjestelmä

Kuten edellä kuvattiin esimerkki kodissa on käytössä kuusi osakokonaisuutta:

- Cozify-kotiautomaatiojärjestelmä
- Älyvalaistus
- Kodinkoneet
- Sähkönkulutus
- Sähkötuotanto
- Lämmitysjärjestelmä

Osakokonaisuusissa huomattavaa on, että ne eivät ole kykeneviä tai suunniteltu toimimaan yhdessä, vaan jokaista osakokonaisuutta hallitaan omalla valmistajakohtaisella mobiilisovelluksella. Ainoa poikkeus esimerkki tapauksessa on kodinkoneet, jossa laitevalmistajat ovat toteuttamaan yhteisen pilvialustan ja mobiilisovelluksen, jonka avulla usean eri kodinkonevalmistajan laitteita voidaan hallinnoida. Energiin liittyvät ratkaisut kuten sähkönkulutus, sähköntuotanto, lämmitys ovat sellaisia, joita ei ole suunniteltu integroitavaksi osaksi muita järjestelmiä ja niiden yhteensovittaminen edellyttäisi tarkoitukseen erikseen toteutettuja omia ratkaisuja.

5.2 Valittujen älyratkaisuiden haasteet kotitaloudelle

Aliluvussa 5.1 kuvattiin kotitalouden eri älyteknologioita, joita kotitaloudessa on verrattain paljon. Kokonaisuudessaan kotitaloudessa on käytössä kahdeksan eri älyteknologiaa, joita hallitaan seitsemällä eri mobiilisovelluksella. Se on suuri määrä järjestelmiä, joka aiheuttaa pirstoutuneisuutta lisäämättä riittävästi tietoisuutta kodin eri toiminnoista.

Kuluttajan kannalta yhtenä haasteena on älylaitteiden valitseminen, koska kuluttajakaupoissa on tarjolla hyvin monen tasoisia laitteita. Vaikka laitteet olisivatkin yhteensopivia kodissa jo olemassa olevan kotiautomaatiojärjestelmän kanssa voi hankitun älylaitteen turvallisuusominaisuudet heikentää koko kotiautomaatiojärjestelmän turvallisuuden. Esimerkiksi aliluvussa 5.1 kuvattiin Cozify-järjestelmään liitetyt 433MHz teknologialla varustetut älylaitteet ja Zigbee-teknologialla varustetut älylaitteet. Tässä tapauksessa Zigbee-teknologialla varustettu laite on tietoturvallinen älylaite kun vastaavasti 433MHz teknologialla varustettu älylaite on täysin avoin ja salaamaton. Ongelmaksi muodostuu kuluttajan tietämättömyys valitun teknologian sisältämistä tietoturvaluonteista älylaitteen ostopäätöstä tehtäessä. Kuluttajan ostopäätöstä myös monesti ohjaa älylaitteen hinta. Hyvin tyypillisesti 433MHz laitteet ovat hyvin edullisia mikä voi ohjata kuluttajan ostopäätöstä. Nämä valinnat voivat olla hyvin ratkaisevia kodin kotiautomaatiojärjestelmän kannalta ja pahimmassa tapauksessa tehdä siitä täysin turvattoman, koska yksikin tietoturvan laite voi mahdollistaa hyökkääjälle pääsyn järjestelmään riippumatta siitä onko järjestelmään liitetty myös tietoturvallisia laitteita.

Kodissa on käytössä kaksi erillistä älyvalaistusratkaisua, joita hallitaan erillisillä mobiilisovelluksilla. Tämä vaikeuttaa valaistuksen käyttöä, koska valaistuksen hallintaa ei voi tehdä yhdellä mobiilisovelluksella. Älyvalaistuksen hankinnan yhteydessä kaupassa on todennäköisesti katsottu enemmän hintaa kuin teknologiaa ja mahdollisuutta integroida älyvalaisin ratkaisut samaan järjestelmään, joka on johtanut älylaitteiden yhteentoimimattomuuteen ja hallinnan vaikeuteen.

Kodinkoneiden osalta tilanne on parempi, koska laitevalintoja tehtäessä on kiinnitetty huomiota valmistajien hallintasovelluksiin. Kotiin valittujen Bosch ja Siemens kodinkoneiden valmistajat hyödyntävät yhteistä pilvialustaa ja mobiilisovellusta. Tämä tekee laitteiden käyttämisestä optimaalista.

Sähkökulutuksen ja tuotannon seuranta on asukkaiden näkökulmasta hyvin tärkeää, koska sen perusteella asukkaat voivat ajoittaa sähkönkulutustottumuksia ajan kohtaan jolloin aurinkopaneelit tuottavat sähköä tai sähkö on muutoin edullista

kuten yöaikaan. Asukkaiden haasteena on kuitenkin saada riittävä näkyvyys sähkökulutustottumuksiin, koska sähkökulutuksen ja tuotannon seurantajärjestelmät ovat erillisiä. Molempia järjestelmiä hallitaan erillisillä mobiilisovelluksilla ilman keskitettyä näkymää, josta voisi nähdä tuotetun ylijäämäsähkön tai vuorokauden tuntikohtaiset kulutushuiput.

Lämmitysjärjestelmän vesikiertoputkistoon on asennettu lämpötila-anturit, joilla voidaan seurata lämmitysveden meno- ja paluulämpötiloja. Lämpötilojen seurantaan on käytössä erillinen mobiilisovellus. Asukkaiden haasteena on kuitenkin saada kokonaiskuva ulkolämpötilavaihteluiden vaikutuksesta sisälämpötiloihin samalla huomioiden lämmitysjärjestelmän vesikiertojen lämpötilat. Asukkaat ovat kokeneet ajoittain sisätiloissa vetoisuuden tunnetta ja vastaavasti ajoittain kuumuutta saman vuorokauden aikana. Haasteena asukkailla on saada tarvittava käsitys lämmitysjärjestelmän toiminnasta, jolla ajoittainen vetoisuuden tunne ja ajoittainen kuumuus selittyisi. Ongelma johtuu siitä, että tarvittavia tietoja ei ole saatavissa yhden sovelluksen kautta vaan tarkkailu edellyttää kahden eri sovelluksen käyttämistä. Ulko- ja sisälämpötiloja seurataan Cozify-kotiautomaatiojärjestelmän omalla mobiilisovelluksella ja lämmitysjärjestelmän lämpötiloja seurataan Blebox sovelluksella.

Kaikki edellä esitetyt ongelmat eivät välttämättä kuitenkaan ole varsinaisia ongelmia vaikka se siltä voi kuulostaa, koska se riippuu hyvin paljon siitä miten kodin älylaitteet on valittu ja konfiguroitu käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi älyvalaistuksen merkitys voi olla vain yövalaistus tai tunnelmavalistus, joka automatisoidaan kerran toimimaan ajastetusti, liiketunnistimella tai käyttökylkimellä toimivaksi. Tällöin älyvalaistus voidaan ohjelmoida kertaalleen käyttäen älylaitteiden omia mobiilisovelluksia, jonka jälkeen mobiilisovellusta ei enää tarvita päivittäin. Tällä tavalla voidaan vähentää päivittäin tarvittavien mobiilisovellusten määrää. Näin ollen tarve, jossa kaikki älylaitteet toimisivat yhden mobiilisovelluksen kautta pienenee. Vaikka se ei poista tarvetta, mutta se ainakin pienentää ongelmaa ja samalla parantaa käyttäjien päivittäväistä elämää.

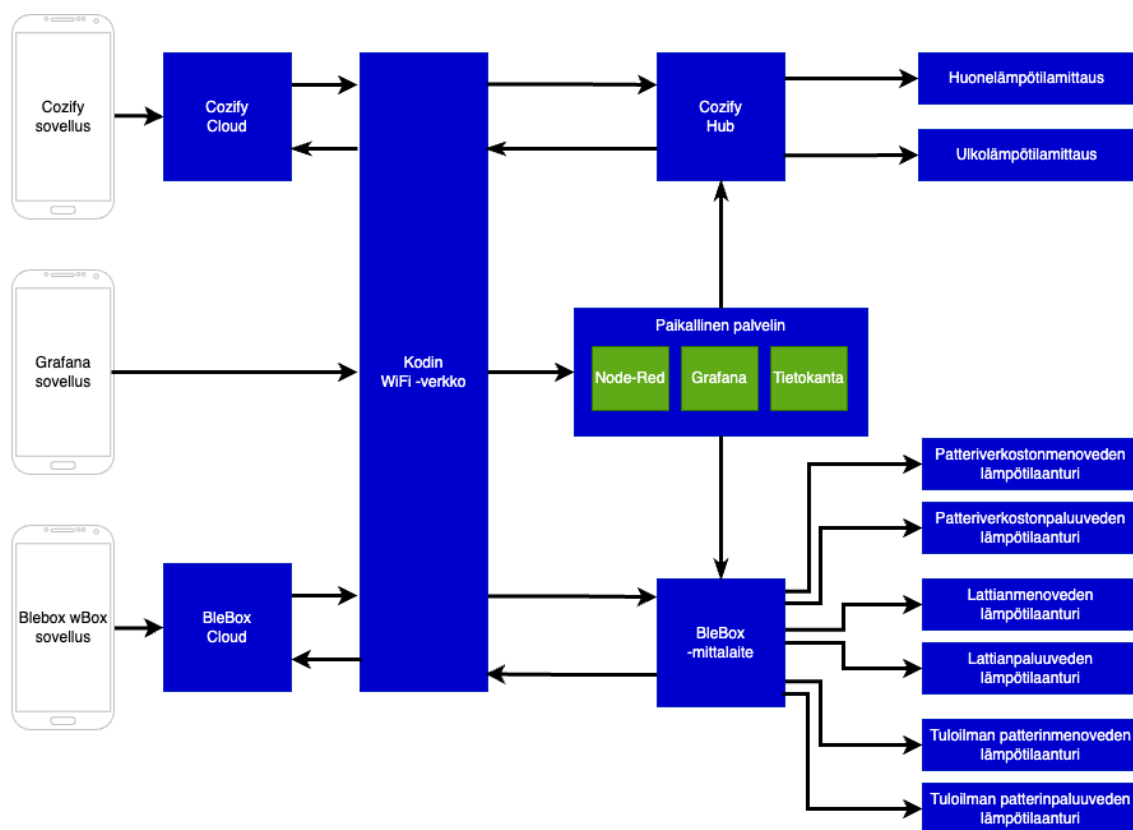
Sen sijaan lämmityksen seuranta on suuri haaste, johon ei ole olemassa valmista ratkaisua. Riittävien seurantatyökalujen toteuttaminen voi edellyttää oman ratkaisun toteuttamista, joka antaa riittävästi tietoa tarvittaviin lämmityksen ohjauksen säätöihin.

5.3 Ratkaisu lämmityksen seurantaan

Aliluvussa 5.2 kuvattiin kotitalouden älyteknologiaan liittyviä haasteita, jossa käyttäjällä oli käytössä seitsemän eri mobiilisovellusta. Haasteista kuitenkin merkittävin kotitaloudelle on lämmitysjärjestelmän optimaalinen toiminta, jonka seurantaan kyseisessä kohteessa ei ole olemassa valmista ratkaisua.

Lämmitysjärjestelmän seuranta kokonaisuutena lisää asukkaiden tietoisuutta lämmitysjärjestelmä toiminnasta. Tietoisuuden lisäämiseksi käyttäjän tarvitsee nähdä keskitetysti sisä- ja ulkolämpötilat ja lämmitysjärjestelmän vesikierron lämpötilat. Haasteena on erillisjärjestelmät, jotka eivät kommunikoivat keskenään. Tämän seurauksena käyttäjä ei saa kokonaiskuvaa lämmityksen toiminnasta ja automatisointi on haasteellista.

Sisä- ja ulkolämpötila mittaustiedot ovat saatavilla Cozify [19] kotiautomaatiojärjestelmästä ja lämmitysjärjestelmän vesikierron putkiston lämpötilat ovat saatavissa Blebox-mittalaitteelta [57]. Ratkaisun avain on toteuttaa ratkaisu, jossa Cozify ja Blebox lämpötila-antureiden mittaustiedot yhdenmukaistetaan samaan tietokantaan, josta niiden jatkojalostus ja visualisointi on helpompaa. Kuvassa 5.6 on kuvattu ratkaisuarkkitehtuuri, jolla voidaan saavuttaa haluttu lopputulos. Ratkaisun ajatuksena on perustaa kodin verkkoon paikallinen palvelin, joka on varustettu integrointi ohjelmistolla, tietokannalla ja visualisointi käyttöliittymäohjelmistolla. Integrointi ohjelmiston tehtävänä on lukea lämpötilatiedot Cozify- ja Blebox-laitteista ja tallentaa ne tietokantaan. Vastaavasti käyttöliittymäohjelmiston tehtävä on visualisoida tietokantaan tallennetut lämpötilatiedot, joita asukkaat voivat seurata mobiilisovelluksen avulla.

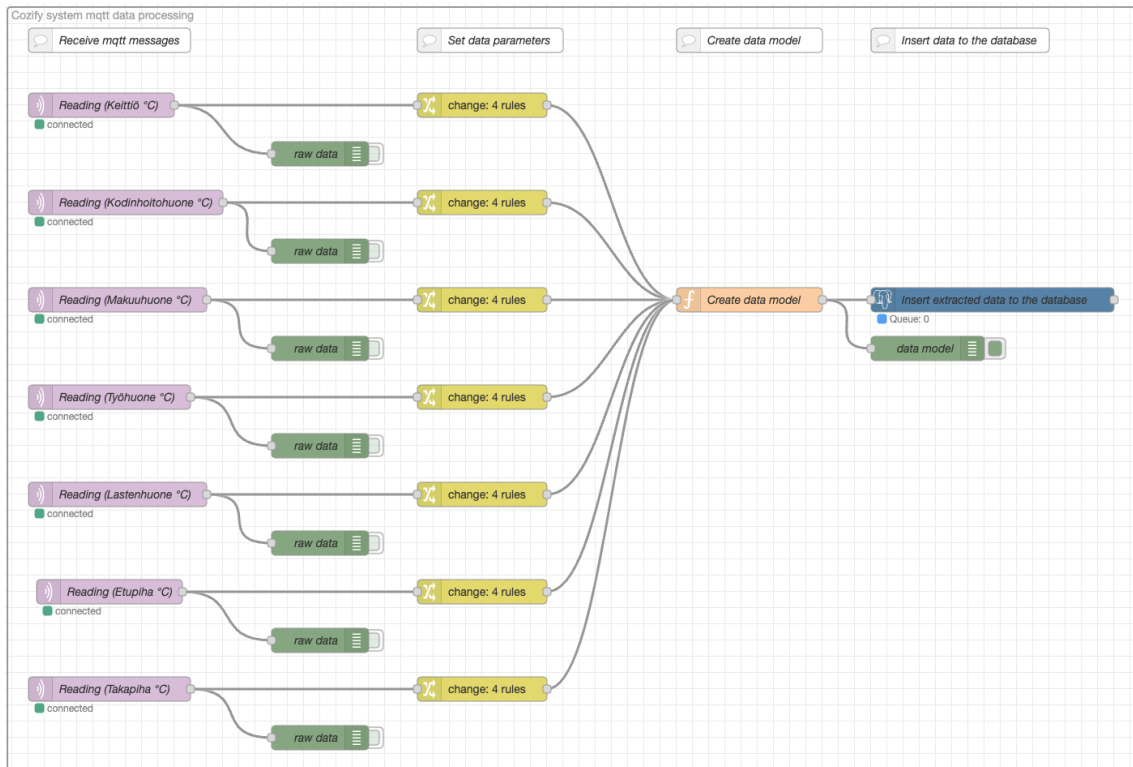


Kuva 5.6: Esimerkki ratkaisuarkkitehtuuri

Toteutusta helpottaa se, että Cozify- ja Blebox-laitteet ovat kytkettynä kodin WiFi-verkkoon mikä mahdollistaa laitteiden integroinnin ja visualisoinnin käyttäen ratkaisuun valittuja Node-Red ja Grafana palveluita. Node-Red on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jolla voidaan toteuttaa integrointeja ja datan käsittelyä. Grafana puolestaan on avoimen lähdekoodin data-analytiikka- ja visualisointikäyttöliittymä, jota tässä ratkaisussa käytetään käyttöliittymänä. Koska Node-Red ja Grafana eivät sisälly älylaitevalmistajien tuotteisiin edellyttää se sovellusten asentamista kodissa erilliselle palvelimelle, jossa on riittävästi suorituskykyä suorittaa tarvittavia palveluita. Palvelimeksi soveltuu hyvin esimerkiksi Raspberry Pi -tietokone. Node-Red ja Grafana sovellusten asentamisen lisäksi tietokoneeseen tulee myös asentaa tietokantaohjelmisto esimerkiksi PostgreSQL. Tietokannan merkitys ratkaisussa on toimia Node-Red palvelun tietovarastona, jonne toimilaitteilta luetut mittaustiedot tallennetaan ja vastaavasti Grafana käyttää tietokantaa tietolähteenä käyttöliittymä visualisointiin.

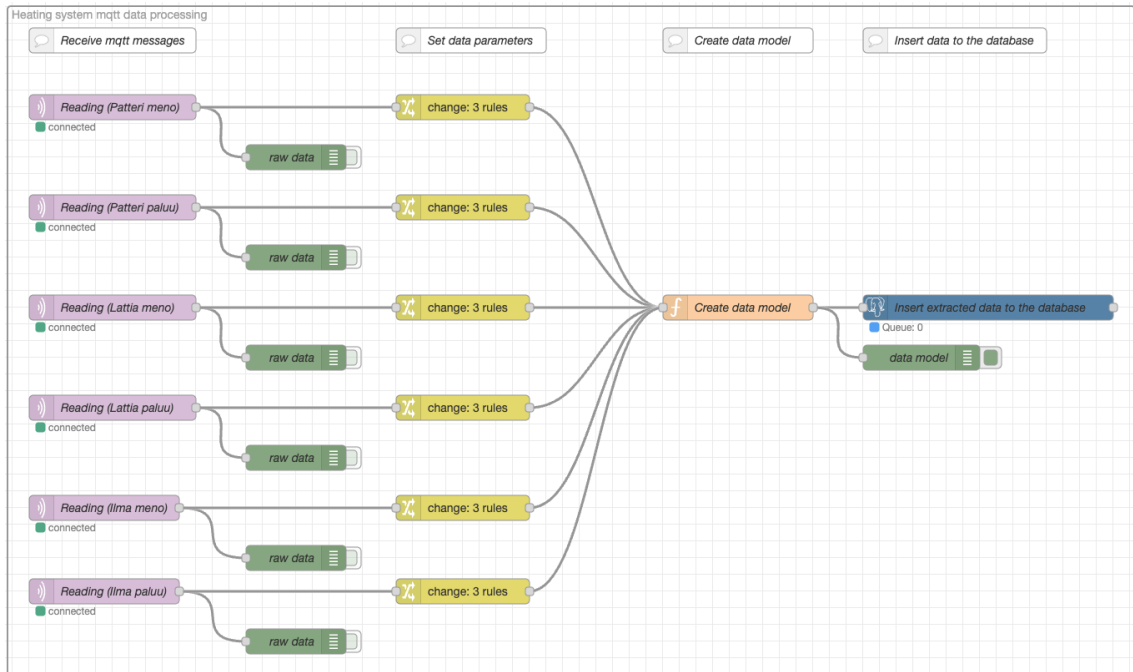
Kuvassa 5.7 kuvataan Cozify-integrointi ja datan tallentaminen PostgreSQL tietokantaan. Cozify-kotiautomaatiojärjestelmää ei ole lähtökohtaisesti ole suunniteltu

integroitavaksi, mutta käyttämällä hyväksi python kirjastoa on mahdollista toteuttaa integraatio Cozify-laitteeseen ja saada pääsy mittaustietoihin. Python scriptin tehtävänä on lähettää Cozify-laitteesta luetut tiedot Node-Red palveluun käyttäen MQTT-protokollaa. Node-Redin muuntaa vastaanotetut mittaustiedot tietokantaan tallennettavaan muotoon, jonka jälkeen tiedot ovat valmiit Grafana visualisointi varten.



Kuva 5.7: Cozify sisä- ja ulkolämpötilojen mittaus

Kuvassa 5.8 kuvataan vastaavalla tavalla toteutettu lämmitysjärjestelmän integrointuminen Node-Red palveluun ja datan tallentaminen tietokantaan Grafana visualisointia varten. Integrointiperiaate ei poikkea merkittävästi edellä kuvatusta Cozify-integraatiosta.



Kuva 5.8: Vesijohtoverkoston meno- ja paluulämpötilojen mittaus

Kuvassa 5.9 on kuvattuna Cozify-järjestelmästä saatavilla olevat sisä- ja ulkolämpötilat. Vastaavasti kuvassa 5.10 on kuvattuna lämmitysjärjestelmän vesikiertoisten lämmitysverkostojen meno- ja paluulämpötilat, jonka lisäksi visualisointi esittää myös meno- ja paluu veden lämpötilaerot. Lämpötilaero antaa käsityksen siitä miten paljon lämmitysenergiaa häviää matkalla. Esimerkiksi kuvassa 5.10 tuloilman esilämmityksen lämpötilaero on -2,6 astetta kun vallitseva ulkolämpötila on kuvan 5.9 mukaan -2,7 astetta. Vastaavasti samalla ajanhetkellä visualisointi osoittaa, että vesikiertoinen lattialämmitys puolestaan palauttaa veden hieman lämpimämpänä kuin meno vedenlämpötila. Tätä puolestaan voi selittää se, että lattia varastoi lämpöä ja lämmittää hetkellisesti laskenutta lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa.



Kuva 5.9: Cozify sisä- ja ulkolämpötilat visualisoituna



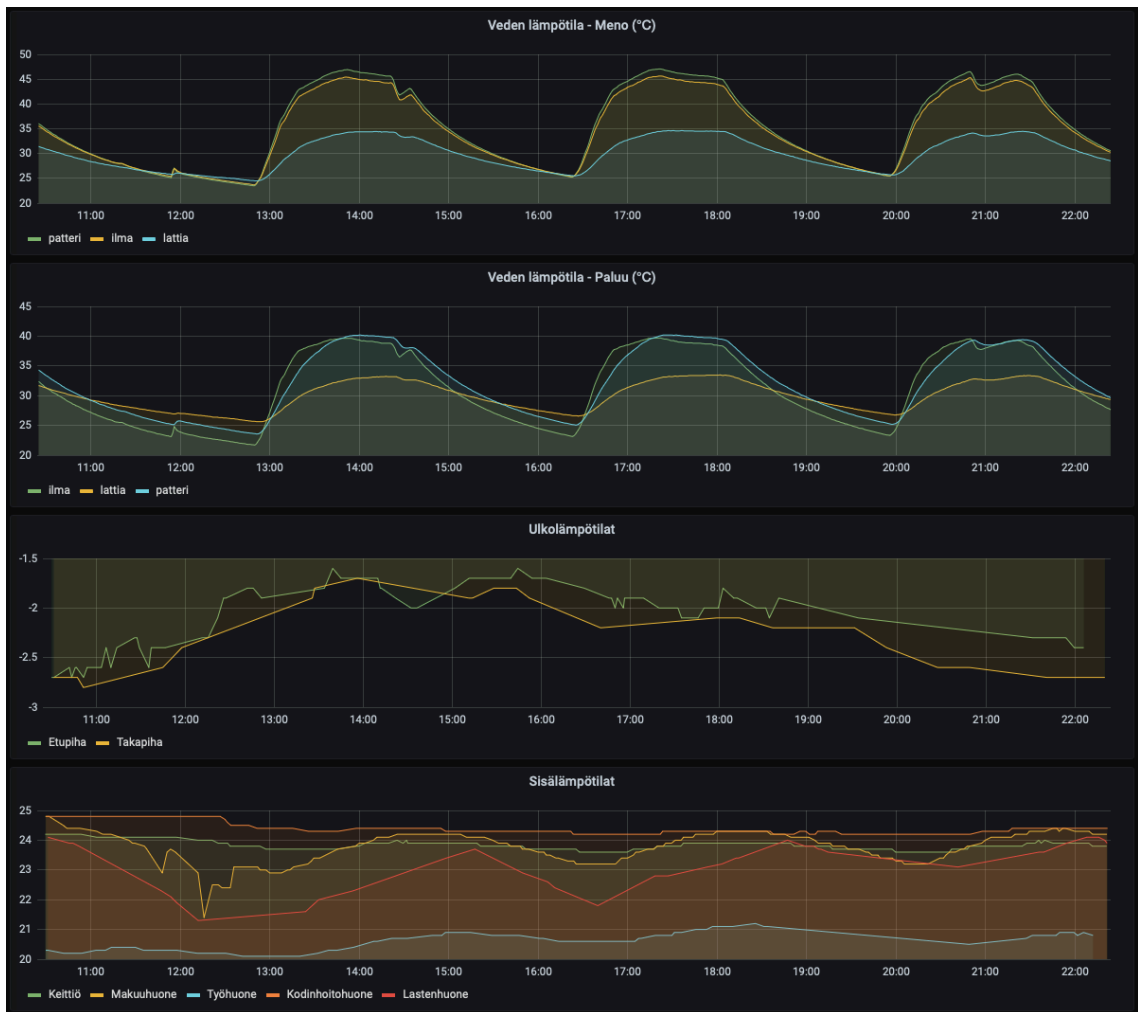
Kuva 5.10: Vesijohtoverkoston meno- ja paluulämpötilat visualisoituna

Edellä kuvatut visualisoinnit (kts. kuvat 5.9 ja 5.10) antavat hyvän kuvan hetkellisestä tilanteesta lämmitysjärjestelmässä ja sisälämpötiloissa, mutta hetkellisiä mitaustuloksia arvokkaampaa on kuitenkin nähdä lämpötilat pidemmällä aikavälillä kuten esimerkiksi viimeisen 12 tunnin ajalta. Kuvassa 5.11 on esitetty kaikki lämpötilamittaustulokset samalla aikajanalla, jonka perusteella kodin lämpötilojen käyttäytymistä ja ulkolämpötilan vaikutusta on helpompi analysoida. Kuvan perusteella ulkolämpötilan käyttäytyminen on hyvin tavanomainen kun vastaavasti lämmitysveden lämpötilakäyrä on epävakaata ja muodoltaan aaltomainen.

Lämmitysveden aaltomaisesta muodosta voidaan päätellä, että lämmitysverkoston veden ylin lämpötila käy yli 45 asteessa ja alimmillaan lämpötila jäähtyy 25 asteeseen. Tämä aaltomainen käyrä toistaa muotoaan lähes säännöllisesti ja sitä selittää kotitaloudessa oleva Ilma-vesilämpöpumppulaitteisto, joka toimii lämmitys ja tauko periaatteella.

Toinen asia mitä kuvan 5.11 perusteella voidaan päätellä, on Ilma-vesilämpöpumpun lämmitysjakso. Kuvan perusteella lämmitysjakso on alkanut noin kello 13 ja lämmitysjakso on päättynyt noin kello 14, jolloin vedenlämpötila on saavuttanut huippuarvonsa. Tämän jälkeen vedenlämpötila hiljalleen hiipuu kunnes se saavuttaa 25 asteen lämpötilan, joka toimii lämmityksen uudelleen käynnistimenä. Kuvan perusteella voidaan siis päätellä, että lämmitysjakso kerrallaan kestää yhden tunnin, jota seuraa 2h 30min tauko. Tästä voidaan laskea, että Ilma-vesilämpöpumppu on käynnissä 7 tuntia vuorokaudessa ja 17 tuntia vuorokaudessa tauolla, jos ulkoilman lämpötila pysyttelee noin -3 asteessa.

Lämmitysverkoston veden suuri lämpötilavaihtelu puolestaan selittää aliluvussa 5.2 kuvatun haasteen, jossa asukkaat kokevat ajoittain vetoisuuden tunnetta ja ajoittain kuumuutta. Visualisoinnin perusteella voidaan päätellä, että asukkaiden kokemus vetoisuudesta todennäköisesti johtuu siitä, että tuloilman lämpötilassa tapahtuu suuria vaihteluita mikä selittää vetoisuuden ja kuumuuden tunteen. Tuloksien perusteella voidaan päätellä, että kodin tuloilman esilämmityksen lämpötilan vakauteen tulisi kiinnittää huomiota. Vastaavasti patteriverkoston ja lattialämmityksen vedenlämpötila vaihtelee samalla tavalla, mutta niiden muutokset eivät kiinnitä asukkaiden huomiota tai vaikuta asumismukavuuteen.



Kuva 5.11: Lämpötila grafiikat esitettynä samalla ajanhetkellä

5.4 Johtopäätökset

Ratkaisusta voidaan todeta, että järjestelmät on mahdollista liittää yhteen tuottaen asukkaille lisäarvoa ja tietoisuutta lämmitysjärjestelmän toiminnasta. Helppoa se ei välttämättä ole vaatien paljon tietoteknistä osaamista, jotta voidaan saavuttaa haluttu tavoite. Esimerkki kuitenkin havainnollisti älyteknologioiden eri tietolähteiden jalostaminen samaan visuaaliseen esitysmuotoon tuottaa lisäarvoa asukkaille, jonka perusteella asukkaat pystyvät tekemään päätöksiä lämmitysjärjestelmän tuloilman esilämmityksen säätämisen tarpeesta. Tässä esimerkissä ei kuitenkaan tarkastella tehtyjen lämmityksenohjauksen muutoksien vaikutusta lämmitysjärjestelmän toimintaan, vaan se jää kodin asukkaiden harkintaan.

Esimerkki kotiin on vuosien varrella hankittu paljon erillisiä älylaitteita, joita ei ole mahdollista liittää samaan järjestelmään. On kuitenkin muistettava, että hankintoja tehtäessä on hyvin vaikea arvioida ovatko älylaitteet yhteensopivia minkään muun valmistajan järjestelmän kanssa tai edes valmistajan oman vanhemman sukupolven älylaitteen kanssa.

Aliluvussa 2.1.2 aiemmin määriteltiin kodin automaation tasot 0 - 6, jossa taso 0 edustaa kotia mikä ei sisällä automaatiota lainkaan. Tasot 2 ja 3 ovat sellaisia, jossa kodissa on jo älyteknologiaa ja älylaitteiden välillä tapahtuu kommunikointia, lisäksi laitteita voidaan hallita mobiilisovelluksella. Tasolla 4 ja 5 vastaavasti älyteknologiat osaavat mukautua ympäristöön ja tehdä automaattisia ohjaustoimenpiteitä. Taso 6 on edistyksellisin, jossa kotien älyteknologiat muodostavat verkoston asuinalueen muiden älylaitteiden kanssa.

Tässä luvussa kuvatun kodin älylaitteiden ja järjestelmien laajuus on suuri, mutta siitä huolimatta koti voidaan luokitella kuuluvaksi tasolle 3, koska kodin älyteknologioilta puuttuu kyky mukautua ympäristöön ja tehdä omatoimisia ohjaustoimenpiteitä. Harppaus kuitenkin tasolle 4 tai 5 ei ole mahdoton, koska kodin älylaitteet tuottavat riittävän määrän dataa, jonka avulla kodin älylaitteiden ohjausta voisi muuttaa enemmän adaptiiviseksi. Tason 6 saavuttaminen ei vielä tänä päivänä monestikaan ole mahdollista, koska asuinympäristöt eivät ole vielä valmiita tähän. Esimerkiksi kodin älyjärjestelmät eivät usein ole yhteensopivia naapuriston älyjärjestelmien kanssa tai kaupungin kunnallistekniikasta puuttuu kokonaan tuki asuinalueiden yhteenliittämiseen.

Jatkokehityksen kannalta kodin lämmitysjärjestelmän seuranta olisi mahdollista siirtää johonkin valmiiseen kotiautomaatioalustaan, jossa on tarvittavat palvelut lämmitysjärjestelmän seurantaan varten. Yksinkertaisimmillaan siirto voisi tarkoittaa olemassa olevan ratkaisun siirtoa alustasta toiseen. Valmiiden alustojen etuna monestikin on niiden tarjoamat muut palvelut, jotka voisivat mahdollistaa kokonaisvaltaisemman kotiautomaatioratkaisun toteuttamisen kotitalouteen kattaen myös kodin älyvalaistuksen, turvallisuusratkaisut ja sähkönkulutuksen ja sähköntuotannon seurannan.

6 Yhteenveto

Tässä työssä annettiin yleiskuvaus kotiautomaatiojärjestelmistä ja niissä käytetyistä teknologioista ja, lisäksi kotiautomaatiojärjestelmän toimintaperiaatteesta. Työn tutkimusongelmassa kuvattiin kotiautomaatiojärjestelmien suurimmat haasteet, jotka liittyvät standardoinnin puutteeseen ja järjestelmien yhteentoimivuuteen. Tulevaisuus on kuitenkin mahdollisuuksia täynnä, koska ongelmaan on havahduttu. Yhtenä varteenotettavana ratkaisun avaimena yhteentoimivuus ongelmaan on työssä esitelty Matter-standardi, jonka tarkoituksena on helpottaa järjestelmien yhteentoimivuutta. Tämä kuitenkin edellyttää laitevalmistajilta sitoutumista kehittää järjestelmiään Matter-yhteensopiviksi.

Järjestelmien yhteentoimivuuden tärkeys ja tietoisuuden kasvattaminen kotitalouksien asukkaille on merkittävässä roolissa nyt ja tulevaisuudessa. Työssä havainnollistettiin omakotitaloasumiseen liittyvää ongelmaa, jossa käyttäjillä ei ollut saatavilla ajantasaista tietoa lämmitysjärjestelmän toiminnasta. Toteuttamalla itse oma integroitiratkaisu kahden eri järjestelmän välille mahdollisti tietojen paremman visualisoinnin ja merkittävän tietoisuuden parannuksen lämmitysjärjestelmän toiminnasta kotitalouden asukkaille. Lisäksi se luo pohjan toteuttaa tulevaisuudessa automaation lämmitysjärjestelmän automaattiseen ohjaukseen.

Haasteena nykypäivänä kuitenkin on, että valmiita ratkaisuja ei ole saatavilla kaikkiin tarpeisiin ja laitevalmistajat monesti eivät ole innokkaita toteuttamaan älylaitteitaan helposti integroitavaksi osaksi muita järjestelmiä. Myöskin tarjolla olevien älylaitteiden määrä ja kuluttajien ymmärrys teknologioista ostopäätöstä tehtäessä on riski kodin kotiautomaatiojärjestelmän tietoturvan kannalta. Työssä kuvattiin kuinka yhdenkin tietoturvaton älylaitteen liittäminen kotiautomaatiojärjestelmään voi heikentää kodin kotiautomaatiojärjestelmän turvallisuuden riippumatta siitä ovatko muut järjestelmään liitetyt älylaitteet tietoturvallisia.

Kuten todettiin älylaitteiden valmistaminen tulevaisuudessa edellyttää laitevalmistajilta intressiä sopia yhteiset standardit ja noudattaa niitä. Tämä helpottaa tulevaisuudessa älylaitteiden yhteentoimivuutta, tietoturvaa ja myöskin vähentää kuluttajien tarvetta olla teknisesti valveutunut tehdessään älylaitevalintoja kotitalouteen.

Lähteet

- [1] AHMETOGLU, S., CHE COB, Z., JA ALI, N. A systematic review of Internet of Things adoption in organizations: Taxonomy, benefits, challenges and critical factors. *applied sciences* 12, 9 (2022), 4117.
- [2] AIRAM. Älykoti Airam SmartHomen avulla - luo kotiisi tunnelmaa ja viihtyisyyttä helposti! <https://www.airam.fi/smarthome>. [Online; accessed 28.10.2023].
- [3] AKESTORIDIS, D.-G., SEKAR, V., JA TAGUE, P. On the security of Thread networks: Experimentation with OpenThread-enabled devices. Julkaisusarjassa *Proceedings of the 15th ACM Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks* (2022), 233–244.
- [4] AL-QASEEMI, S. A., ALMULHIM, H. A., ALMULHIM, M. F., JA CHAUDHRY, S. R. IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization. Julkaisusarjassa *2016 Future technologies conference (FTC)* (2016), IEEE, 731–738.
- [5] ALAM, M. R., REAZ, M. B. I., JA ALI, M. A. M. A review of smart homes - Past, present, and future. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part C (applications and reviews)* 42, 6 (2012), 1190–1203.
- [6] ALLIANCE, C. S. Matter Certified Product. <https://csa-iot.org/become-member/>. [Online; accessed 24.10.2023].
- [7] ALLIANCE, C. S. Matter Specifications. <https://csa-iot.org/developer-resource/specifications-download-request>. [Online; accessed 24.10.2023].
- [8] ALLIANCE, C. S. Matter Arrives Bringing A More Interoperable, Simple And Secure Internet Of Things to Life. <https://csa-iot.org/newsroom/matter-arrives/>, 2022. [Online; accessed 11.6.2023].
- [9] ALLIANCE, C. S. Matter Specification Version 1.0. https://csa-iot.org/wp-content/uploads/2022/11/22-27349-001_Matter-1.0-Core-Specification.pdf, 2022. [Online; accessed 15.7.2023].

- [10] ALLIANCE, C. S. Matter 1.1 release Enhancements for developers and devices. <https://csa-iot.org/newsroom/matter-1-1-release-enhancements-for-developers-and-devices/>, 2023. [Online; accessed 11.6.2023].
- [11] ALLIANCE, C. S. Matter 1.2 Arrives with Nine New Device Types Improvements Across the Board. <https://csa-iot.org/newsroom/matter-1-2-arrives-with-nine-new-device-types-improvements-across-the-board/>, 2023. [Online; accessed 24.10.2023].
- [12] ALMUSAYLIM, Z. A., JA ZAMAN, N. A review on smart home present state and challenges: linked to context-awareness internet of things (IoT). *Wireless networks* 25 (2019), 3193–3204.
- [13] ALOMARI, S. A., SUMARI, P., JA TAGHIZADEH, A. A comprehensive study of wireless communication technology for the future mobile devices. *European Journal of Scientific Research* 60, 4 (2011), 583–591.
- [14] ASHTON, K. Making sense of IoT. How the Internet of Things became humanity's nervous system. *Hewlett Packard Enterprise* (2017).
- [15] ASSISTANT, H. Home Assistant. <https://www.home-assistant.io/>, 2023. [Online; accessed 28.1.2023].
- [16] ASSISTANT, H. Home Assistant Yellow. <https://www.home-assistant.io/yellow/>, 2023. [Online; accessed 4.11.2023].
- [17] CALDERONI, L., MAGNANI, A., JA MAIO, D. IoT Manager: An open-source IoT framework for smart cities. *Journal of Systems Architecture* 98 (2019).
- [18] CANNIZZARO, S., PROCTER, R., MA, S., JA MAPLE, C. Trust in the smart home: Findings from a nationally representative survey in the UK. *Plos one* 15, 5 (2020), e0231615.
- [19] COZIFY. Cozify. <https://www.cozify.fi/>, 2023. [Online; accessed 28.1.2023].
- [20] COZIFY. Cozify - Tuetut laitteet. <https://tuki.cozify.fi/en/support/solutions/articles/8000033969-tuetut-laitteet>, 2023. [Online; accessed 28.1.2023].

- [21] DANBATTÀ, S. J., JA VAROL, A. Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and bluetooth wireless technologies used in home automation. *Julkaisusarjassa 2019 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)* (2019), IEEE.
- [22] DAVIDOFF, S., LEE, M. K., YIU, C., ZIMMERMAN, J., JA DEY, A. K. Principles of smart home control. *Julkaisusarjassa UbiComp 2006: Ubiquitous Computing: 8th International Conference, UbiComp 2006 Orange County, CA, USA, September 17-21, 2006 Proceedings 8* (2006), Springer, 19–34.
- [23] DREAM, E. T. A. Plugged into the American Dream. <https://envisioningtheamericandream.com/2014/09/25/plugged-into-the-american-dream/>, 2014. [Online; accessed 29.1.2023].
- [24] GMBH, H. C. Home Connect. <https://www.home-connect.com/fi/fi/alykkaat-kodinkoneet/astianpesukone>. [Online; accessed 28.10.2023].
- [25] GOMEZ, C., JA PARADELLS, J. Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies. *IEEE communications magazine* 48, 6 (2010), 92–101.
- [26] GOOGLE. Google Nest. <https://store.google.com/fi/?hl=fi>, 2023. [Online; accessed 29.1.2023].
- [27] GROUP, T. Thread Border Router White Paper. https://www.threadgroup.org/Portals/0/documents/support/ThreadBorderRouterWhitePaper_07192022_4001_1.pdf, 2022. [Online; accessed 13.7.2023].
- [28] GROUP, T. What is a Thread Border Router, and how is it different from a "hub" or "bridge". <https://www.threadgroup.org/news-events/blog/ID/356/WHAT-IS-A-THREAD-BORDER-ROUTER-AND-HOW-IS-IT-DIFFERENT-FROM-A-HUB-OR-BRIDGE>, 2022. [Online; accessed 13.7.2023].
- [29] GUPTA, B. B., JA QUAMARA, M. An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 32, 21 (2020), e4946.
- [30] HIILIHELPPI. Joka kodin ilmastovinkit. <https://hiilihelppi.fi>. [Online; accessed 11.11.2023].

- [31] HOMEY. Behind the Magic January 2019. <https://homey.app/en-ie/blog/behind-the-magic-january-2019>, 2023. [Online; accessed 29.10.2023].
- [32] HOMEY. Homey. <https://homey.app/en-us/>, 2023. [Online; accessed 28.1.2023].
- [33] HOMEY. Homey - Connecting Devices. <https://support.homey.app/hc/en-us/sections/4410171706514-Connecting-Devices>, 2023. [Online; accessed 28.1.2023].
- [34] HOMEY. Homey Pro. <https://homey.app/en-us/homey-pro>, 2023. [Online; accessed 29.10.2023].
- [35] HOMEY. Introducing the all-new Homey Pro. <https://homey.app/en-gb/blog/introducing-the-new-homey-pro>, 2023. [Online; accessed 29.10.2023].
- [36] HOMEY. An update on Homey Pro's roadmap. <https://homey.app/en-us/blog/about-homey-pros-timeline>, 2023. [Online; accessed 29.10.2023].
- [37] HUEBLOG.COM. Congratulations: Philips Hue has turned 10 years old. <https://hueblog.com/2022/11/01/congratulations-philips-hue-has-turned-10-years-old/>, 2022. [Online; accessed 21.1.2023].
- [38] IETF. J-PAKE: Password-Authenticated Key Exchange by Juggling. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8236>, 2017. [Online; accessed 15.7.2023].
- [39] INC., N. What Communication Protocol to Use and When. <https://neuronetworks.com/blog/wireless-communication-protocols>. [Online; accessed 9.4.2023].
- [40] JOURNAL, R. That Internet of Things Thing. <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>, 2009. [Online; accessed 2.4.2023].
- [41] KAFLE, K., MORAN, K., MANANDHAR, S., NADKARNI, A., JA POSHYVANYK, D. Security in centralized data store-based home automation platforms: A systematic analysis of nest and hue. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems* 5, 1 (2020), 1–27.
- [42] KATRE, S. R., JA ROJATKAR, D. V. Home automation: past, present and future. *International research journal of engineering and technology* 4, 10 (2017), 343–346.

- [43] KEYSIGHT. IEEE 802.15.4 ZigBee. <https://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/n7610b/Content/Main/IEEE%20802.15.4%20ZigBee.htm>. [Online; accessed 10.9.2023].
- [44] KHEDEKAR, D. C., TRUCO, A. C., OTEYZA, D. A., JA HUERTAS, G. F. Home automationa fast-expanding market. *Thunderbird International Business Review* 59, 1 (2017), 79–91.
- [45] KIM, K., CHO, K., LIM, J., JUNG, Y. H., SUNG, M. S., KIM, S. B., JA KIM, H. K. Whats your protocol: Vulnerabilities and security threats related to Z-Wave protocol. *Pervasive and Mobile Computing* 66 (2020), 101211.
- [46] LABS, S. UG103.11: Thread Fundamentals. <https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/ug103-11-fundamentals-thread.pdf>, 2022. [Online; accessed 15.7.2023].
- [47] LI, W., YIGITCANLAR, T., EROL, I., JA LIU, A. Motivations, barriers and risks of smart home adoption: From systematic literature review to conceptual framework. *Energy Research & Social Science* 80 (2021), 102211.
- [48] MATTA, P., JA PANT, B. Internet of things: Genesis, challenges and applications. *Journal of Engineering Science and Technology* 14, 3 (2019), 1717–1750.
- [49] MIORI, V., RUSSO, D., JA FERRUCCI, L. Interoperability of home automation systems as a critical challenge for IoT. *Julkaisusarjassa 2019 4th International Conference on Computing, Communications and Security (ICCCS)* (2019), IEEE.
- [50] MOTONET. Nedis SmartLife kynttilälamppu E14 RGB-värit ja valkoinen Wi-Fi. <https://www.motonet.fi/tuote/nedis-smartlife-kynttilalamppu-e14-rgb-varit-ja-valkoinen-wi-fi?product=95-02447>. [Online; accessed 26.10.2023].
- [51] MOTONET. Nedis SmartLife kynttilälamppu E14 RGB-värit ja valkoinen Zigbee 3.0. <https://www.motonet.fi/tuote/nedis-smartlife-kynttilalamppu-e14-rgb-varit-ja-valkoinen-zigbee-30?product=95-02605>. [Online; accessed 26.10.2023].
- [52] MOUHA, R. A. Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing* 9, 2 (2021), 77–101.

- [53] NEDIS. Nedis SmartLife - Helpoin tie älykkääseen kotiin. <https://nedis.fi/fi-fi/smartlife>. [Online; accessed 28.10.2023].
- [54] NOTO LA DIEGA, G., JA WALDEN, I. Contracting for the Internet of Things: Looking into the Nest. *Queen Mary School of Law Legal Studies Research Paper*, 219 (2016).
- [55] NOURA, M., ATIQUZZAMAN, M., JA GAEDKE, M. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges. *Mobile networks and applications* 24 (2019), 796–809.
- [56] OF ARCHAEOLOGY HISTORIC PRESERVATION, D. Live Better Electrically: The Gold Medallion Electric Home Campaign. <https://dahp.wa.gov/historic-preservation/historic-buildings/historic-building-survey-and-inventory/live-better-electrically-the-gold-medallion-electric-home-campaign>. [Online; accessed 29.1.2023].
- [57] OMAVAHTI.FI. Blebox lämpöanturi liitetään AC 230V verkkovirtaan ja Wi-Fi verkkoon. <https://www.omavahti.fi/tuote/lampoanturi-ac>. [Online; accessed 28.10.2023].
- [58] OMAVAHTI.FI. Shelly EM - Ratkaisu sähkönkulutuksen reaaliaikaiseen seurantaan. <https://www.omavahti.fi/tuote/sahkomittari-shelly-em>. [Online; accessed 28.10.2023].
- [59] OPENHAB COMMUNITY, JA THE OPENHAB FOUNDATION E.V. openHAB. <https://www.openhab.org/>, 2023. [Online; accessed 28.1.2023].
- [60] PHAN, L.-A., JA KIM, T. Breaking down the compatibility problem in smart homes: A dynamically updatable gateway platform. *Sensors* 20, 10 (2020), 2783.
- [61] PHILIPS. Philips Hue. <https://www.philips-hue.com/fi-fi>, 2018-2023. [Online; accessed 17.1.2023].
- [62] SAFARIC, S., JA MALARIC, K. ZigBee wireless standard. *Julkaisusarjassa Proceedings ELMAR 2006* (2006), IEEE, 259–262.
- [63] SAMIZADEH NIKOUI, T., RAHMANI, A. M., BALADOR, A., JA HAJ SEYYED JAVADI, H. Internet of Things architecture challenges: A systematic review. *International Journal of Communication Systems* 34, 4 (2021), e4678.

- [64] SAMSUNG. Samsung Smart Things. <https://www.samsung.com/fi/apps/smartthings/>, 2023. [Online; accessed 21.1.2023].
- [65] SAMUEL, S. S. I. A review of connectivity challenges in IoT-smart home. *Julkaisusarjassa 2016 3rd MEC International conference on big data and smart city (ICBDSC)* (2016), IEEE.
- [66] SETZ, B., GRAEF, S., IVANOVA, D., TIESSEN, A., JA AIELLO, M. A Comparison of Open-Source Home Automation Systems. *IEEE Access* 9 (2021), 167332–167352.
- [67] SHWEHDI, M., JA KHAN, A. A power line data communication interface using spread spectrum technology in home automation. *IEEE Transactions on Power Delivery* 11, 3 (1996), 1232–1237.
- [68] SIKIMIĆ, M., AMOVIĆ, M., VUJOVIĆ, V., SUKNOVIĆ, B., JA MANJAK, D. An overview of wireless technologies for IoT network. *Julkaisusarjassa 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)* (2020), IEEE.
- [69] SOLAR, S. Sofar Solar. <https://www.sofarsolar.com>. [Online; accessed 28.10.2023].
- [70] SOVACOO, B. K., JA DEL RIO, D. D. F. Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies. *Renewable and sustainable energy reviews* 120 (2020), 109663.
- [71] STOJKOSKA, B. L. R., JA TRIVODALIEV, K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of cleaner production* 140 (2017), 1454–1464.
- [72] TOSCHI, G. M., CAMPOS, L. B., JA CUGNASCA, C. E. Home automation networks: A survey. *Computer Standards & Interfaces* 50 (2017), 42–54.
- [73] UNWALA, I., TAQVI, Z., JA LU, J. Thread: An iot protocol. *Julkaisusarjassa 2018 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)* (2018), IEEE, 161–167.
- [74] YANG, H., LEE, W., JA LEE, H. IoT smart home adoption: the importance of proper level automation. *Journal of Sensors* 2018 (2018).

- [75] YASSEIN, M. B., HMEIDI, I., SHATNAWI, F., MARDINI, W., JA KHAMAYSEH, Y. Smart home is not smart enough to protect you-protocols, challenges and open issues. *Procedia Computer Science* 160 (2019), 134–141.
- [76] YÜKSEL, E., NIELSON, H. R., JA NIELSON, F. Zigbee-2007 security essentials. *Julkaisusarjassa Proc. 13th Nordic Workshop on Secure IT-systems* (2008), 65–82.
- [77] ZEADALLY, S., SIDDIQUI, F., JA BAIG, Z. 25 years of bluetooth technology. *Future Internet* 11, 9 (2019), 194.